



La revista de los  
Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos

3554 MAYO 2014

REVISTA DE  
OBRAS PÚBLICAS

# ROP

## Premio Acueducto de Segovia

### NÚMERO MONOGRÁFICO

El adiós definitivo al paso histórico de Despeñaperros  
FCC Construcción

La variante de Ferreries (Menorca)  
Ferrovial-Agroman

Nueva esclusa en el Puerto de Sevilla  
FCC Construcción

Variante Sur Metropolitana de Bilbao. Fase I  
Interbiak

Viaducto de Archidona  
Ideam

Nuevo puerto exterior de Punta Langosteira  
Alatec



- INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN
- FABRICACIÓN
- LOGÍSTICA Y TRANSPORTE
- MONTAJE
- CERTIFICACIÓN EN SISTEMAS DE GESTIÓN Y CALIDAD



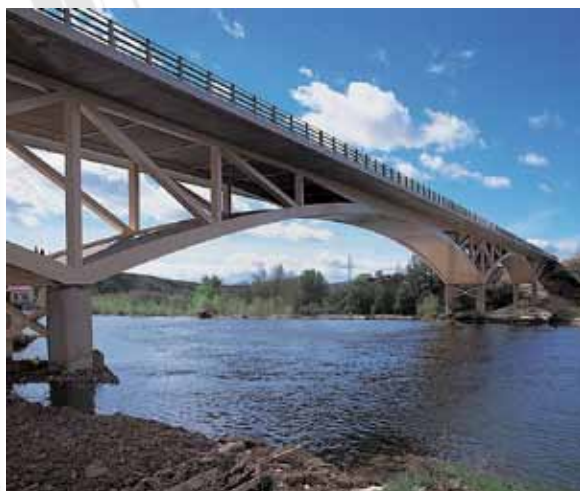
# CALLFER SA

## ESTRUCTURAS METÁLICAS

**50 años** de experiencia,  
**más de 100 años** de tradición familiar



Torre Titania. Madrid



Puente de San Vicente de la Sonsierra



Estadio Santiago Bernabéu



THE CANADIAN  
WELDING BUREAU

**CALLFER, S.A.**

C/ Metalúrgicos, 1. 28942 Fuenlabrada. Madrid. España. Tel.: +34 91 645 33 00 · Fax: +34 91 645 00 21 www.callfersa.es



## Editorial

El Premio Acueducto de Segovia, que el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos concede con carácter bienal, tiene por objeto, según las propias bases del galardón, “destacar públicamente la importancia que las consideraciones ambientales tienen sobre el proyecto, la ejecución y la explotación de las obras públicas”. Tales consideraciones, que modulan todas las fases de los procesos constructivos, “han transformado la actividad profesional del ingeniero de Caminos, Canales y Puertos en un elemento fundamental para acercar nuestra sociedad al deseable modelo de desarrollo sostenible”.

El Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos ha tenido a gala ser la avanzadilla de estas instituciones corporativas en la necesaria modernización impuesta por la impronta europea, que pronto se plasmará en nuestro país mediante la ley en ciernes de Servicios y Colegios Profesionales, cuyo anteproyecto ha sido ya sometido al dictamen del Consejo de Estado. En las profesiones reguladas, que mantengan la colegiación obligatoria por razones de interés público –en el caso de la ingeniería de Caminos, el título debe servir de garantía de calidad y de seguridad a los usuarios de las obras públicas–, los Colegios, además de velar por el cumplimiento de sus fines en aras del bien común, han de ser adelantados en la búsqueda y el logro de la excelencia profesional, impulsando la acción pedagógica de las Escuelas, favoreciendo el perfeccionamiento profesional y destacando los grandes logros de la ingeniería, que deben ser modelo y acicate para todo el colectivo de ingenieros.

En este sentido, el Premio Acueducto de Segovia, que ha llegado a su sexta edición y que a partir de ahora será gestionado por la Fundación Caminos –la institución colegial que canalizará las actuaciones encaminadas al engarce de la profesión con la sociedad, independientemente de los

servicios directos que preste el Colegio a los colegiados–, es una de las herramientas que promueven la ejemplaridad pública de la obra bien hecha que se realiza con el designio expreso de guardar armonía con el medio ambiente y de asegurar, por tanto, la sostenibilidad de la intervención.

Desde hace años, las empresas constructoras y de ingeniería de nuestro país han salido al exterior y hoy España está a la cabeza de esta actividad en el mundo. Por esta razón, a partir de la próxima convocatoria, el Premio Acueducto de Segovia se internacionalizará para poder destacar también, con el mismo espíritu, las actuaciones de nuestras empresas y de nuestros ingenieros más allá de nuestras fronteras.

Al VI Premio Acueducto de Segovia concurren seis grandes realizaciones, todas ellas magníficas e ilustrativas del altísimo nivel de nuestra ingeniería en todo el trayecto constructivo, desde la elaboración del proyecto a la ejecución y explotación de la obra. El jurado constituido al efecto estimó en cada caso, de acuerdo con las bases, “el encaje del proyecto con su medio ambiente mediante la valoración de la importancia tecnológica y funcional de las obras, su carácter social y cultural, la calidad ambiental y científica de las medidas correctoras proyectadas y sus valores estético y paisajístico, así como la perfección alcanzada en su ejecución y acabado”. Los seis proyectos fueron considerados magníficos ejemplos de estos criterios constructivos, que se quiere extender y generalizar. Por ello, aunque el jurado eligió como es natural el proyecto que a su entender reunía mayores méritos para distinguirlo con el Premio, la Revista de Obras Públicas ha decidido dar a conocer en este número monográfico especial los seis proyectos que han concursado, que son, sin excepciones, una espléndida muestra del gran nivel que ha alcanzado la ingeniería de Caminos, a todos los niveles, en el desarrollo español.

# SUMARIO

## EDITORIAL

### PREMIO ACUEDUCTO DE SEGOVIA

- 
- 6** **Sexta edición del Premio Acueducto de Segovia.**  
Consideraciones  
Juan Guillamón
- 
- 9** **El adiós definitivo al paso histórico de Despeñaperros**  
Juan Diego Romero Martínez e Ignacio Ferraro Santiago  
**FCC Construcción**
- 
- 23** **La variante de Ferreries (Menorca)**  
Jesús Fernández Adarve  
**Ferrovial-Agroman**
- 
- 35** **Nueva esclusa en el Puerto de Sevilla**  
Eloy Saiz San Pedro  
**FCC Construcción**

**La revista decana de la prensa española no diaria**

**Director**

Antonio Papell

**Redactora Jefe**

Paula Muñoz

**Fotografía**

Juan Carlos Gárgoles

**Publicidad**

MM Mass Media  
Hermosilla 64 6ºB  
T. 91 431 08 39

**Imprime**

Gráficas 82

**Depósito legal**

M-156-1958

**ISSN**

0034-8619

**ISSN electrónico**

1695-4408

**ROP en internet**

<http://ropdigital.ciccp.es>

**Suscripciones**

<http://ropdigital.ciccp.es/suscripcion.php>  
[suscripcionesrop@ciccp.es](mailto:suscripcionesrop@ciccp.es)  
T. 91 308 19 88

**Coordinador de este monográfico**

Juan Guillamón

**Edita**

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos  
Calle Almagro 42  
28010 - Madrid

[www.ciccp.es](http://www.ciccp.es)



---

**49 Variante Sur Metropolitana de Bilbao. Fase I**  
Pedro Rivas de Apraiz, Miguel Gil Oceja,  
Yolanda Temiño Jorge y Luis Ángel Rojo Vicario  
**Interbiak**

---

**63 Viaducto de Archidona**  
Francisco Millanes Mato, Enrique Bordó Bujalance,  
Jesús Martín Suárez y Juan Luis Mansilla Domínguez  
**Ideam**

---

**77 Nuevo puerto exterior de Punta Langosteira**  
Pedro Canalejo Marcos y Pedro Canalejo Rodríguez  
**Alatec**

---

**89 Acta del Jurado del Premio Acueducto de Segovia**

**Consejo de Administración**

**Presidente**

Miguel Aguiló Alonso

**Vocales**

Juan A. Santamera Sánchez  
José Manuel Loureda Mantiñán  
José Javier Díez Roncero  
Juan Guillamón Álvarez  
Luis Berga Casafont  
Roque Gistau Gistau  
Benjamín Suárez Arroyo  
José Antonio Revilla Cortezón  
Francisco Martín Carrasco  
Ramiro Aurín Lopera

**Comité Editorial**

Pepa Cassinello Plaza  
Vicente Esteban Chapapriá  
Jesús Gómez Hermoso  
Conchita Lucas Serrano  
Antonio Serrano Rodríguez

**Foto de portada**

Autovía del Sur A-4. Tramo Venta  
de Cárdenas-Santa Elena





## **Sexta edición del Premio Acueducto de Segovia**

### Consideraciones



**Juan Guillamón**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

La función de ingeniero, nos recuerda Juan Benet, es mediadora a diferencia de otras cuya práctica contiene un fin en ella misma. La medicina es buen ejemplo de lo anterior, sin duda, pues el objeto de la práctica médica es mantener la salud del enfermo, directamente. Los puentes, los caminos, el transporte en general, son, por el contrario, el vehículo necesario para que las personas puedan desarrollar sus funciones vitales. Sin embargo, toda norma admite excepciones pues hay proyectos en donde el carácter finalista de los mismos resulta evidente, tal es el caso de aquellos trabajos hidráulicos que tienen por objeto restablecer las masas de agua en condiciones ambientales adecuadas. Dicho esto, a las obras de ingeniería, más que exigírseles sostenibilidad por sí mismas, han de responder al criterio ambiental de que con su implantación sea posible un desarrollo social sostenible. Sí, porque la sostenibilidad, según se expuso por su 'inventora', la ex primera ministra de Noruega Gro Harlem Brundtland, tiene que ver con "satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades". Pero sucede que la obra civil siempre tendrá un impacto negativo en la Naturaleza pues precisamente la función del ingeniero tiene por objeto la transformación de la propia Naturaleza para hacerla asequible a las necesidades humanas. Este impacto, necesariamente negativo en términos de exclusividad ambiental, sin embargo ha de resultar asumible –mejor, tolerable– dentro de la entropía que toda acción humana genera. No existen en la Naturaleza procesos reversibles, pues recuérdese aquello que tiene que ver con el Segundo Principio de la Termodinámica: 'La Entropía del Universo es infinita'. Por esto, actúese en consecuencia y al dictado de tal aserto. El ingeniero proyecta y construye a sabiendas de que la plasmación de su intento deja huella en el territorio. Vaya, a José Antonio Fernández Ordoñez esta cuestión le supuso un dilema intelectual que él era capaz de solucionar con la precisión tan semántica –y de previa asunción– tal que "el

ingeniero ha de apropiarse poéticamente de la Naturaleza", y a partir de ahí ponderar todas las cuestiones técnicas en un sentido muy unitario en la concepción, acaso imposible, de ingeniería-Naturaleza como binomio indestructible para lograr un objetivo final. Aunque la conservación de los ecosistemas debe estar subordinada al bienestar humano, pues no todos los ecosistemas pueden ser conservados en su estado virgen. Preservar no es exactamente conservar a ultranza.

En toda obra de ingeniería debe primar un criterio indispensable, además de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos: prever el futuro en función de las ventajas ganadas en el presente. Esto es fácil de lograr y a un coste asumible. No precisamente elevando a la enésima potencia los reclamos procedentes de lo más radical del ecologismo sino aplicando, dentro de cada unidad de obra, el criterio ambiental de no poner en peligro los sistemas naturales que sostienen la vida en la Tierra.

Es una frase bien recurrente (lugar común demasiado argüido) la existencia de una visión ingenieril de las cosas como expresión que conlleva una intención peyorativa para entender las vicisitudes de la Naturaleza. Este calificativo –ingenieril– supone una propuesta muy radical de los conservacionistas, ecologistas y, en general, para el mundo que entiende la Biología como ciencia superior y necesariamente contraria a la ingeniería. Parece oportuno reivindicar el papel de los ingenieros como 'procuradores' de algo muy necesario para el conjunto de la sociedad: la ordenación del territorio bajo unos supuestos que tienen mucho que ver con la sostenibilidad presente y futura. Y, también, para que la vida de las personas "no sea una constante tragedia" (J. Benet, cuando habla de sequías, inundaciones, etc.) pues si la Naturaleza tuviera la condición de ser inalterable en todas aquellas facetas que tienen relación con los individuos de cualquier colectividad,

se derivaría, para ellos, la imposibilidad de que pudieran desarrollar las funciones que les corresponde como seres vivos e inteligentes. Desde un punto de vista contrario, la ingeniería es un instrumento clave para garantizar la sostenibilidad de cualquier biocenosis en cualquier biotopo determinado mediante las necesarias condiciones de contorno, ambientales, sociales y económicas. Y poder coadyuvar a la construcción de un mundo sostenible, pues el mañana, el mañana sostenible, precisará de más agua, más energía, alimentos e infraestructuras para poder producir, administrar y gestionar los recursos que serán, igual que hoy, demandados: embalses, trasvases, desaladoras, depuradoras, puertos, canales, ferrocarriles, carreteras, centrales energéticas, telecomunicaciones, etc. La buena ordenación del territorio, sin duda, constituye la tarea que la ingeniería tiene por delante a fin de que nuestros descendientes puedan disfrutar en la misma medida que nosotros disfrutamos de nuestro presente.

La ingeniería es la gran aliada de la ordenación del territorio en los desafíos que el actual siglo pueda presentar en el orden ambiental. Dicho lo anterior con la rotundidad necesaria, y a desdén de la confusión existente entre las categorías científica y política, pues sobre todo en estos tiempos de incertidumbre política se han venido entrelazando sin reparo alguno y con intenciones no muy razonables bajo el punto de vista de la objetividad científica. Sucede que la Ciencia establece sus deducciones sobre la base de la incertidumbre (“Lo que no está rodeado de incertidumbre, ¡no puede ser verdad!”, Richard Feynman) y es, siempre, positiva por más que argumente cuestiones empíricas de necesaria asunción. Y en la Política es costumbre (arraigada costumbre) establecer sus propuestas sobre bases absolutas (con intención de ser inamovibles) y como sucede que es obligado someter esas propuestas a determinadas formulaciones científicas, nos encontramos que lo ‘absoluto’ toma valor precisamente cuando se fundamenta en términos de incertidumbre, lo que supone un gran peligro que la sociedad democrática debería rechazar por lo inexacto de su procedimiento.

El Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos estima respecto a lo anterior que, en efecto, la ingeniería es ante todo un eficaz (y necesario) instrumento para las buenas prácticas en la ordenación del territorio y por ende, para asegurar la sostenibilidad (entendida como objetivo de presente, y no solo de futuro). Con esta actitud es posible hacer frente a la presión ejercida por aquéllos que consideran las infraestructuras crueles agresoras de todo lo natural, cuando por lo general las propuestas del ecologismo radical no van más allá



de lo que bajo la bandera de la 'alternativa Cero' se defiende. Esto es, la alternativa de no hacer nada a fin de mantener la Naturaleza tal cual, como si ella no precisara de ciertos retoques y acondicionamientos indispensables para la vida de las personas, animales y cosas. Y porque la Naturaleza fue dada al hombre para su uso, disfrute y conservación.

Tras estas consideraciones, el Premio Acueducto de Segovia, en su sexta edición y de carácter bienal, tiene como objetivo destacar públicamente la importancia que las consideraciones ambientales afectan a un proyecto de obra civil, su ejecución y su explotación. Estas consideraciones, sin duda alguna, han condicionado la actividad profesional del ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y se han conformado en un elemento fundamental para acercar nuestra sociedad al deseable modelo del desarrollo sostenible. El Jurado, pues, estima, de forma prioritaria, el encaje de los proyectos en el medio ambiente mediante la valoración de la importancia tecnológica y funcional de las obras, su carácter social y cultural, la calidad ambiental y científica de las medidas correctoras proyectadas y sus valores estético y paisajístico, el consumo racional de los materiales, la eficaz retirada de los residuos en la construcción, ruidos, etc., así como la perfección alcanzada en su ejecución y acabado. Se trata, en fin, de efectuar un completo análisis de las cosas de acuerdo con los criterios técnico, social y ambiental.

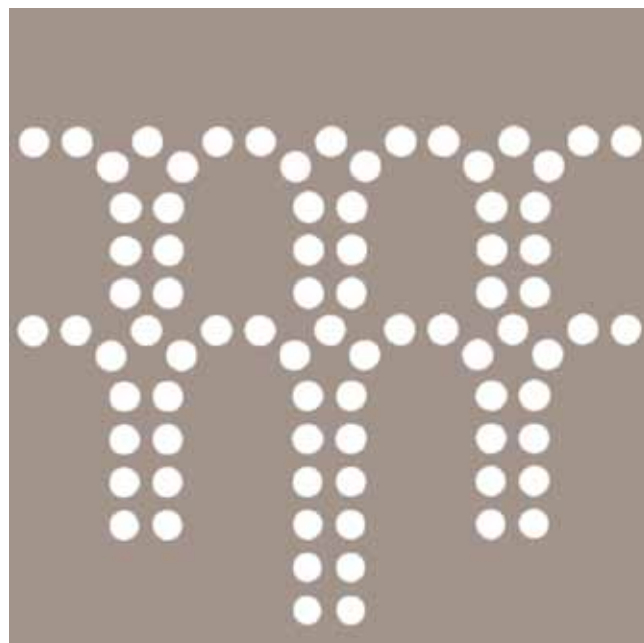
El Premio que se adjudica supone la otorgación del mismo a promotores, proyectistas y constructores en su conjunto. Las obras presentadas en la presente convocatoria han sido seis y todas ellas han sido finalizadas a lo largo y ancho del año 2012.

Este año ha correspondido a las obras de Autovía del Sur, tramo Venta de Cárdenas-Santa Elena. El promotor es el Ministerio de Fomento, Dirección General de Carreteras, Demarcación de Andalucía Oriental. Los proyectistas han sido Typsa (proyecto inicial), Acciona Ingeniería (proyecto modificado), Aepo (calzada norte), Enrique Secades Ariz e Iberinsa (calzada sur) y Antonio del Pozo Pascual. El director de obra ha sido José Lorente Gutiérrez y el constructor, FCC Construcción.

La obra premiada se extiende a lo largo de más de nueve kilómetros del histórico paso de Despeñaperros y proporciona una solución definitiva a este enclave, principal vía de comunicación entre Castilla-La Mancha y Andalucía. El tramo de autopista, tres carriles por sentido, dispone de trece viaductos y cinco nuevos túneles de brillante diseño y unos procedimientos constructivos avanzados. Esta gran realización ha

sido consensuada con los requerimientos del Parque Natural de Despeñaperros y salva definitivamente uno de los grandes escollos viales de la compleja orografía española. Más de la mitad del nuevo trazado, con las dos vías unidas, corresponde a sección de viaducto o túnel que facilita la permeabilidad de la fauna y aumenta las zonas de paso. Se ha previsto, por lo demás, todas las medidas destinadas a la reducción y corrección del impacto ambiental, entre las que se encuentran la limpieza de cauces, riberas y su restauración.

El Jurado del Premio otorgó asimismo una Mención de Honor a las obras de Variante Sur del Área Metropolitana de Bilbao, cuyo promotor ha sido la Diputación Foral de Vizcaya, habiéndose redactado los sucesivos proyectos por ocho consultoras de ingeniería españolas y participado un total de dos decenas de constructoras dirigidas por ingenieros de Caminos. La puesta en servicio de la Variante ha materializado una alternativa viaria funcional, segura y sostenible al tramo más congestionado de la A-8, entre el enlace del Puerto de Bilbao y la A-68. Un magnífico equipo interdisciplinar, con más de 120 ingenieros de Caminos, ha conseguido realizar una obra de gran magnitud con más de 15 km de desarrollo mayoritariamente en túnel, plenamente integrada en los espacios naturales que atraviesa manteniendo, en lo posible, su valor ambiental. Todo ello gracias al alto grado de desarrollo tecnológico de los proyectos y sus procesos constructivos. **ROP**





## El adiós definitivo al paso histórico de Despeñaperros



**Juan Diego Romero Martínez**  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Gerente. Nueva Calzada Despeñaperros.  
Andalucía Obra Civil-FCC Construcción



**Ignacio Ferraro Santiago**  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Jefe de Obra. Nueva Calzada  
Despeñaperros. Andalucía Obra Civil-FCC  
Construcción

### Resumen

La A-4, a su paso por el desfiladero de Despeñaperros (Jaén), seguía utilizando con mínimas modificaciones el trazado construido por el ingeniero Carlos Lemaur durante el reinado de Carlos III para comunicar la Meseta con Andalucía.

Las necesidades de los vehículos actuales, tan alejadas de las de carros y diligencias del siglo XVIII, hacían imprescindible un nuevo trazado que, con unas características geométricas de una autovía de última generación, eliminara este paso como punto negro del viario nacional.

La actuación realizada por el Ministerio de Fomento con la construcción de una nueva autovía de tres carriles por sentido permite una mejora sustancial en la seguridad de los usuarios, así como una mayor capacidad y un considerable ahorro de tiempo. Asimismo, se ha independizado casi por completo el trazado del terreno circundante al estar enclavado dentro del Parque Natural de Despeñaperros.

### Palabras clave

Autovía, trazado, seguridad, permeabilidad, Despeñaperros

### Abstract

*On passing through the Despeñaperros gorge (Jaen), the A-4 road continued to follow, with only the slightest modifications, the route built by the engineer Carlos Lemaur during the reign of Charles III of Spain to communicate the central plateau of the Meseta with Andalucía.*

*The needs of modern vehicles, so far removed from the 18th century carriages and stagecoaches, made it essential to establish a new route with the geometric characteristics of a up-to-date motorway, in order to eliminate this passage as a black point on the national road network.*

*The new three-lane motorway built under the auspices of the Ministry of Development has led to a considerable increase in road safety, provided greater road capacity and considerable savings in time. The new route has almost completely freed up the area of the old route set within the Despeñaperros Natural Park.*

### Keywords

*Motorway, route, safety, permeability, Despeñaperros*

### 1. Antecedentes

El paso de la Autovía A-4 por el desfiladero de Despeñaperros presentaba antes de las actuaciones realizadas dos calzadas de dos carriles cada una, con trazados independientes entre sí para cada uno de los dos sentidos de circulación entre la Meseta y Andalucía. Esta disposición era fruto del desdoblamiento efectuado sobre la N-IV en el año 1983. La antigua plataforma, de trazado muy sinuoso, se dividió en dos tramos y se completó con otros dos de nueva construcción, de forma que cada sentido discurría en su inicio por la antigua carretera, de mediados del siglo XX, y en su mitad final por los tramos construidos en 1983.

El trazado en la parte de la antigua carretera resultaba totalmente inadmisibles con la normativa actual, con un radio

mínimo en planta de 40 m y una pendiente máxima del 7 %, lo que limitaba la velocidad en ciertos puntos a 50 km/h.

Tras la aprobación del Estudio Informativo el 18 de abril de 2001 se elaboró el correspondiente Proyecto de Construcción que se adjudicó el 5 de diciembre de 2002, recogiendo únicamente la construcción de una sola calzada de dos carriles de circulación para el sentido norte.

Con fecha de 27 de enero de 2004 se aprueba el Proyecto de Construcción que define la actuación anteriormente descrita.

La calzada sentido Andalucía utilizaría los tramos construidos en 1983, con un trazado de radio mínimo de 175 m, parámetro

no válido con las normativas actuales para autovía, vía rápida o carretera nacional.

La calzada sentido norte quedaba muy separada de la calzada sentido Andalucía, dejando entre ellas una gran franja de terreno que producía una fragmentación importante del territorio. Discurría a 500 m del corredor primitivo, impidiendo la conexión con el enlace intermedio de Aldequemada y quedando sin acceso más de 8 km de autovía. Para comunicar las galerías de evacuación de los túneles a ejecutar, se construirían carreteras adicionales, produciendo una gran afección al Parque Natural de Despeñaperros. De hecho, la expropiación necesaria para estos caminos sería de 15 Hectáreas, similar a la del tronco de la autovía.

Este corredor no permitiría en un futuro su desdoblamiento para el sentido Andalucía al presentar fuertes rampas, incompatibles con los túneles necesarios, por lo que ambas calzadas continuarían separadas y seguirían provocando una fragmentación territorial importante dentro del Parque Natural.

Las obras correspondientes a la 'Nueva Calzada de Despeñaperros. Autovía del Sur, A-4. Tramo: Venta de Cárdenas-Santa Elena. Provincias de Ciudad Real y Jaén. Clave: 12-J-3580', se licitaron mediante su publicación en el B.O.E. de fecha 6 de marzo de 2004. Con fecha 4 de septiembre de 2004 se adjudicaron a FCC Construcción, por un importe de 79.103.813,00 €, formalizándose el correspondiente contrato el 30 de septiembre de 2004. El acta de comprobación de replanteo se realizó el 29 de octubre de 2004, autorizándose el inicio de las obras al día siguiente de la misma, 30 de octubre de 2004.

Desde el inicio de la obra y a la vista de los problemas descritos anteriormente sobre la solución prevista para el paso de Despeñaperros, se estudió por parte de la D.G.C., con el apoyo de los Servicios Técnicos de FCC Construcción, un nuevo trazado que mejoraba la problemática planteada anteriormente. Para ello, se eligió un trazado intermedio entre el Proyecto de Construcción y una de las Alternativas del Estudio Informativo. En su tramo inicial, entre Santa Elena y Aldequemada, el trazado va próximo a la autovía actual y a partir de este punto conecta con el túnel de Despeñaperros manteniendo desde aquí el trazado del proyecto original. Este trazado alternativo tenía las siguientes ventajas:

- El sentido norte utiliza un corredor que, en parte de su trazado, se apoya en el de la autovía existente y, por tanto con

mejor accesibilidad y menor afección al Parque Natural de Despeñaperros.

- Ofrecía la posibilidad de utilizar el mismo corredor para un posible desdoblamiento para el sentido Andalucía.
- Se mejoraban los parámetros de trazado entre Santa Elena y el enlace de Aldequemada en ambas calzadas.
- La variante permitía proyectar un enlace en Aldequemada que serviría de *by-pass* al túnel de Despeñaperros en caso de accidente dentro del mismo.

Por todos estos motivos, en marzo de 2006 se presentó, ante la Junta Rectora del Parque Natural de Despeñaperros y ante el Ayuntamiento de Santa Elena, el documento 'Propuesta de Solución alternativa al Proyecto de Construcción de la Nueva calzada de Despeñaperros. N-IV de Madrid a Cádiz, tramo: Venta de Cárdenas- Santa Elena'. Dicho documento planteaba, según lo descrito anteriormente, un cambio de trazado entre el origen del proyecto primitivo, inmediaciones de la localidad de Santa Elena, y la entrada al Túnel de Despeñaperros en ejecución desde el inicio de la obra, contemplando la posibilidad de la realización de dos nuevas calzadas en esta zona.

Dicha propuesta conllevaba la transformación del tramo de la Autovía A-4 del Sur, entre Venta de Cárdenas y Santa Elena en una autovía con dos calzadas similares y paralelas que resolverían el tránsito del desfiladero de Despeñaperros a largo plazo.

En base a ello, la Dirección General de Carreteras, emitió el 16 de agosto de 2006, una nueva Orden de Estudio Informativo para la comparación entre el Proyecto de Construcción original y la propuesta presentada por FCC Construcción y recogida en la resolución de 15 de junio de 2006 de la Junta Rectora del Parque Natural de Despeñaperros.

Paralelamente a la redacción del Proyecto Modificado N°1 de la Calzada Sentido Norte, la Dirección General de Carreteras emite el 13 de julio de 2007 la Orden de Estudio del Proyecto de Construcción de la 'Nueva calzada sentido Sur de Despeñaperros', que se refiere a las obras de duplicación de la calzada norte.

El 30 de octubre de 2007, se aprueba el expediente de Información Pública y definitivamente el Estudio Informativo.

Este estudio informativo y Declaración de impacto recoge las actuaciones previstas para ambos sentidos.

Las obras correspondientes a la 'Nueva Calzada Sentido Sur de Despeñaperros. Tramo: Venta de Cárdenas-Santa Elena. Provincias de Ciudad Real y Jaén. Clave: 19-J-4220', se licitaron mediante su publicación en el B.O.E. de fecha 5 de marzo de 2008. Con fecha 8 de julio de 2008, se adjudicaron a FCC Construcción por un importe de 97.009.168,00 €. El acta de comprobación de replanteo se realizó el 6 de octubre de 2008, autorizándose el inicio de las obras al día siguiente de la misma, 7 de octubre de 2008.

Con fecha 26 de septiembre de 2011 se inaugura la totalidad de la calzada sentido Madrid y parte de la calzada sentido Andalucía entre los enlaces de Aldeaquemada y Santa Elena.

El resto de la calzada sur se puso en servicio el 11 de junio de 2012. Es de reseñar que este último tramo inaugurado no había podido ponerse en servicio conjuntamente con el resto del tramo debido a que para su realización era necesaria la apertura al tráfico de la nueva calzada sentido Madrid que

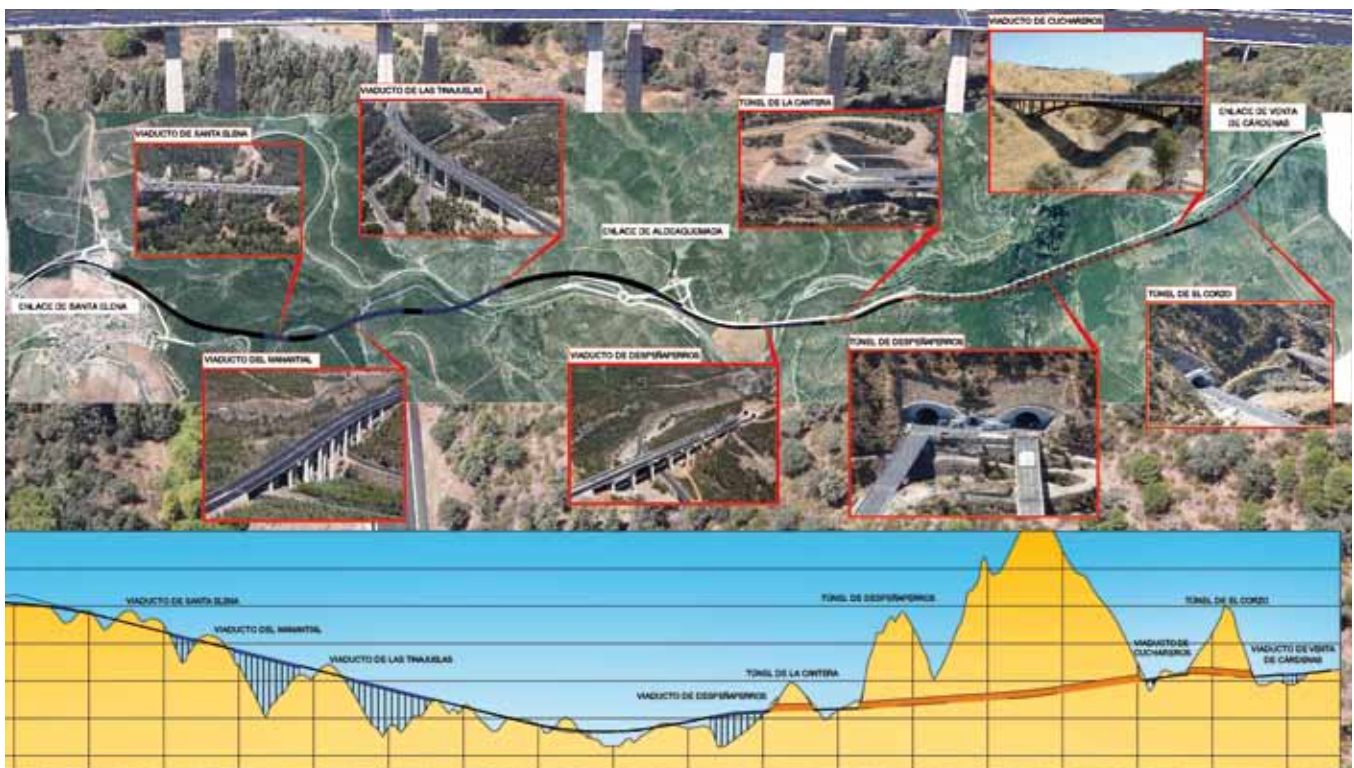
permitía la demolición del antiguo viaducto del Corzo y la adaptación del trazado entre los puntos kilométricos 245 y 246 para la circulación en sentido Andalucía.

Tras la inauguración completa de la obra se ejecutaron el resto de medidas medioambientales previstas destacando la recuperación del paisaje y los cauces de los arroyos ocupados por la antigua calzada sur de la autovía entre el p.k. 252,3 y el p.k. 256,7 mediante el desmantelamiento de dicho tramo de autovía, la reconstrucción de la morfología natural del terreno y la posterior plantación de especies arbóreas y arbustivas características de cada uno de los hábitat a reconstruir.

## 2. Descripción técnica

Las obras proyectadas comprenden, entre otras, las siguientes actuaciones:

- La ejecución de una doble calzada de tres carriles por sentido, de nuevo trazado, que recogerá tanto el tráfico en sentido norte (Sevilla-Madrid) como el tráfico en sentido sur (Madrid-Sevilla).





- La remodelación de los tres enlaces actuales (Santa Elena, Aldeaquemada y Venta de Cárdenas).
- La creación de una vía verde en la antigua Nacional IV y su restitución ambiental y paisajística.

La práctica totalidad del trazado discurre a través de un terreno de orografía accidentada, dentro del Parque Natural de Despeñaperros. Estas dos circunstancias motivan que el trazado de la nueva calzada constituya una sucesión de viaductos y túneles, cuya longitud conjunta representa más del 50 % del total del mismo.

Las dos calzadas desde su inicio, en el p.k. 257,5, pasan entre el núcleo de Santa Elena y el centro de visitantes del Parque Natural para iniciar el descenso hasta el fondo del valle del río Despeñaperros en el p.k. 250, donde se ubica el enlace de Aldeaquemada.

Dada la orografía de la zona, se han tenido que realizar tres grandes viaductos dobles denominados de Santa Elena, con 160 m de longitud, del Manantial, de 550 m de longitud con pilas de hasta 80 m de altura y de las Tinajuelas, con 580 m de longitud.

Todos ellos se han ejecutado mediante dovelas prefabricadas montadas vano a vano mediante autocimbra que permitieron ejecutar los diferentes tableros evitando la afección al terreno natural.

En los primeros cuatro kilómetros y medio, la sección de la autovía está formada por dos calzadas separadas, con tres carriles de circulación cada una y arcenes interiores de 1,5 m y exteriores de 2,5 m, con mediana de 5 metros entre líneas blancas. El trazado es descendente hacia el río Despeñaperros, punto de menor cota del tramo, con una pendiente máxima del 5 %, y la curva mínima es de 760 m de radio que permiten una velocidad de circulación de 120 km/h.



Enlace de Santa Elena



Vista general



Viaducto de El Manantial



Enlace de Aldeaquemada

En el enlace de Aldeaquemada se ha realizado una estructura sobre la antigua calzada en sentido Andalucía y un amplio paso de fauna, de 40 metros de luz y más de 17 metros de gálibo, que facilita la permeabilidad entre ambas márgenes en el entorno del arroyo de Piedras Blancas, principal corredor faunístico de esta zona.

Desde este punto la calzada continúa por el viaducto de Despeñaperros, de 380 m y 430 m de longitud para el sentido norte y sur respectivamente, realizado con la misma tipología que los anteriores, y que permite salvar tanto el río del mismo nombre, como la antigua calzada sentido norte y la línea de ferrocarril Madrid-Sevilla, para embocar en el primero de los tres túneles ejecutados con los que se atraviesa el paraje conocido como ‘Los Órganos de Despeñaperros’ de especial protección ambiental.

El túnel de la Cantera, de 240 m de longitud, pasa por debajo de la carretera de Aldeaquemada y desde él se accede al túnel de

Despeñaperros de 1.925 m longitud en el que se han realizado cuatro galerías para el paso de vehículos de conexión entre los dos tubos y un apartadero en su parte central y está dotado de las más modernas medidas de seguridad para garantizar la circulación de los vehículos y acometer las posibles incidencias en su explotación.

En su boca norte se ubica el viaducto de Cuchareros, realizado mediante un arco metálico de 53 m de vano y 80 m de tablero, para respetar el entorno y desde el que se accede al túnel del Corzo, de 450 m de longitud, que comunica las comunidades de Castilla-La Mancha y Andalucía.

Los últimos metros discurren por la provincia de Ciudad Real, mediante un terraplén de suelo reforzado para no afectar el cauce del arroyo Magaña, cruzándolo finalmente en el viaducto de Venta de Cárdenas, de 150 m de longitud, en el que también se vuela nuevamente sobre la línea de ferrocarril



**Viaducto de Despeñaperros y boca sur Túnel de Cantera**



**Viaducto del corzo sur y bocas Túnel de Despeñaperros**



**Boca sur Túnel de Despeñaperros**



**Boca sur Túnel del Corzo**



desarrollo sostenible



# Más que agua

Talento, conocimiento y compromiso.  
Aportamos respuestas adecuadas  
para una gestión más eficiente.  
Compartimos conocimiento  
y generamos innovación.  
Trabajamos por un futuro basado  
en el compromiso y la cooperación.

[www.aqualogy.net](http://www.aqualogy.net)





 **AQUALOGY**  
Where water lives

SOLUCIONES INTEGRADAS  
DEL AGUA PARA UN  
DESARROLLO SOSTENIBLE



**Viaducto de Venta de Cárdenas y conexión final**



**Antigua calzada sur p.k. 252,3-p.k. 256,7**



**Restauración calzada sur p.k. 252,3-p.k. 256,7**

Madrid-Sevilla, y conectando con la calzada actual en dicha localidad.

En este segundo tramo, de casi 5 kilómetros de longitud, prácticamente la totalidad se realiza en subida, con una pendiente máxima del 3 %, disponiendo de un radio mínimo de 600 m en el interior del túnel de Despeñaperros, y se mantienen los tres carriles por sentido. La velocidad de circulación se encuentra limitada a 100 km/h por ser la máxima permitida en el interior de los túneles.

La actuación incluye la ejecución de una doble línea eléctrica subterránea de alimentación a los túneles, desde la subestación de Almuradiel hasta Venta de Cárdenas (15 km), así como la remodelación de la subestación y un centro de control de túneles, ubicado en Santa Elena, en el que se integran todos los elementos de seguridad instalados para supervisar y atender todas las incidencias en la explotación del tramo.

En el apartado medioambiental, además de haber consensuado con el Parque Natural de Despeñaperros el nuevo trazado, con las dos calzadas unidas, en el que más del 50 % del mismo corresponde a superficie de tablero o túnel para facilitar su permeabilidad, se han destinado del orden de 8 M€ a medidas específicas en las que debe destacarse la restauración de la curva de las monjas, la creación de una vía para el Parque en la antigua nacional, la mejoría de las condiciones de hábitat del conejo y del linco, la recuperación del endemismo centaura citricolor y la protección del confort sonoro con la instalación de pantallas acústicas.

Pero, sobre todo, el proyecto contempló un ambicioso plan de recuperación del paisaje y los cauces de los arroyos ocupados por la antigua calzada sur de la autovía entre el p.k. 252,3 y el p.k. 256,7 mediante el desmantelamiento de dicho tramo de autovía, la reconstrucción de la morfología natural del terreno y la posterior plantación de especies arbóreas y arbustivas características de cada uno de los hábitat a reconstruir.

Para ello, con el material excedente de la obra, se rellenaron las trincheras existentes en dicho tramo de autovía, que daban del anterior desdoblamiento ejecutado en el año 1984.

Para compensar los movimientos de tierras y con el objeto de llevar a cabo una completa restauración ambiental del terreno ocupado por dicho tramo de autovía, se han desmontado los terraplenes y rellenos antiguos, tanto para recuperar los cauces de los arroyos afluentes del arroyo del Rey, por su

margen derecha, como para contribuir al restablecimiento de la topografía lo más parecida posible a la situación anterior a la obra del año 1984.

Una vez remodelada la morfología del terreno, sobre todo prestando especial atención a la recuperación de los cauces y sus riberas, se han llevado a cabo trabajos de revegetación e integración paisajística, que se particularizarán para cada zona del terreno, aplicando las densidades y distribuciones de plantas más parecidas al entorno inmediato a cada tramo a restaurar.

Todas las actuaciones medioambientales, tanto en diseño como supervisión y seguimiento de las mismas, se han consensuado con el Parque Natural de Despeñaperros.

### 3. Secciones tipo

En la práctica totalidad del trazado, la sección de la autovía está formada por dos calzadas separadas, con tres carriles de circulación cada una y arcenes interiores de 1,5 m y exteriores de 2,5 m, con mediana de 5 metros entre líneas blancas.

Tanto en viaductos como en túneles, los arcenes interiores y exteriores se reducen a 1 metro, existiendo en el interior de los túneles aceras de 1 metro para permitir la evacuación de los mismos en caso de emergencia.

La sección del firme para el tronco es la del tipo 032, de acuerdo con la 'Norma 6.1 IC Secciones de Firme', que implica para un tráfico T0 (IMDP 3.632 Año 2010), sobre una explanada E3, disponer 25 cm de suelo cemento y 20 cm de mezclas bituminosas en caliente formada por 11 cm de G-25, 6 cm de D-20 y con una rodadura de 3 cm M-10.

### 4. Procesos constructivos singulares

Entre las soluciones adoptadas, cabe destacar el proceso constructivo de los viaductos con dovelas prefabricadas y la adopción del Nuevo Método Austríaco para la excavación de los túneles.

#### 4.1. Viaducto de dovelas prefabricadas

Se han construido cuatro viaductos de dovelas prefabricadas con dos tableros independientes cada uno. Los viaductos en sentido norte son: Viaducto de Santa Elena, Manantial, 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 ejecutado en

dos fases, dejando un voladizo de 0,75 m a cada lado de la dovela para la ejecución del acerado y la armadura del pretel, y de 3 metros de canto, 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 5 metros de altura. En función de la altura se tienen las siguientes secciones transversales:

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

En cabeza de pila se fija el espacio necesario para dar cabida a los medios auxiliares para el montaje del tablero. Los estribos son flotantes sobre macizos de tierra.

Cada vano está compuesto por 16 o 14 dovelas, según sea el vano de 45 m o 39 m, y con dovelas de tres geometrías diferentes:

- La dovela tipo de unos 3 metros de longitud.
- Las dos extremas de cada vano de 1,87 metros de longitud que 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.

Por tanto, existen dos tipos de vanos:

- Vano Tipo 1 de 39 m: compuesto por 14 dovelas (2 dovelas de extremas, 2 dovelas con desviadores para 6 tendones, 10 dovelas tipo).

- Vano Tipo 2 de 45 m: compuesto por 16 dovelas (2 dovelas de extremas, 2 dovelas con desviadores para 8 tendones, 2 dovelas con desviadores para 4 tendones y 10 dovelas tipo).



Los tendones de pretensado están formados por unidades de 31 o 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, preferible a la utilización de resina epoxi al simplificar las operaciones y permitir un mayor ritmo de montaje. Todo el pretensado es exterior.

Las dovelas se fabricaron en la localidad de Santa Elena, en unas instalaciones construidas y legalizadas por FCC Construcción; la planta de prefabricación estaba dotada de tres líneas de fabricación (una para dovelas extremas y las otras dos para dovelas de vano), sistema de producción de aire comprimido, sistema de curado con vapor, parque de ferralla, carro elefante para traslado de las dovelas y zona de acopio de éstas.

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 se 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 de FCC Construcción para controlar la geometría de fabricación.

El montaje del tablero se realiza con una cimbra autolanzable superior formada por dos vigas en celosía sobre las que discurre el cabrestante que maneja las dovelas de la que se cuelgan todas las dovelas del vano en su posición definitiva. A continuación, se realiza el postesado exterior y se descimbra. La sección se completa realizando el hormigonado de los extremos de los voladizos.

Los elementos principales de los que se compone la cimbra son los siguientes:

- Dos vigas metálicas de 117 m de longitud.
- Carro cabrestante, que es el encargado de colgar y colocar las dovelas.



Planta de fabricación de dovelas

- Dos binarios, que son apoyos de la cimbra que posibilitan el avance o retroceso de la misma mediante su intercambio de posiciones. También posicionan la cimbra según el peralte y pendiente que se necesite.

- Patas delantera y trasera, que son los apoyos extremos de la cimbra.

Las dovelas llegan al estribo en góndolas siendo descargadas por el propio carro elefante del puente que las deposita ordenadas tras la cimbra. Sobre cada dovela se habrá montado un balancín tesándose cada barra a 60 Tn, elemento que nos servirá para atar las dovelas a la cimbra posteriormente mediante unas barras de anclaje.

La dovela se coge mediante el cabrestante uniendo su balancín al dispuesto en la dovela mediante dos pasadores y se suspende la dovela entre las vigas principales de la cimbra con su mayor dimensión dispuesta longitudinalmente.

Mediante el cabrestante, se aproxima la dovela a su posición de cuelgue y se gira 90° para colocarla transversalmente. Se unen las barras verticales DYWIDAG Ø36, que están enganchadas a la cimbra, a la dovela, y después de verificar que están perfectamente ancladas, se procede a soltar el cabrestante para pasar su carga a las barras verticales.

El cabrestante volverá a la zona de carga donde el carro elefante le habrá aproximado la siguiente dovela. Esta operación se repite para las dovelas de la nº 15 a la nº 3.

La dovela 0 se coloca mediante el cabrestante con la mayor precisión posible porque fija la posición de todo el vano. Una



Interior del tablero

vez colocada la dovela 0, se colocan las barras de atado longitudinales y las cuelgue verticales. Se suelta el cabrestante, que irá a recoger la dovela 1.

Con la velocidad lenta del cabrestante, se aproxima la dovela 1 a la dovela 0, hasta que las llaves queden en contacto completo. Se colocarán las barras de atado longitudinales, primero. Se posicionan las barras verticales de cuelgue en el balancín y se tesan. Se suelta el cabrestante y antes de recoger la dovela 2 se comprueba topográficamente la posición de la dovela. Se repite el mismo procedimiento hasta que queden todas las dovelas montadas.

Una vez montado el tablero se procede al tesado del mismo; para ello, una vez colocadas las vainas de polietileno, se procede al enfilado y tesado desde la plataforma de la pila frontal, siguiendo la secuencia calculada. Para finalizar el tesado se inyectarán los tendones.

Una vez descargada la cimbra, se puede comenzar a hormigonar los apoyos con mortero autonivelante. En este momento el puente se halla sobre los gatos, habiéndose colocado los apoyos perfectamente nivelados sobre las pilas.

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.

#### 4.2. Excavación de túneles

Para la excavación de los túneles de Despeñaperros, la Cantera y Corzo norte de 1.925 metros, 280 metros y 420 metros respectivamente, se ha utilizado el Nuevo Método

Austríaco. La secuencia que describe el proceso de excavación y sostenimiento del túnel es la siguiente:

Las distintas fases que componen el proceso de excavación y sostenimiento del túnel son las siguientes:

1. *Caracterización de la sección:* para cada Terreno Tipo (función del RMR), el comportamiento de la excavación será diferente en función de la montera existente sobre el túnel y la litología del material excavado.

Así, combinando las tres condiciones anteriores, se han obtenido seis Clases de Terreno de A a F. A cada Clase de Terreno, le corresponde un Sostenimiento Tipo, S-I a S-VI.

Obtenido el índice RMR, se asignará una longitud de pase de excavación y un sostenimiento.

2. *Excavación en voladura y retirada de material procedente de la excavación:* se efectuarán la mayor parte de las excavaciones del tramo con explosivos. Así, la construcción de los túneles se realizará empleando el Nuevo Método Austríaco. De acuerdo con este sistema, la ejecución de la excavación deberá ir seguida por la construcción de un sostenimiento flexible. Las secciones se sostendrán una vez que se obtenga el pase definido en proyecto.

En general, la excavación se realizará en dos fases: avance y destroza. La altura del avance deberá permitir la circulación fluida de los vehículos y el manejo de los bulones con la longitud indicada (4 m en general), por lo que será del orden de 5,5 m.



El pase por ciclo oscilará entre 5 m y 1 m para el avance, y entre 10 m y 2 m para la destroza, en función de la calidad de los terrenos atravesados en cada túnel. El jumbo perforará barrenos de 51 mm de diámetro, obteniéndose 106 barrenos para el caso de avance y 57 barrenos para la destroza. El explosivo a utilizar será el especificado en el Proyecto de Voladuras, siendo GOMA 2 ECO.

Una vez ventilado perfectamente el frente de la voladura, se procede a la retirada del material y al saneo de la sección excavada, para eliminar los posibles bloques inestables que pudieran existir en la misma.

*3. Aplicación del tipo de sostenimiento requerido:* en el diseño de los sostenimientos primarios de los túneles, se han diferenciado seis secciones, que abarcan desde los terrenos de mejor calidad, hasta los más débiles. El sostenimiento recomendado se compone, principalmente, de bulones, hormigón proyectado, y cerchas.

Realizadas las tareas anteriormente descritas, se procede a la proyección de hormigón con fibras según los espesores descritos por tipo de sostenimiento, teniendo en cuenta que primeramente se ejecutará una capa de sellado de 3 cm o 5 cm.

Existen dos tipos diferentes de cerchas: HEB-180 y TH-29. La utilización de uno u otro vendrá definida según el tipo de sostenimientos.

Finalizada la colocación de las cerchas, se procede a la ejecución de los bulones de expansión o Swellex; se bulonarán también todas las inestabilidades locales que se encuentren. Se incluye la perforación con jumbo, la colocación del bulón, el inflado del bulón con agua a presión, y los ensayos de arrancamiento a realizar.

La sección transversal del túnel se comprobará una vez se haya realizado el sostenimiento requerido en el túnel, tanto para la fase de avance como para la de destroza. Sin embargo, los puntos que queden fuera de la tolerancia permitida no serán corregidos hasta que el túnel se encuentre en la fase de destroza. Después se impermeabilizaba con lámina de PVC de 2 mm y por último se procedía al revestimiento con 30 cm de hormigón HM-25.

Se ha contado para la ejecución de las siguientes actividades con medio propios del Grupo FCC:

- En túneles, personal propio especializado de FCC Construcción, y maquinaria específica propia, Jumbo de Perforación de última generación y Robot de Gunitado del Parque Central de Maquinaria.
- Fabricación de las dovelas con la participación de Prefabricados Delta, del Grupo FCC, con encofrados y equipos propios del Parque de Maquinaria.
- Montaje de las dovelas con Autocimbra superior y personal del Parque de Maquinaria.





- El pretensado de los tableros realizado por la empresa del Grupo FCC, BBR Pretensados y Técnicas Especiales.
- Instalación eléctrica de los túneles, incluida la acometida desde Almuradiel (15km), por parte de FCC Industrial.
- Las dos plantas de hormigón para el suministro a la obra son propiedad de Hormigones y Morteros Preparados (HYMPSA), pertenecientes a Cementos Portland Valderrivas, del Grupo FCC.

### 5. Unidades más importantes

- Excavación desmonte: 2.695.303 m<sup>3</sup>.
- Excavación túnel: 684.680 m<sup>3</sup>.



Viaducto Despeñaperros

- Terraplén: 3.222.245 m<sup>3</sup>.
- Explanada: 119.254 m<sup>3</sup>.
- Suelo cemento: 69.540 m<sup>3</sup>.
- Mezclas Bituminosas: 154.524 ton.
- Hormigón: 328.465 m<sup>3</sup>.
- Acero corrugado: 7.809.185 kg.
- Acero Pretensado: 832.118 kg.
- Encofrado Trepante 62.391 m<sup>2</sup>.
- Cable Aluminio 1\*150mm<sup>2</sup> 44.990 m.

### 6. Presupuestos

- Presupuesto Redacción del Proyecto: 2.243.333,16 €.
- Presupuesto de Ejecución: 233.027.839,39 €.
- Presupuesto Control de Obra: 7.160.365,18 €.
- Presupuesto expropiaciones: 2.483.861,92 €.

**Inversión total: 244.915.399,55 €.** **ROP**



Viaducto Tinajuelas



# Máster en Infraestructuras Ferroviarias

Título Propio UDIMA

Fórmate como profesional para cubrir las  
necesidades actuales del sector ferroviario



## INFORMACIÓN

Duración: 1500 horas - 12 meses.

Créditos ECTS: 60 créditos.

**ABIERTO PLAZO INSCRIPCIÓN**

### CONTACTO

[www.eadic.com](http://www.eadic.com)

✉ [info@eadic.com](mailto:info@eadic.com)

☎ +34 91 393 03 19

## La variante de Ferreries (Menorca)

### La protección ambiental en una Reserva de la Biosfera



**Jesús Fernández Adarve**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Dirección Técnica. Ferrovial-Agroman

#### Resumen

La carretera Me-1 es la principal vía de comunicación de Menorca y cruza en la mitad de su recorrido la población de Ferreries. El proyecto de la variante permite circunvalar el núcleo urbano mediante una carretera de nueva construcción.

El proyecto está promovido por el Consell Insular de Menorca y se financia a través de un convenio con el Ministerio de Fomento. Las obras se iniciaron en agosto de 2010 y han finalizado en mayo de 2012. El presupuesto de adjudicación fue de 25.162.849 euros.

#### Palabras clave

Obras, variante, Ferreries, protección, medio ambiente

#### Abstract

*Menorca's main road, the Me-1, crosses the island from west to east and until recently passed through the town of Ferreries at its halfway point. A new by-pass has subsequently allowed traffic to avoid the town centre.*

*The project was promoted by the Menorca Island Council and financed by an agreement with the Spanish Ministry of Development. Work started in August 2010 and was completed in May 2012. The contract price of the project amounted to €25,162,849.*

#### Keywords

*Works, by-pass, Ferreries, protection, environment*

#### Descripción del proyecto

El proyecto consiste en la construcción de un tramo de carretera de calzada única de 4,8 km de longitud entre los p.k. 26+250 y 30+480 de la carretera Me-1. La velocidad de proyecto es de 80 km/h y la sección transversal está constituida por dos o tres carriles de 3,5 m, arcenes de 2,5 m y bermas de 0,75 m.

La obra está dividida en dos tramos: el primero, de unos 1,3 km, aprovecha parcialmente el trazado actual incorporando un tercer carril para vehículos lentos. El segundo tramo, de aproximadamente 3,5 km, es la variante propiamente dicha del núcleo urbano de Ferreries y es un tramo de carretera de nueva planta. Los dos tramos confluyen en la rotonda de Cala Galdana.

En el extremo oriental de la obra se encuentra el semienlace de Mahón, que se ha resuelto mediante una pérgola. En el punto central de la obra se encuentra el enlace de Sant Patrici, de tipo diamante con rotonda, que permite el acceso al Polígono Industrial de Ferreries. El cruce sobre la rotonda se resuelve mediante un viaducto de tres vanos de 122 m de longitud formado por un tablero mixto de hormigón y acero de canto constante. Entre la rotonda de Cala Galdana y Sant Patrici se ha proyectado un túnel de 252 metros de longitud y un tercer carril para vehículos lentos en sentido Mahón-Ciutadella.

A la salida del túnel en dirección Mahón se ha ejecutado un viaducto de un solo vano de 36 m con tablero mixto de hormigón y acero cortén de canto variable y que permite salvar un torrente y dos caminos que dan acceso a Son Blanc. La excavación del túnel se realizó mediante el Nuevo Método Austríaco de Tunelación.



Pérgola del semienlace de Mahón

En las dos rotondas se han incluido pasos para vehículos no motorizados mediante marcos de hormigón armado de 3x2,5 m. Además, se han ejecutado otros dos marcos de idénticas dimensiones que permiten dar continuidad a dos caminos agrícolas interceptados por la traza. Las obras de drenaje transversal también han sido adaptadas para su uso como caminos agrícolas, lo que garantiza la permeabilidad del trazado. Se ha dado continuidad, asimismo, a las rutas ciclistas que cruzan la variante en Cala Galdana y Sant Patrici.

En la ejecución del firme se han utilizado mezclas bituminosas que incorporan betunes mejorados con polvo de caucho procedente del reciclado de neumáticos fuera de uso. En total, se han empleado 1.151 toneladas de betún BC50/70.

El sistema de iluminación de los enlaces y del túnel permite adecuar la intensidad de luz a la luminosidad existente, lo que reduce el consumo energético. Asimismo, se han soterrado más de 2,5 km de líneas aéreas de comunicaciones y se han restituido todos los servicios afectados por el trazado.

### Descripción del medio

Menorca es la más septentrional y oriental de las Islas Baleares, además de la más lluviosa e influenciada por vientos persistentes. Se trata de un territorio intensamente humanizado, con un paisaje rural tradicional muy rico.

La Unesco declaró Menorca como Reserva de la Biosfera en 1993, atendiendo al alto grado de compatibilidad conseguido entre el desarrollo de las actividades eco-



Emboquillado del túnel y estructura del p.k. 0+700 en el tramo 2





Paisaje típico de la zona de Ferreries

nómicas, el consumo de recursos y la conservación de un patrimonio y de un paisaje que ha mantenido, y sigue manteniendo hoy, una calidad excepcional.

#### Vegetación

En el entorno de Ferreries existen amplias zonas de encinar (*Ciclamini-Quercetum ilicis*) que, aunque están presentes fundamentalmente en la costa sur entre Cala Galdana y Trebalúger, también se encuentran en los barrancos del entorno de Ferreries y en la zona próxima a la montaña de Santa Águeda al norte de la ciudad. Igualmente prolifera el acebuchal (*Prasio-Oleetum*) en la zona sur, en las partes más secas de los barrancos y, de forma más fragmentada, en el resto del territorio no dedicado a cultivos o pastos.

El matorral de aladierno (*Rhamnus alaternus*) se concentra mayoritariamente en las zonas más expuestas a la tramuntana y marca la transición del acebuchal. Como degradación del encinar y el acebuchal aparece el brezal o la garriga, de romero y brezo ampliamente representados en el mediodía de Ferreries.

De forma más concreta, en el tramo 1 la vegetación afectada es mayoritariamente de tipo ruderal complementada por algunos ejemplares de lentisco (*Pistacia lentiscus*), esparraguera de sombra (*Asparagus acutifolius*), zarza (*Rubus ulmifolius*), pino carrasco (*Pinus halepensis*), algunos ejemplares de encina de pequeño tamaño (*Quercus ilex*) y acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris*). En el terraplén de la carretera Me-1 se pueden encontrar ejem-

plares de falso aladierno menorquín (*Phillyrea media* spp. *rodriguezii*), así como carrizo (*Ampelodesma mauritanica*) en la zona de Biniatrum.

Ya en el tramo 2, en la zona previa al túnel dominan los terrenos de cultivo con manchas aisladas de vegetación silvestre a base de acebuche, lentisco y aladierno. A la salida del túnel en dirección Maó la vegetación está más intrincada y está compuesta por zarzas, abundantes ejemplares de encina, aladierno y acebuche. Seguidamente, los terrenos de cultivo se intercalan con machas de vegetación propias de la maquia o garriga, con las mismas especies ya mencionadas. Por último, en la zona del semienlace de Maó destacan manchas densas de encinar.

#### Fauna

El grado de antropización del entorno del proyecto condiciona la fauna presente en la zona, que corresponde mayoritariamente a la propia de espacios abiertos, terrenos de cultivo y pastos, con la singularidad de los muros de piedra seca que albergan especies muy características.

Destacan por su importancia los insectos que en la vegetación ruderal ocupan todos los nichos ecológicos. Otros grupos característicos son los moluscos terrestres destacando *Otala punctata*, *Helix aspersa* y *Eobania vermiculata* y los caracoles de los géneros *Theba* y *Helicella*. También hay arácnidos, anélidos y miriápodos, entre otros.

La fauna dominante en las manchas de vegetación arbustiva y vegetación asociada a los muros de pared seca son las aves paseriformes: papamoscas (*Muscicapa striata*), alcaudón común (*Lanius senator*), curruca (*Sylvia* spp.), jilguero (*Carduelis carduelis*), verderón (*Carduelis chloris*), vitrac (*Saxicola torquata*) y mosquitero (*Phylloscopus* spp.).

También es posible encontrar rata común (*Rattus rattus*), ratón de campo (*Mus musculus*), conejo (*Oryctolagus cuniculus*), lirón careto (*Elyomis quercinus*), erizo de tierra (*Atherix algericus*) y algún que otro mustélido (*Mustela nivalis*).

En el entorno de las paredes de piedra seca se han observado ejemplares de lagartija (*Podarcis sicula*), salamanguera común (*Tarentola mauritanica*) y salamanguera rosada (*Hemidactylus turcicus*). También se pueden encontrar culebra de cogulla (*Macroprotodon cucullatus*), culebra de escalera (*Elaphe scalaris*) y tortuga mediterránea (*Testudo hermanni*).





**Caracol junto a un muro de pared  
seca y tortuga mediterránea  
(*Testudo hermanni*)**

Respecto a esta última, en Menorca se encuentran poblaciones tanto en la zona del Migjorn como en la zona de Tramuntana, siendo más frecuente su presencia en los campos de cultivos abandonados o en las zonas de pastura en donde se practica una ganadería extensiva; también se encuentra en los bosques de encinas abiertos, maquias más o menos abiertas y zonas dunares con vegetación. Su presencia está confirmada en la zona del túnel.

*Recursos hídricos*

El proyecto cruza dos cauces de cierta entidad aunque sin presencia constante de agua (torrente de Son Granot y el de s’Estancia de’n Marí) y otros de menor entidad.

*Planeamiento urbanístico*

El trazado de la variante comienza sobre terrenos llanos destinados a cultivos y que urbanísticamente responden a la categoría de Área de interés agrícola. El resto del trazado transcurre por terreno rústico, parte sobre suelo rústico de transición no protegido y parte por la ANEI (Área Natural de Especial Interés) núm. 17 ‘Santa Águeda-s’Enclusa’, donde se ubica el túnel proyectado. El proyecto afecta por tanto a suelo rústico de transición (28 %), suelo rústico de interés agrícola (28 %) y la ANEI nº 17 (44 %). No afecta en ningún caso al entorno urbano ni a las posibles áreas de desarrollo urbanístico.

*Patrimonio histórico-artístico*

Según un informe del Consejo Insular de Menorca, la variante no afectaba a ningún elemento patrimonial o de interés arqueológico conocido. Sin embargo, se vieron afectadas por el trazado dos construcciones tradiciona-



**Bouer de Sant Patrici**

les de uso agrícola (bouers) con cierto valor etnográfico y que se decidió conservar, tal y como se explica más adelante.

*Red de caminos rurales existentes*

La red de caminos rurales se veía afectada en varios puntos del trazado. Entre otros destacan el Camí de l’Hort de Sant Patrici, el camino situado en el p.k. 1 +950, el Camí de s’Enclusa y los de Son Most. Para todos ellos se han previsto soluciones que garantizan la permeabilidad de la traza.

Existe, asimismo, una red de rutas ciclistas que cruzan el trazado y a las que también se ha dado continuidad

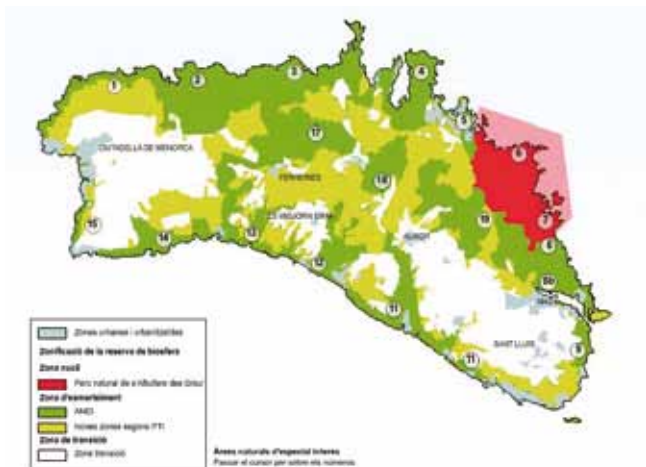
tanto en la rotonda de Cala Galdana como en el enlace de Sant Patrici. Se trata de las rutas Ciutadella-Ferrerries y Ferrerries-es Mercadal.

### Espacios protegidos

#### - Reserva de la Biosfera

La declaración de Menorca como Reserva de Biosfera se basó en la necesidad de conservar la gran diversidad de sistemas naturales que coexisten en una isla tan pequeña, la riqueza de especies endémicas que aloja, un paisaje rural bien conservado e integrado en el entorno y un patrimonio cultural importante. Dicha declaración implica, entre otras cosas, la zonificación del territorio en tres sectores bien diferenciados que permite llevar a cabo una gestión específica para cada uno de ellos en función de los valores que acojan.

- Zona núcleo, en la que es primordial la conservación de los valores naturales, ecosistemas y especies.
- Zona tampón, en las que son compatibles la utilización del territorio con la conservación de los atributos naturales y culturales más significativos. Coincide con las Áreas Naturales de Especial Interés (ANEI), con los encinares protegidos y con otros elementos de protección establecidos por el Plan Territorial Insular.
- Zona de transición, que comprenden los espacios más transformados y de menor interés de conservación.



La zonificación de la Reserva de la Biosfera de Menorca

La variante de Ferrerries se desarrolla en el entorno de una de las 17 Áreas Naturales de Especial Interés (ANEIs) que conforman las zonas tampón: ANEI Santa Àgueda y s'Enclusa (Me-17).

#### - Red Natura 2000

Dos Lugares de Interés Comunitario limitan con el trazado de la variante de Ferrerries:

1. ES0000239 De Binigaus a Cala Mitjana (LIC y ZEPA): situado al sur del tramo 1 de la variante y limitando con éste, incluye los barrancos de Binigaus, Trebalúger y Algendar, formados al erosionarse la plataforma de sedimentos cal cáreos del Mioceno que forma la mitad Sur de Menorca.
2. ES5310116 Basses temporals mediterrànies. Biniatrum (LIC): de reciente designación, incluye los “Estany de Biniatrum”, situados también al sur del tramo 1 de la variante, junto al camí d'Algendar. Se trata de un grupo formado por tres cuencas de inundación que se disponen a lo largo de una falla en la parte superior de una colina y formadas sobre materiales silíceos del Triásico.

#### Dictamen de la Comisión Balear de Medio Ambiente

El proyecto y las obras de la variante estaban sometidos al Dictamen de la Comisión Balear de Medio Ambiente de 5 de noviembre de 2004.

Así, en el diseño de la variante y de acuerdo con el punto 1 de dicho Dictamen, se tuvo en cuenta el informe favorable



Rotonda de Cala Galdana y tramo 1 en el límite de Red Natura



Ramal 1 del enlace de Sant Patrici

de la D.G. de Recursos Hídricos en relación al drenaje de la nueva carretera.

El proyecto incorporaba las medidas establecidas en el EIA y en su correspondiente PVA, adoptándose además todas las medidas adicionales que fueron necesarias a lo largo de la ejecución de la obra, tal y como se solicita en el punto 2 del Dictamen.

En cumplimiento del punto 3 del Dictamen, se rediseñó el trazado de la variante y en especial el enlace de Cala Galdana para reducir su impacto paisajístico. En general, se ha mejorado el balance de tierras de la solución de partida, lo que ha minimizado las necesidades de préstamo y vertedero.

Para cumplir el punto 4, 5 y 9 del Dictamen, el proyecto ha considerado la reposición de todos los accesos a fincas, caminos vecinales, así como la reposición de los muros de piedra seca y la red de acequias existente.

Asimismo, se completaron todos los estudios geotécnicos y geológicos necesarios para la excavación del túnel. También se realizaron los estudios de ruido pertinentes con el fin de analizar el impacto acústico de la variante sobre el núcleo de Son Blanc, si bien los cambios en alzado y la ejecución de motas de tierra han hecho innecesaria la ejecución de barreras acústicas a la salida este del túnel.

### Medidas de protección ambiental

La variante de Ferreries fue objeto de un concurso de proyecto y obra, lo que ha posibilitado desarrollar solu-



Riego antipolvo



Generación de ruido y polvo

ciones más adaptadas a la realidad de la obra y del propio entorno. Además, el seguimiento de la implantación de las medidas ambientales fue llevado a cabo por el mismo equipo de profesionales de la Dirección Técnica de Ferroviaria Agromán que redactó el proyecto.

### Protección de la atmósfera y control del ruido

La naturaleza limo-arcillosa de los suelos por los que discurre la Variante hacía imprescindible adoptar una serie de medidas de protección frente al polvo, máxime teniendo en cuenta que los días de fuertes vientos en la isla de Menorca son frecuentes. Por éste y otros motivos (ruido, seguridad), la velocidad de circulación de vehículos y maquinaria estaba limitada a 20 km/h en las zonas no asfaltadas.

Por otra parte, se diseñó un plan de riegos antipolvo mediante cubas, adaptándose la frecuencia de riegos a las condiciones meteorológicas de cada momento. Se estableció incluso como medida correctora el riego de la vegetación arbórea presente en el entorno de las obras cuando se observaba una deposición excesiva de polvo sobre las hojas. Los acopios temporales de tierras procedentes de la excavación de la traza se ubicaron en puntos estratégicos de modo que actuaran como pantallas





Balizamiento de obra con malla naranja

acústicas temporales en las zonas más próximas al núcleo urbano de Ferreries (emboquille este del túnel y entorno de la rotonda de Sant Patrici). No se realizaron trabajos nocturnos ni fueron necesarias voladuras, ya que el túnel se ejecutó por el método de avance y destroza.

#### *Protección de la vegetación existente*

Todas las zonas afectadas por las obras han estado permanentemente balizadas mediante malla naranja, reponiéndose cuando era necesario. La vigilancia de esta medida ha sido especialmente estricta en las zonas boscosas y espacios protegidos, tal y como establecía el Plan de Prevención de Incendios Forestales incluido en el Proyecto de Construcción. En las zonas con presencia de ganado, la malla plástica naranja era sustituida por un vallado metálico que impidiera el acceso de animales a la zona de obras.

Antes del desbroce se identificaron todas las encinas y acebuches susceptibles de ser trasplantados (aproximadamente unos 400 ejemplares). El destino de los trasplantes ha sido tanto la propia obra (rotonda de Cala Galdana) como otras obras de la isla (acceso a Sant Lluís a través de la Me-8) dada la imposibilidad de ejecutar todos los trasplantes dentro de los límites de la propia obra. Durante el verano y otoño de 2010 se procedió a la recolección de semillas de especies arbustivas y arbóreas presentes en el entorno de la traza y que serían reproducidas en vivero de cara al proyecto de revegetación, tal y como se explica posteriormente.



Acopio señalizado de tierra vegetal

#### *Protección del suelo*

Tras el desbroce se procedió a la retirada del horizonte edáfico, acopiándose la tierra vegetal en cordones a lo largo del trazado. El banco de semillas de la tierra vegetal permitió la rápida revegetación de los acopios, minimizando las pérdidas de suelo fértil por procesos erosivos. Se ha prestado especial atención durante toda la obra al mantenimiento de la señalización de los acopios de tierra vegetal. No ha sido necesaria la apertura de préstamos ni de vertederos específicos para la obra. Todo el material procedente de la excavación, incluido el del túnel, ha sido reutilizado en la propia obra. Se utilizó una planta de machaqueo para la obtención de árido a partir del material excavado. También se reutilizó el firme de los tramos de carretera que quedaron fuera de servicio mediante su tratamiento en una planta de machaqueo móvil.

#### *Protección del medio hídrico*

Se han ejecutado todas las obras de drenaje transversal necesarias para garantizar la continuidad de los cauces interceptados por el trazado. Algunas de estas obras de drenaje permiten igualmente dar continuidad a varios caminos agrícolas, realizando las adaptaciones pertinentes. Todas ellas, a su vez, mejoran la permeabilidad faunística de la variante.

Durante la fase de obras se ejecutaron obras de drenaje temporal mediante tubos de polietileno, así como zanjas de drenaje que evitaron que se inundaran los terrenos de cultivo adyacentes a las obras. Este fue un aspecto crítico de la vigilancia ambiental a consecuencia de las intensas



**Drenaje temporal**



**Batida (julio 2010)**



**Válvulas de escape para fauna de pequeño tamaño**

lluvias que se registraron en el periodo 2010/11. Se instaló una fosa séptica en la zona de instalaciones auxiliares del túnel, en tanto que las aguas residuales de las oficinas de obra eran vertidas directamente a la red de saneamiento de Ferreries.

*Protección de la fauna*

La protección de la fauna ha sido uno de los aspectos más interesantes en la protección ambiental de las obras de la Variante de Ferreries. Se redactó un procedimiento de trabajo específico para la protección de la tortuga mediterránea (*Testudo hermanni*). Siguiendo dicho procedimiento, se realizaron dos batidas en verano de 2010 con el objetivo de localizar y capturar ejemplares de esta especie y trasladarlos fuera de la zona de obra, a unas áreas acordadas previamente con el Consell Insular de Menorca. Aunque durante las batidas no se encontró ninguna tortuga, si fueron localizados dos ejemplares en la zona del túnel durante los trabajos de topografía y podas previas. Estas tortugas se capturaron y liberaron según lo establecido en el procedimiento redactado al efecto.

El cerramiento de la variante, ejecutado en muros de pared seca, incorpora válvulas de escape (120 unidades), algunas con rampas (2 unidades), para animales de pequeño tamaño.

*Protección del patrimonio arqueológico y etnográfico*

Tal y como establecía el EIA y el Dictamen de la Comisión Balear de Medio Ambiente, se llevó a cabo el seguimiento arqueológico de los movimientos de tierras, emitiéndose un informe mensual con los resultados de los estudios realizados.



**Bouer reconstruido con un CT en su interior**

Se balizaron y señalizaron con carteles específicos todas las zonas sensibles según la carta arqueológica, si bien no se encontró ningún material significativo o estructura arqueológica reseñable.

Por el contrario, sí ha habido actuaciones sobre el patrimonio etnográfico. En concreto, el trazado afectaba de lleno a dos construcciones agrícolas típicas de Menorca. Se trataba de dos bouers localizados en el entorno de las rotondas de Cala Galdana y Sant Patrici. Desde un principio se planteó la posibilidad de conservar dichas estructuras con el fin de integrarlas dentro de las obras de la variante. Para ello se procedió a su desmontaje piedra a piedra y conservación en condiciones adecuadas hasta la práctica finalización de las obras.

Los dos bouers fueron finalmente reconstruidos, uno junto a la boca oeste del túnel y otro junto a la rotonda de Cala Galdana. Además, su reconstrucción se ha realizado de tal forma que ha sido posible ubicar en su interior dos centros de transformación eléctrica, que en condiciones normales, son estructuras de difícil integración en el paisaje.

#### *Revegetación y control de la erosión*

Control de la erosión y revegetación son dos conceptos íntimamente ligados y ya desde la fase de proyecto estaban completamente integrados. Inicialmente se plantearon soluciones de protección frente a la erosión en base a mantas orgánicas y redes tridimensionales, si bien después, a raíz del tipo de materiales encontrados y de la tipología de los taludes, fue necesario rediseñar los tratamientos de revegetación en desmontes.



**Desmonte tratado con hidromanta**

Igualmente, el programa de plantaciones fue revisado en su totalidad, adecuando tanto las especies previstas inicialmente como su tamaño. En este sentido, fue crucial la colaboración con los técnicos de Medi Ambient del Consell Insular de Menorca.

Como ya se ha dicho, al final del verano y principios del otoño de 2010 se llevó a cabo la recolección de semillas de especies arbóreas y arbustivas que serían utilizadas posteriormente en la revegetación de las obras. La producción de la planta se llevó a cabo en el vivero que el GOB (Grup Balear d'Ornitologia i Defensa de la Naturalesa) tiene junto al aeropuerto de Menorca y se realizó siguiendo técnicas de agricultura ecológica. De hecho, la mayor parte de la producción está certificada como tal. Se trata de una iniciativa pionera en este sentido, ya que, además, los beneficios obtenidos por el GOB se destinan a proyectos de protección de la biodiversidad de Menorca. La planta que no se obtuvo a partir de semillas se produjo con esquejes procedentes en su mayor parte del entorno inmediato a las obra.

En total se plantaron 7.700 arbustos y casi 3.200 árboles, incluidas especies propias de ribera que se plantaron en el cauce que cruza la rotonda de Sant Patrici. También se trasplantaron diversos pies de encina al interior de la rotonda de Cala Galdana, ya que la mayor parte de los ejemplares fueron trasplantados a las obras de la carretera que da acceso a Sant Lluís a través de la Me-8.

Respecto a las hidrosiembras, se empleó una mezcla de semillas acordada igualmente con la Dirección de Obra y los técnicos del Consell Insular de Menorca. La mezcla



**Plantaciones sobre mota paisajística**





Construcción muro de pared seca

incluía desde especies de desarrollo rápido (*Lolium rigidum*) a especies características de la isla (*Piptatherum miliaceum*, *Hedysarum coronarium*).

El mix de semillas fue proyectado en todos los taludes con independencia de su orientación, si bien en el caso de los desmontes y en los emboquillados de los túneles, la hidrosiembra incorporaba un mulch hidráulico (hidromanta), que proporciona una protección adicional frente a la erosión.

Las densidades y marcos de plantación se establecieron teniendo en cuenta la vegetación existente en el entorno inmediato de la obra, de modo que se diera continuidad a los hábitats interceptados por la traza.

#### Protección del paisaje

Sin lugar a dudas, la protección del paisaje ha sido el mayor condicionante y a su vez el mayor reto del proyecto y de las obras de la variante. En la fase de diseño se adaptó el trazado longitudinal y en planta al relieve de la zona, minimizando los movimientos de tierra. De hecho no ha sido necesario recurrir a material de préstamo ni a vertederos de tierras. También se hizo hincapié en el diseño del enlace de Cala Galdana, así como a la tipología de estructuras, fundamentalmente el viaducto de Sant Patrici, el puente del p.k. 0+700 del tramo 2 y la pérgola del semienlace de Mahón, que presenta aligeramientos curvos tanto en planta como en alzado.

Todo el cerramiento de la variante se ha ejecutado mediante muros de pared seca que dan continuidad a los

existentes. En total, se han ejecutado más de 9.200 metros de pared seca. Además, los accesos a las parcelas se han cerrado mediante barreras artesanales de acebuche típicas de la isla.

El cerramiento incorpora válvulas de escape para fauna de pequeño tamaño ejecutadas también en piedra seca.

Las aletas y salidas de las obras de drenaje se han forrado con piedra seca. Esta medida también se ha aplicado en los cauces y reposiciones de caminos que cruzan las rotondas de Cala Galdana y Sant Patrici, así como en las bajantes de mayor tamaño de algunos desmontes.

La integración de los emboquillados de los túneles fue otro aspecto al que se prestó especial atención. El relleno sobre los falsos túneles se realizó mediante la ejecución de muros de pared seca, restituyendo y dando continuidad a las terrazas existentes antes de las obras. El trabajo de integración se completó con un programa específico de plantaciones.

Se restituyeron los tramos de carretera fuera de uso, mediante la rotura y retirada del firme existente, extendido de tierra vegetal, hidrosiembra y plantaciones. El firme de estos tramos fue reutilizado en la propia obra, al igual que el material procedente de la excavación del túnel.

Se diseñaron tratamientos específicos de revegetación para las rotondas, isletas y motas paisajísticas existentes en el tramo 2. Estas motas, además de apantallamiento visual actúan como barreras acústicas fonoabsorbentes. Como ya se ha dicho, el diseño de los marcos de plan-



Emboquillados del túnel antes y después de la restitución topográfica

tación se hizo teniendo en cuenta las manchas de vegetación colindantes con el trazado. En el caso de los desmontes, las plantaciones se realizaron en las colas y en coronación, adosadas a los muros de pared seca.

#### *Mantenimiento de la permeabilidad*

La permeabilidad transversal de la infraestructura se ha garantizado mediante obras de fábrica (marcos de hormigón armado) y obras de drenaje transversal adaptadas al paso de animales y vehículos agrícolas.

Asimismo, se ha dado continuidad a los caminos peatonales y de vehículos no motorizados (rutas ciclistas) en los enlaces, incorporando tratamientos específicos de integración paisajística (recubrimientos con piedra seca y plantaciones).

#### *Movilidad y servicios afectados*

Durante la ejecución de las obras se han señalado claramente todos los desvíos temporales de tráfico.

En estas zonas, además, se realizaban barridos periódicos de la calzada, por razones de seguridad vial y para evitar un aumento en los niveles de polvo en suspensión.

Se han soterrado más de 2,5 km de líneas aéreas de comunicaciones y reubicando apoyos de líneas eléctricas de media tensión.

#### *Gestión de residuos*

Tal y como establecía el Plan de Gestión de Residuos, se estableció un punto limpio central junto a las oficinas



Encauzamiento de un torrente y reposición de una vía ciclista en Sant Patrici

de la obra situadas en el Polígono Industrial de Ferreries. Dicho punto limpio incorporaba un área específica para residuos peligrosos, techada y con solera de hormigón, así como contenedores para metales, plásticos y maderas. Se instaló otro punto limpio temporal junto a las instalaciones auxiliares del túnel. Es de destacar la gestión específica de las placas de fibrocemento de varias edificaciones afectadas por las obras en la zona de Son Blanc.

Se instaló una fosa séptica en la zona de instalaciones auxiliares del túnel, mientras que las oficinas centrales estaban conectadas directamente a la red de saneamiento municipal.

A lo largo de la obra se ejecutaron tantos puntos de limpieza de canaletas de cubas de hormigonera como fueron necesarios. También se distribuyeron por toda la obra



Punto de limpieza de canaletas



Tratamiento paisajístico del paso inferior de  
Cala Galdana

contenedores de madera y plástico, según las necesidades de cada momento.

Los vertidos accidentales (hormigón y aceites, fundamentalmente) fueron gestionados adecuadamente, si bien en algunos casos fue necesario abrir 'no conformidades' en el sistema de gestión ambiental. En cualquier caso, no se produjo ningún vertido significativo, ni al suelo ni al agua.

#### *Gestión ambiental en obra*

Antes del inicio de las obras se redactó el Plan de Gestión Ambiental (PGA) en el que se definían las normas, procedimientos y controles operacionales que en materia ambiental regirían durante toda la fase de construcción. El PGA desarrollaba y especificaba el contenido de las labores de seguimiento y control del Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) del proyecto sobre la base metodológica del Sistema de Gestión Medioambiental (SIGMA) implan-

tado en Ferrovial-Agromán conforme a norma ISO 14001. Mensualmente se redactaba un informe de seguimiento ambiental en el que se recogían todos los aspectos significativos que hubieran tenido lugar durante el mes en curso. Se han elaborado un total de 23 informes.

#### *Información y formación ambiental al personal de obra*

La señalización ambiental de las obras se ha llevado a cabo mediante paneles y carteles específicos. La señalización era revisada periódicamente, reponiéndose cuando era necesario, al igual que el balizamiento de toda la zona de obras.

Por otra parte, se han impartido cursos de formación ambiental a todo el personal de obra. Por lo que respecta a la formación del personal subcontratista, a cada subcontrata se le hizo entrega del 'Manual de Información sobre comportamiento ambiental en obra para Subcontratistas'. **ROP**





## Nueva esclusa en el Puerto de Sevilla



**Eloy Saiz San Pedro**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Gerente Exclusa Sevilla UTE

### Resumen

El proyecto ha consistido en la construcción de una nueva esclusa, con unas dimensiones de 434 m de longitud y una manga útil de 35 m, que permite el acceso de barcos al Puerto de Sevilla de hasta 20.000 TPM y 290 m de eslora. La solera de la nueva esclusa se situará en la cota -11, ampliándose el calado en el canal de navegación hasta la cota -9 aguas abajo y -7,70 aguas arriba. El funcionamiento es sencillo y análogo al de un ascensor. El barco se sitúa entre las puertas, se modifica el nivel del agua, el barco sube o baja, y finalmente, con la apertura de la puerta, el barco sale con el nuevo nivel. Las puertas son deslizantes de 42 m de ancho, 23,3 m de altura y 6 m de espesor en el lado río, mientras que las puertas del lado del puerto son 42 m de ancho, 17,50 m de altura y 5 m de espesor.

También se incluyen tres puentes basculantes de contrapeso superior, dos para carretera de 44 m por 12 m de ancho y otro para ferrocarril de la misma longitud y de 6,10 m de ancho. Se completa la obra con dos muelles de apoyo formados por tablestacas de 173 m de longitud y dos duques de alba, así como con los edificios de control: oficinas, maquinaria y servicios generales, ocupando una superficie de 282 m<sup>2</sup> sobre un total urbanizado de 69.000 m<sup>2</sup>.

Los accesos a la esclusa incluyen viales formados por 110.000 m<sup>2</sup> de pavimentos bituminosos y 3,4 km de vía férrea.

El proyecto, además de mejorar el transporte y facilitar el desarrollo de la ciudad, ha tenido una vertiente ambiental muy importante, ha sido concebido dentro de un esquema de nuevos planteamientos integrados en la sostenibilidad ambiental y refrendado por las diferentes instituciones ambientales.

### Palabras clave

Exclusa, puertas deslizantes, puentes basculantes, tablestacas, Puerto de Sevilla

### Abstract

*The project consisted of the construction of a new 434 m long lock with a clear breadth of 35 m, to allow the access to the Port of Seville of vessels of up to 20,000 DWT and 290 m overall length. The base of the new lock is set at a depth of 11 metres with respect to the datum, which has increased the draught in the ship channel up to 9 metres downstream and 7.70 metres upstream. Lock operation is simple and similar to that of a lift. The vessel is positioned within the lock gates, the water level is raised or lowered and the vessel rises or lowers accordingly and, once the gates are opened, then leaves the lock at the new level. The sliding lock gates on the river side are 42 m wide, 23.3 m high and 6 m thick, while those on the port side are 42 m wide, 17.50 m high and 5 m thick.*

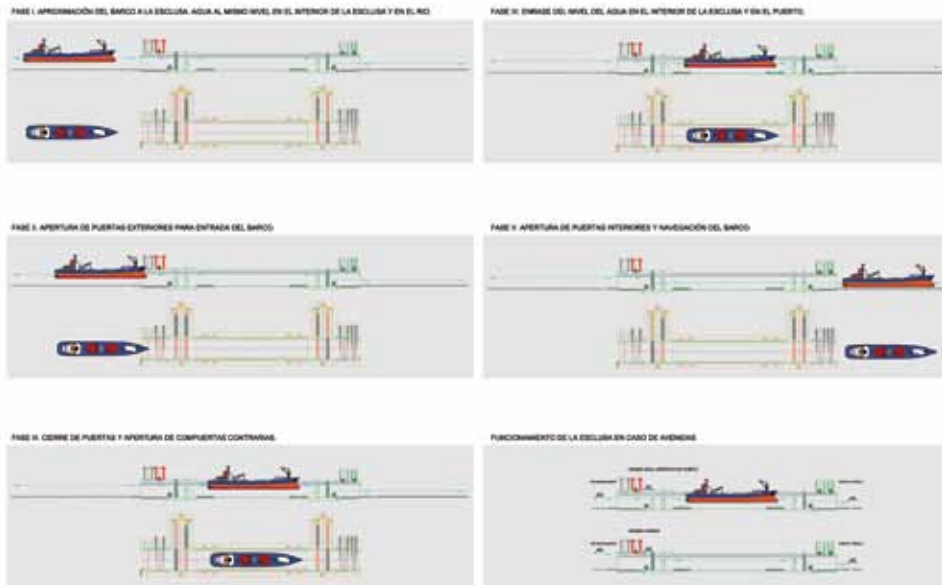
*The work also includes three bascule bridges with counterweighted leaves, formed by two road bridges measuring 44 m in length by 12 m in width and a railway bridge of the same length and 6.10 m wide. The lock complex is completed by two support docks formed by 173 m long sheet piling and two mooring dolphins, together with auxiliary and control buildings for offices, machinery and general facilities, occupying a build area of 282 m<sup>2</sup> within a total developed area of 69,000 m<sup>2</sup>.*

*The accesses to the lock include 110,000 m<sup>2</sup> of paved roads and 3.4 km of railways.*

*In addition to improving transport and furthering the development of the city, the project has a considerable environmental aspect, this having been designed according to new and stricter conditions of environmental sustainability endorsed by different environmental institutions.*

### Keywords

*Lock, sliding gates, bascule bridges, sheet piling, Port of Seville*



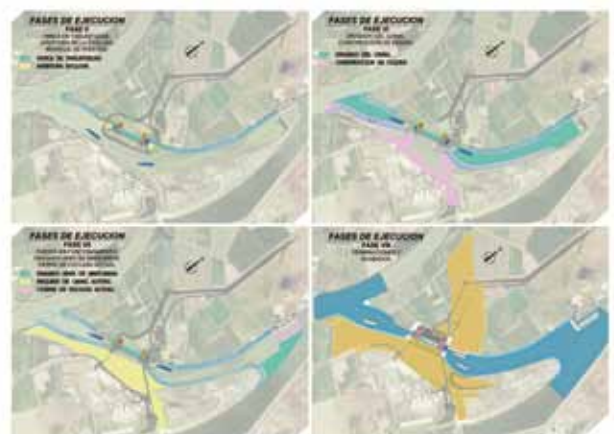
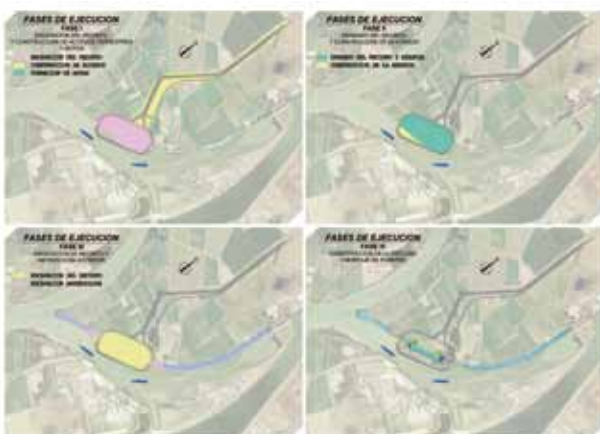
**Introducción**

La construcción de la nueva esclusa de Sevilla responde a una necesidad de crecimiento del Puerto de Sevilla unida a la necesidad de renovación de una estructura, la antigua esclusa, terminada de construir en los años sesenta y con numerosos problemas de mantenimiento.

El río Guadalquivir a la altura de Sevilla cuenta con una carrera de marea media de 2 metros, lo que hace necesaria una infraestructura que permita elevar o bajar el nivel para entrar o salir del puerto cuya lámina de agua está a cota fija para facilitar así las operaciones de estiba y desestiba de

buques. El funcionamiento es sencillo y análogo al de un ascensor: el barco se sitúa entre las compuertas, se modifica el nivel del agua mediante gravedad, el barco sube o baja y, finalmente, con la apertura de la compuerta, el barco sale con el nuevo nivel.

La antigua esclusa tenía 24,36 m de manga y 200 m de eslora, lo que permitía el paso de barcos de hasta 5.000 TPM, mientras que la nueva esclusa cuenta con 40 m de manga y 293 m de eslora pudiendo entrar barcos de hasta 20.000 TPM, con ello se cuadruplica la capacidad del Puerto de Sevilla y se da cabida en el mismo a una flota



de nuevos buques más eficientes económica, energética y medioambientalmente. De no acometer la nueva esclusa, el Puerto de Sevilla hubiera quedado abocado a una flota de barcos antiguos, caros, contaminantes y, desde el punto de vista de seguridad, peligrosos.

Además, la esclusa de Sevilla tiene otra función, que es la de proteger de avenidas a la ciudad de Sevilla. La ciudad de Sevilla está protegida por un muro de defensa que rodea la ciudad y del que la esclusa forma parte con sus puertas externas y el vial de carretera. Dicho muro corona a la cota +9, cota de máxima avenida para un periodo de retorno de 500 años. En caso de avenida, las puertas exteriores se cierran, quedando así protegida la ciudad de Sevilla.

### Descripción

El proceso constructivo de la obra ha supuesto la conjunción y programación previa de una larga lista de tareas complejas y el funcionamiento de equipos de producciones muy elevadas no empleados habitualmente en otro tipo de obras, los cuales se pueden agrupar en las siguientes fases:

1. Ejecución del recinto de construcción de la estructura de la esclusa.
2. Construcción de la estructura de hormigón armado de la esclusa. Fabricación y colocación de los elementos electromecánicos (puertas metálicas y puentes basculantes). Ejecución de los muelles de tablestacas.
3. Inundación del recinto y trabajos de acondicionamiento en anteesclusa y enlace con la nueva esclusa (dragados, formación de diques de cierre y viales sobre el Canal de Alfonso XIII).
4. Apertura de la Dársena y puesta en funcionamiento.

### Recinto de Construcción

Dado que la estructura de hormigón armado que conforma la esclusa propiamente dicha se cimenta de forma directa a las cotas -14,0 m (cuenco central y puentes) y -16,0 m (zonas de garajes), en las gravas presentes en el aluvial subyacente (de espesor variable, situadas generalmente entre la cota absoluta -13,0 m y la -19,0 m), fue preciso crear un recinto estanco bajo el nivel del río que permitiera alcanzar esta cota y poder efectuar los trabajos previstos en seco, es decir trabajar a 18 metros bajo el nivel freático a una distancia de unos 90 m del río Guadalquivir. La ubicación y orientación de la nueva esclusa en la orilla del Canal de Alfonso XIII fue señalada tras minuciosos estudios de navegación que tuvieron en cuenta tipo de barcos, corrientes, vientos, etc. Debido a esta ubicación ha sido preciso ganar una importante porción de terreno al río, para lo cual se diseñó una ataguía compuesta de material todo uno de cantera (aprox. 500.000 TM) apoyada parcialmente sobre el fondo del cauce, el cual se dragó previamente hasta garantizar un apoyo en material suficientemente competente (cota -15,0 m). Este punto no había sido detectado en el proyecto original, que rellenaba directamente sobre el lecho del río con material procedente de la excavación y fue motivo del modificado N° 1. El relleno con todo uno de cantera tendría que ser después atravesado con una pantalla de bentonita-cemento; por ello, se buscó una granulometría continua y un tamaño máximo de 400 mm que permitiera posteriormente excavarlo con una cuchara de 1 m de ancho. Paralelamente, y aprovechando la presencia de la draga junto al recinto, se dragó en el interior del mismo hasta la cota -5,0 m el material limo-arcilloso presente en el mismo que podría dificultar después el tráfico de vehículos para su excavación.

Mientras se procedía a la formación completa del perímetro del recinto de construcción con la ataguía, se fue



Recinto. Septiembre de 2005



Recinto. Junio de 2006



Ataguía de cierre. Octubre de 2006





Recinto cerrado. Junio de 2007



Recinto achicado. Junio de 2007



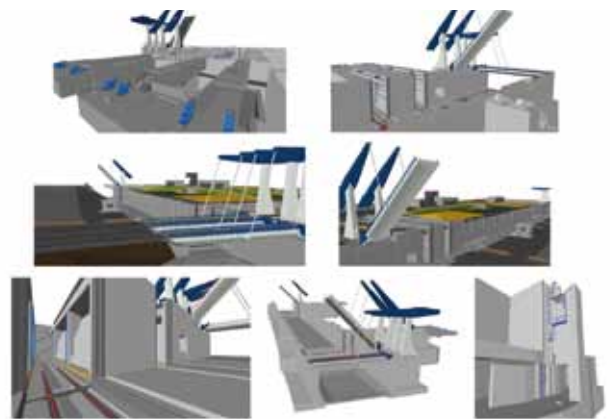
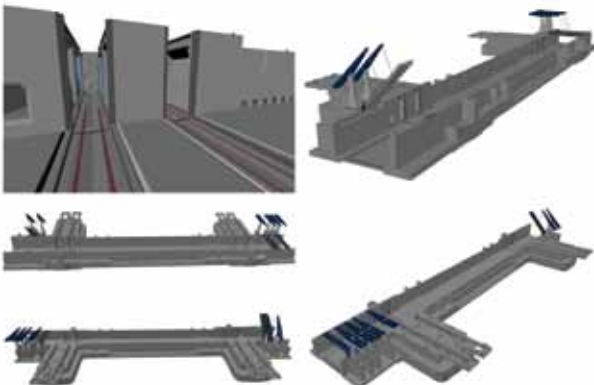
Estructura. Diciembre de 2007

excavando el recinto con medios terrestres hasta alcanzar el nivel freático y se fue ejecutando una pantalla de impermeabilización de bentonita-cemento de 1,0 m de espesor (aproximadamente 54.000 m<sup>2</sup>) empotrada en las margas azules situadas aproximadamente a la cota -20. Una vez ejecutada toda la pantalla que circundaba el recinto de construcción, se procedió a ejecutar el rebaje del nivel freático en el interior del mismo. Para ello se contó con dos bombas flotantes de 260 l/sg y una vez eliminada el agua superficial, se continuó el achique mediante pozos comunicados con las gravas anteriormente comentadas. Debido a la presencia de estratos limo-arcillosos en los taludes, existía el peligro de que se produjeran fenómenos de desembalse rápido si se quedaba colgado el nivel freático en alguno de esos niveles. Esto obligó a la realización de un estudio de redes de filtración que estableció que el ritmo máximo de vaciado del recinto con coeficientes de seguridad aceptables era de 1 m/semana. Para controlar estos fenómenos y que el modelo de filtración era correcto, se estableció una red de piezómetros alrededor de toda la pantalla y se constató que no quedaban niveles colgados

y que el nivel freático en los taludes iba acompañando al de lámina de agua.

Una vez achicado el recinto, se procedió a la excavación del material presente mediante equipos mecánicos terrestres de gran rendimiento (en total se llegó a contar con cuatro equipos de movimiento de tierras trabajando en doble turno para excavar 1,7 millones de m<sup>3</sup>).

Durante todo el proceso de excavación, ejecución de la estructura y posterior trasdosado de la misma, se han controlado los asentamientos y desplazamientos horizontales del perímetro del recinto de construcción, con especial atención sobre la ataguía de cierre del mismo, mediante la instalación de una red de inclinómetros y de hitos topográficos para el control de asentamientos (el valor máximo de desplazamiento hacia el interior del recinto ha superado los 80 mm en la coronación de la ataguía, mientras que el asiento máximo ha superado los 140 mm), estando en todo momento dentro del intervalo previsto por el cálculo previo efectuado.





Estructura. Febrero de 2008



Estructura. Mayo de 2008



Recinto achicado y reinicio de los trabajos de excavación del recinto seco

**Estructura de la esclusa. Elementos electromecánicos. Muelles de tablestacas**

Tras alcanzar la cota prevista para la cimentación de la estructura se comenzó su ejecución, para lo cual se dispusieron previamente en obra las instalaciones generales necesarias: dos plantas de fabricación de hormigón con amasadora con una capacidad nominal de 99 m<sup>3</sup>/h cada una, seis grúas torre de 60 m de pluma y carga máxima en punta de 4,2 TM (propiedad de FCC Construcción) y un parque de acopio y elaboración de ferralla, equipado con otra grúa torre y capacidad de almacenamiento para más de 20.000.000 kg de acero corrugado. Asimismo, el encofrado utilizado fue suministrado por el parque de maquinaria de FCC Construcción, ejecutándose unos 100.000 m<sup>2</sup> de los cuales aproximadamente el 70 % fue en trepas.

La estructura se divide en cinco partes diferenciadas:

- Zona de puentes lado puerto y zona de puentes lado río: son las partes de la estructura donde se apoyan los puentes basculantes, situadas en ambos extremos de la estructura. Se caracterizan principalmente por la disposición de contrafuertes de 3,0 m de espesor en las zonas de anclaje de las pilas de los puentes.

- Zona de garajes lado puerto y zona de garajes lado río: en esas partes de la estructura se disponen las puertas que permiten el funcionamiento de la esclusa, de desplazamiento horizontal transversal al eje de la esclusa, además de la zona de alojamiento de las mismas para efectuar trabajos de mantenimiento. También incluyen los denominados canales de llenado y vaciado, cuya función principal es garantizar el flujo de agua entre las diferentes zonas de la esclusa para elevar o bajar el nivel de agua gracias a ocho compuertas de accionamiento vertical cuyas guía y carriles quedan embebidos en esta parte de la estructura. En los extremos de esta zona y embebidos en las zapatas, existen galerías que



Tablestacas recinto. Octubre de 2009



Anclajes tablestacas. Octubre de 2009



Estructura. Julio de 2008



Interior de canales de llenado y vaciado. Octubre de 2009



Estructura. Enero de 2009



Estructura terminada. Octubre de 2009



Encofrados trepantes

permiten el paso de un lado a otro de la esclusa de servicios, personas, instalaciones, etc.

- Cuenco central: es la zona en la cual se produce la elevación o descenso de las embarcaciones, teniendo como principal característica la solera perforada de 0,50 m de espesor y las zonas de difusores por dónde entra o sale el agua. La forma de estos difusores en conjunto con los canales de llenado y vaciado fue estudiada en modelo a escala reducida en el laboratorio de Puertos del CEDEX con el objeto de minimizar la turbulencia producida al barco y minimizar al máximo el tiempo de esclusada.

La estructura de hormigón armado de la esclusa tiene una longitud de 434 m (293 m entre puertas) y 40 m de ancho (35 m





Garaje. Octubre de 2009



Inicio de la inundación del recinto. Octubre de 2009

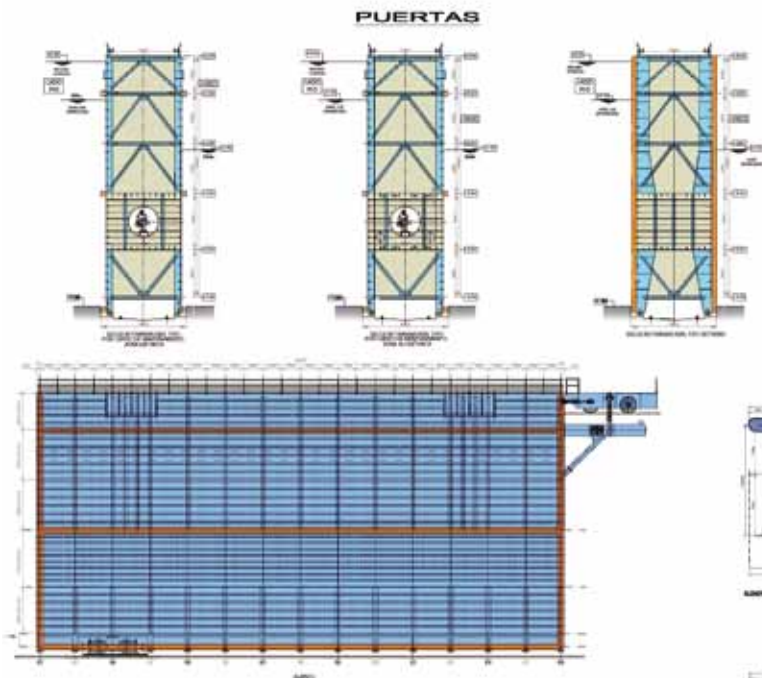
útiles), con muros de hasta 20 m de altura y 4 m de espesor (en los garajes hay zonas masivas de hormigón de más de 10,0 m de espesor). Las cimentaciones tienen de canto 3 m (zona central y de puentes) y 5 m (zona de garajes). La estructura trabaja como muros independientes de canto variable apoyados en zapatas con una solera drenada entre ellos (para evitar subpresiones), excepto en la zona de garajes en la que para evitar que asentamientos diferenciales pudieran dar problemas en la rodadura de las puertas, se optó por hacer zapatas continuas de 124 m de largo 61,5 m de ancho y 5 metros de canto, creándose así un macizo prácticamente inamovible. Para la ejecución se han empleado un total de 300.000 m<sup>3</sup> de hormigón (con medias de 600 m<sup>3</sup>/día y puntas de algo más de 2.000 m<sup>3</sup>/día) de diversas resistencias, fundamentalmente HA-30, 20 millones de kg de acero corrugado en armaduras, 100.000 m<sup>2</sup> de encofrado (del cual el 70 % corresponde a encofrado trepante) y 1,2 millones de m<sup>3</sup> de relleno de tierras en trasdosado de la estructura que iba acompañando la ejecución de la misma para no retrasar el global de la obra. Para asegurar la durabilidad del hormigón con grandes producciones en verano, se hicieron estudios sobre la temperatura máxima del hormigón durante el fraguado. Posteriormente, durante la ejecución se controlaron las temperaturas del hormigón mediante termopares dejados en el hormigón, así la temperatura de puesta en obra del hormigón máxima ha sido de 30° y la máxima alcanzada durante el proceso de fraguado de 70°. Para conseguir esta temperatura de puesta en obra tan baja en Sevilla hubo que proceder a sombrear y regar los áridos, colocar una enfriadora para el agua de amasado, añadir hielo y tener una capacidad de almacenamiento de cemento suficiente que permitiera asegurar que el cemento se había enfriado tras salir de la fábrica y antes de aportarlo al hormigón.



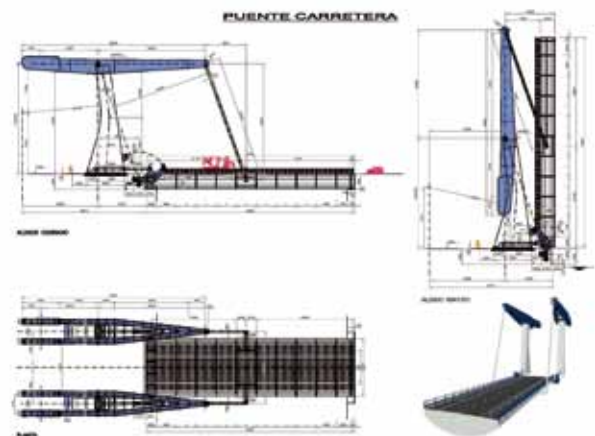
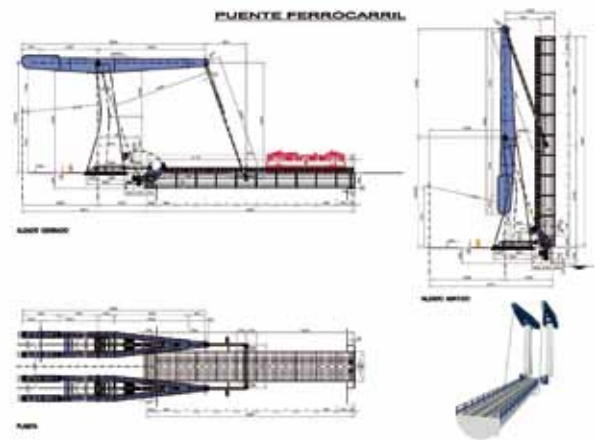
Garajes

Todo el cemento fue aportado por Cementos Portland desde su fábrica de Alcalá de Guadaíra.

En paralelo a la ejecución de la estructura, se han construido las puertas metálicas (en las instalaciones de los astilleros situados en el Puerto de Sevilla) y los puentes basculantes. La función desarrollada por las puertas es primordial para la operatividad de la esclusa al ser los elementos que materializan la separación entre las distintas zonas que tienen distintos niveles de agua. Son unos grandes cajones de chapa de acero, arriostrados mediante perfiles. Se deslizan sobre carriles transversales al eje de la esclusa, apoyadas en un carro inferior y otro superior con cuatro ruedas cada uno de 1.200 mm de diámetro. Cuando las puertas están abiertas, quedan recogidas en un espacio de dique perpendicular a

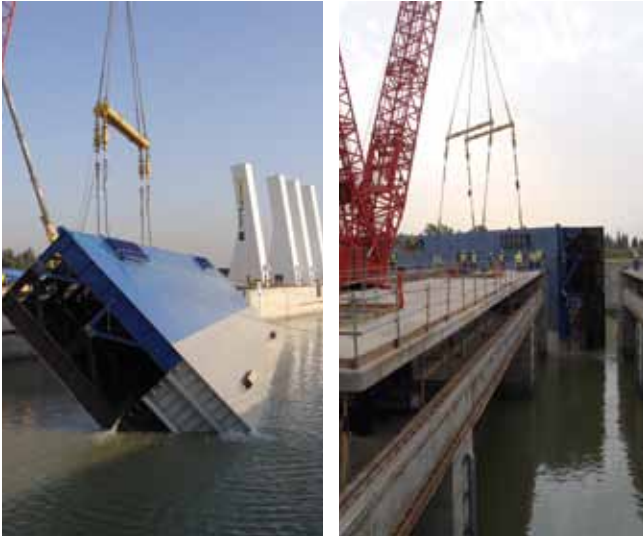


Traslado de compuertas. Noviembre de 2009



la esclusa (garaje). Estos garajes se pueden convertir en un dique seco que permite las operaciones de mantenimiento y reparación mediante la colocación de un mamparo en la parte exterior del mismo quedando las puertas, una vez achicada el agua, colgadas de los carros de mantenimiento y con acceso fácil a todos sus elementos. El movimiento de las puertas se produce mediante un cable que tira de ellas desde el carro superior y cuyos tambores y motores se encuentran alojados en un edificio de maquinaria situado tras el garaje y comunicado con él mediante unas galerías por donde pasan dichos cables. Las puertas están dotadas de una serie de instalaciones (aire comprimido, agitadores de lodo, sondas de nivel...) que permiten su correcto funcionamiento. Entre estas instalaciones destacan los tanques de flotación, que permiten regular la reacción de las puertas sobre los carriles, consiguiéndose así un equilibrio entre la durabilidad de los mismos y la seguridad de la operación: si todo el peso de la puerta apoyara sobre los carriles, la duración de los mismos sería muy corta, mientras que si la puerta no apoyara nada, es decir flotara sobre los carriles, cualquier golpe, viento u oleaje la sacaría de su posición de trabajo. En total, hay cuatro puertas, dos para el garaje del lado río y dos para el garaje del lado puerto, duplicadas para minimizar los problemas en caso de avería (se funciona habitualmente con solamente una puerta por lado). Sus dimensiones principales son 42 x 20,3

x 6 m para las del lado río y 42 x 17,3 x 5 m para las del lado puerto, empleando en su fabricación un total de 3,25 millones de kg de acero. Durante la fabricación en el astillero, se formaron unos tanques de flotación provisionales que posibilitaran la flotación de la compuerta en posición horizontal, para así poder trasladarlas desde el astillero hasta la obra pasando por la esclusa antigua (flotando en posición de servicio, ver-



**Montaje de compuertas. Noviembre de 2009**

tical, no pasaban por la esclusa antigua que tenía un calado inferior a la nueva).

Igualmente se han construido tres puentes basculantes, dos para carretera y uno para ferrocarril, accionados mediante gatos hidráulicos situados en las bases de las pilas, también metálicas, ayudados por los contrapesos superiores alojados en los bastidores ubicados sobre las pilas y conectados a los tableros en su parte media mediante unos tirantes. Las dimensiones principales de los puentes son 42 x 12 m para los de carretera y 42 x 6 m para el de ferrocarril, con 3,0 m de canto total, pilas de 25 m de altura y un peso total de 3,1 millones de kg en acero estructural para pilas, tableros y bastidores y 2,1 millones de kg de acero en contrapesos. Los puentes fueron construidos en dovelas en factorías fuera de la obra y posteriormente ensamblados en la obra en plataformas ejecutadas a tal efecto. Estos puentes permiten dar permeabilidad transversal a la nueva esclusa para los viales de carretera y ferrocarril incluidos en el proyecto que completan la red interna de comunicaciones viarias del Puerto de Sevilla.

También durante la construcción de la esclusa se han fabricado ocho válvulas de tajadera que son las que gobiernan el flujo de agua que por gravedad llena o vacía la esclusa. Estas válvulas son estructuras metálicas con ruedas que se mueven sobre carriles verticales. Tienen unas dimensiones de 5x3 m y un peso de unos 9.100 kg cada una. Su accionamiento es mediante un cilindro hidráulico vertical que está conectado a la válvula mediante una cadena. A ambos lados de cada



**Vista general. Noviembre de 2009**



**Montaje de un tablero puente. Noviembre de 2009**



**Montaje del contrapeso del puente. Diciembre de 2009**





Esclusa abierta. Septiembre de 2010

válvula se pueden colocar unas válvulas de emergencia que permiten achicar el agua entre ellas y así acceder en seco a las válvulas para operaciones de reparación, como los conductos se dividen en dos partes a la altura de las válvulas, la esclusa puede seguir funcionando con una sola válvula por conducto.

Todos los elementos electromecánicos se controlan desde la torre de control mediante un programa tipo SCADA dotado de enclavamientos de seguridad entre los elementos para evitar accidentes, en caso de avería todos los elementos se pueden manejar manualmente actuando sobre cada uno de ellos mediante la pantalla táctil de los PLC.

Para materializar la transición entre los taludes de las márgenes del Canal de Alfonso XIII y los paramentos verticales de la esclusa, se han diseñado unos muelles de tablestacas de 225 m de longitud en las márgenes norte, formados por un tramo recto y una parte final circular, y de 90 m en las márgenes sur totalmente circulares. La profundidad alcanzada por estos elementos se ha calculado empleando los datos obtenidos mediante un exhaustivo análisis geotécnico complementario al de proyecto, necesario debido a la variabilidad de características de los materiales subyacentes, alcanzando hasta 28,5 m de profundidad en el caso más desfavorable. Para garantizar la estabilidad de esta pantalla de tablestacas, se ancla ésta a otra pantalla de tablestacas situada en su parte posterior, de menor entidad (6,0 m) mediante anclajes GEWI  $\Phi 50$  y  $\Phi 63$  mm dobles. En total, entre las pantallas delantera y trasera hay más 5,0 millones de kg de acero en perfiles Larssen 430. Especial mención merece el anclaje de las partes circulares ya que debido al menor



Diques de cierre unidos. Diciembre de 2010

desarrollo de la pantalla trasera se produce una concentración de tensiones que hace inviable esta solución por lo que se ha cambiado a un anclaje trasero mediante una losa que trabaja por rozamiento en lugar de por movilización del pasivo. Los SS. TT. de FCC Construcción recalcaron la solución de proyecto modificando la altura y dimensiones de los anclajes y todo el sistema que permite la unión de los anclajes con las tablestacas.

#### **Anteesclusa y enlace nueva esclusa**

Una vez terminada la estructura de hormigón y el tablestacado dentro del recinto de construcción, se procedió a la inundación del cuenco y la rotura del tapón del lado puerto para proceder al montaje de las puertas y los puentes.

Además de permitir el acceso a cualquiera que viniera a visitarla, se organizaron diferentes actividades:

- Marcha en bicicleta: llegaron desde Sevilla en bicicleta, atravesaron todo el cuenco de una lado a otro sin ningún percance.
- Concierto de la banda sinfónica municipal de Sevilla: actuó dentro del cuenco con gran éxito de público.
- Concierto de cuarteto de cuerda Haendel, patrocinado por Puertos del Estado y que actuó también en el cuenco destacando la buena sonoridad de la obra.

Finalmente, todo salió muy bien acudiendo cada día más de 10.000 personas y acercando así a la sociedad una gran obra



de ingeniería que posteriormente iba a quedar oculta para siempre bajo el agua.

El traslado de las puertas se realizó mediante dos remolcadores, uno en proa y otro en popa y tuvo especial dificultad en el paso de la esclusa actual en la que en las puertas lado río, existía sólo un margen de 1,50 cm por cada lado de la puerta. Una vez llegaron a la nueva esclusa se procedió a ponerlas de nuevo en vertical mediante el tiro de una grúa de 750 Tm sobre cadenas, procediéndose mediante un sistema de tiros y reenvíos a la ejecución de la maniobra de entrada en los garajes. A continuación, se colocan las puertas en posición de mantenimiento para proceder al montaje de todos los elementos de tiro de las puertas, maderas de impermeabilización, montaje de carros superiores, inferiores, pruebas de instalaciones, y demás elementos que permiten el correcto funcionamiento de las puertas.

Posteriormente, y con esa misma grúa, se ha procedido al lanzamiento de los tableros de los puentes desde el lado sur de la esclusa y la colocación de los contrapesos sobre las pilas desde el lado norte.

Paralelamente a las operaciones de construcción de la estructura de la esclusa, se ha procedido al acondicionamiento del tramo anterior (anteesclusa) y posterior (enlace nueva esclusa) a la esclusa del Canal de Alfonso XIII, consistente en un dragado a sección completa del mismo (hasta las cotas -9,5 m y -7,7 m respectivamente) y en una protección de las márgenes con escollera. Para la ejecución del dragado se ha contado con una draga de cortador capaz de alcanzar profundidades



de 18,0 m e impulsar la mezcla agua-suelo en suspensión extraída del fondo a más de 2,0 km de distancia, con objeto de enviarla a unos recintos de decantación de los sólidos en suspensión. El volumen total de dragados alcanzó los 4 millones de m<sup>3</sup> en las distintas fases previstas, siendo necesario ejecutar previamente recintos de vertido capaces de alojar este volumen y que permitan la decantación de los materiales con los altos rendimientos que estos equipos permiten (se han obtenido puntas de 100.000 m<sup>3</sup>/semana) devolviendo al río sólo agua limpia.

En esta fase, se ejecutó en la zona de la antesclusa dos pantanes de espera formados por duques de alba apoyados sobre 12 pilotes metálicos de 914 mm de diámetro y 26 m de profundidad cada uno y unas defensas tipo Seaward Donut formadas por pilotes metálicos de 30 m de longitud y diámetro 1.422 mm dentro de los cuales van colocados los 'donuts' que se mueven con la marea.

Tras el acondicionamiento de estas zonas, y dado que el cuenco de la esclusa estaba abierto para introducir las puertas, se desvió el tráfico fluvial por el interior de la nueva esclusa, la cual aún no se encontraba operativa, con el objeto de rellenar el antiguo canal de navegación en el área paralela a la esclusa para que el único punto de paso posible fuera la propia estructura y se pudiera llevar a cabo su puesta en servicio.

Se aprovechó también para cambiar en planta el vial eje 6 que transcurría junto al cuartel del Copero consiguiendo así preservar un hábitat de especial interés, un bosque de ribera de importante altura en el que viven numerosas especies



Urbanización. Octubre de 2011



Vista general. Noviembre de 2011



Vista general. Diciembre de 2011



Vista general. Diciembre de 2011

de aves que gozan de especial protección. Este cambio en planta conllevó un tratamiento del vial debido a que su apoyo pasaba de la orilla a ser un apoyo sobre el cauce del brazo muerto que se procedió a aterrizar, con una serie de medidas a ejecutar en el mismo para asegurar su estabilidad en el tiempo. Este cambio del vial eje 6 quedó reflejado en el Proyecto Modificado N° 2 donde se también se incluyó el dragado de la superficie de apoyo de los diques de cierre para eliminar las bolsas de limos arcillosos blandos (no detectados en el proyecto original) y efectuar el relleno de material granular desde un estrato más consistente formado por arenas y gravas, y los ajustes que fueron necesarios llevar a cabo en los muelles de tablestacas. El volumen necesario para el relleno del canal en esta zona superó los 1,6 millones de m<sup>3</sup> de material, de los cuales aproximadamente un 30 % fue procedente de

préstamo para formar el terraplén de paso de los viales de carretera y ferrocarril proyectados. Estos viales atienden las comunicaciones internas del puerto y el acceso a la nueva esclusa, estando incluidos parte de los mismos en el presente proyecto. Se han construido un total de 8,9 km de viales de carretera y 3,4 km de ferrocarril.

#### Apertura de la dársena y puesta en funcionamiento

Una vez que el Canal de Alfonso XIII se desvió para que el tráfico fluvial pasara por la nueva esclusa y se finalizaron con éxito la colocación y puesta en servicio de los equipamientos mecánicos e hidráulicos de puertas, puentes y válvulas, se anuló la esclusa antigua y se puso en funcionamiento la nueva, para lo cual fue necesario excavar, en primera instancia, y dragar a continuación la zona de apertura de la Dársena del Puerto,



poniéndola en comunicación con el enlace nueva esclusa y con la esclusa actual.

Para la gestión integral de todos los elementos electromecánicos descritos anteriormente y la explotación de esclusa, se disponen cuatro edificios en la zona anexa a la nueva esclusa (edificio de control, de servicios generales y dos de maquinaria, uno para el lado puerto y otro para el lado río), en los cuales se realiza el control y gestión de esta nueva infraestructura portuaria, junto con una nueva zona urbanizada de 70 Ha dotada de todos los servicios necesarios (abastecimiento, saneamiento, red de pluviales, red contra incendios, instalación eléctrica, alumbrado, telefonía y comunicaciones) y unos viales de acceso para carretera y ferrocarril anteriormente citados. Paralelamente también se ejecutó como proyecto complementario la ejecución de la explanada de los futuros viales a ejecutar en el extremo sur de la Dársena del Cuarto y las obras necesarias para la construcción de nuevos depósitos temporales para albergar el material procedente de futuros dragados de mantenimiento de la Autoridad Portuaria de Sevilla.

#### **Actuaciones medioambientales**

El Proyecto de 'Actuaciones de Mejora en Accesos Marítimos al Puerto de Sevilla. Fase I: Exclusa', se encuadra dentro del proyecto del mismo nombre, promovido por la Autoridad Portuaria de Sevilla (APS), que inició su procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental en julio de 1999, presentándose la correspondiente Memoria ante la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente. Tras la etapa de consultas, se redactó la oportuna Declaración de Impacto Ambiental (DIA), publicada en el BOE de fecha 2 de octubre de 2003.

La línea de actuación que recoge la DIA, en relación con el proyecto de ejecución de la nueva esclusa, se limitaba a las actividades siguientes:

- Caracterización previa de los sedimentos.
- Plan de restauración y estado final.
- Campaña preoperacional de medidas de la calidad hidrológica.
- Programa de Vigilancia Ambiental.

Durante la obra se ha dado un paso más al recoger y particularizar para este proyecto todas las medidas protectoras y

correctoras dispuestas en la DIA para todas las actuaciones de mejora de los accesos marítimos. Estas medidas han sido ordenadas en cinco categorías diferentes:

- Medidas relativas a la ejecución, funcionamiento y restauración de vaciaderos.
- Medidas para la prevención de la contaminación.
- Medidas para la prevención de los efectos sobre la vegetación y la fauna.
- Medidas dirigidas a la reutilización de materiales de excavación y dragado.
- Otras medidas de carácter general no clasificadas.

#### *Medidas relativas a la ejecución, funcionamiento y restauración de vaciaderos*

Previamente a la ejecución de los distintos dragados proyectados, los vaciaderos terrestres han debido estar en perfectas condiciones de utilización, es decir, con las motas perimetrales de cada fase totalmente cerradas. Para garantizar todo ello se elaboró el "Proyecto Constructivo de los Vaciaderos Terrestres", donde se incluyeron la totalidad de las medidas protectoras y correctoras recogidas en los documentos preceptivos.

#### *Medidas para la prevención de la contaminación*

La razón de presentar esta serie de medidas responde a la necesidad de que sean incorporadas desde las primeras etapas de la fase constructiva del Proyecto, debiendo ser consideradas tanto en la planificación, construcción, funcionamiento y restauración de los vaciaderos como en todas y cada una de las fases constructivas de la esclusa. Caben citarse, entre estas medidas, la gestión de aceites usados y demás residuos peligrosos, la vigilancia y monitorización de las emisiones de polvo, tanto en las zonas de paso de vehículos como en la cercanía de los lugares propensos a este tipo de contaminación (junto a plantas de hormigón, plantas de bentonita-cemento, etc.), los riegos generalizados en las zonas de paso; para prevenir las emisiones atmosféricas gaseosas y la generación no controlada de ruidos por parte de la maquinaria, se ha controlado que la documentación de Inspección Técnica de Vehículos esté en regla, y se han extremado las medidas de vigilancia, inspección, así como la formación de los trabajadores con el fin de minimizar la producción de vertidos.



### *Medidas para la prevención de los efectos sobre la vegetación y la fauna*

En este apartado se han incluido una serie de medidas que se han hecho extensivas a la totalidad de la fase constructiva, entrando en funcionamiento desde las etapas previas. Entre las medidas generales que se han tomado están: Jalonar las áreas de mayor sensibilidad ecológica o las zonas arbóreas no incluidas en la zona de actuaciones, para su preservación; acotado de zonas húmedas en períodos de no utilización, con el fin de proteger y facilitar la nidificación y cría de aves tales como ánades, fochas, flamencos, espátulas, garzas, águilas pescadoras, milanos negros, ratoneros, cigüeñas, con lo que se ha conseguido que estas aves hayan permanecido durante largos períodos de tiempo al encontrar en estas zonas unas condiciones propicias; prohibición de realización de aquellas actuaciones constructivas que pudieran interferir en el período de cría de aves (desde 1 de marzo a 31 de mayo), planificándose estas actividades en otros períodos; entrega al CREA (Centro de Recuperación de Especies Amenazadas) de varios ejemplares valiosos heridos, para su cuidado y posterior recuperación, y por último mantenimiento de un fiel seguimiento del Programa de Vigilancia Ambiental durante todo el desarrollo de los trabajos quedando plasmado en el diario medioambiental.

### *Medidas dirigidas a la reutilización de materiales de excavación y dragado*

Todos los materiales de excavación y dragado procedentes tanto de la construcción de la esclusa como de los vaciaderos se han reutilizado, asignándoles un uso productivo acorde a su volumen y características fisicoquímicas, evitándose así la pérdida de suelos fértiles y la ocupación excesiva de superficies.

### *Otras medidas de carácter general no clasificadas*

Por último, cabe hacer referencia a otras medidas correctoras, preventivas y de mitigación ejecutadas y que han sido recogidas en la DIA, destacándose las que se presentan a continuación.

- Planificación de los movimientos de maquinaria para evitar que ocasionen situaciones de inestabilidad en el terreno.

- Utilización de criterios ecológicos en el trazado de las pistas de movimiento de vehículos y una vez finalizada la utilidad de las mismas, eliminación y revegetación de estas pistas.

- Balizamiento de las vías de tránsito de vehículos, preservándose así las zonas de terreno adyacentes a las mismas, así como el riego de esta vegetación para eliminación del polvo.

- Selección de la ubicación del parque de maquinaria para que tuviera un mínimo impacto visual y estuviera separado de cualquier cauce de agua, evitando así una filtración que pudiera ocasionar algún accidente medioambiental.

### **Unidades más importantes**

Las unidades más significativas por su volumen han sido:

- 4.000.000 m<sup>3</sup> de dragados.
- 1.700.000 m<sup>3</sup> de excavación.
- 2.800.000 m<sup>3</sup> de rellenos.
- 54.000 m<sup>2</sup> pantalla plástica de bentonita-cemento.
- 5.000.000 kg de acero en tablestacas.
- 100.000 m<sup>2</sup> de encofrado.
- 300.000 m<sup>3</sup> de hormigón.
- 20.000.000 kg de acero corrugado.
- 5.200.000 kg de acero en puentes.
- 3.250.000 kg de acero en puertas.
- 2.090.000 m<sup>2</sup> de área de actuación.
- 8,9 kilómetros de viales de carretera.
- 3,4 kilómetros de ferrocarril.

### **Presupuestos y fechas**

Presupuesto final (sin IVA): 202.739.744,25 €.

Fecha de adjudicación: 28/12/2004.

Fecha firma del contrato: 01/03/2005.

Fecha firma del acta de replanteo: 16/06/2005.

Fecha paso primer barco por la esclusa: 14/09/2010.

Fecha puesta en funcionamiento esclusa: 25/11/2010.

Fecha recepción provisional: 30/12/2011. **ROP**

## Variante Sur Metropolitana de Bilbao. Fase I



**Pedro Rivas de Apraiz**  
Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.  
Director de Grupo de Obras de Interbiak



**Miguel Gil Oceja**  
Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.  
Director de Grupo de Obras de Interbiak



**Yolanda Temiño Jorge**  
Licenciada en Biología.  
Responsable de Medio Ambiente de Interbiak



**Luis Ángel Rojo Vicario**  
Ingeniero Civil e Ingeniero Técnico de Obras Públicas.  
Adjunto al director de Obra de Interbiak

### Resumen

La Fase I de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao es una infraestructura con un trazado de más de 15 km, el 60 % en túnel, integrada en los espacios naturales que atraviesa, manteniendo su valor ecológico, estético y paisajístico, y que recupera hábitats degradados. Una obra de gran magnitud, con un altísimo nivel tecnológico en sus propuestas y procedimientos constructivos, desarrollada por 20 constructoras y 17 ingenierías, apoyadas en un magnífico equipo multidisciplinar que ha contado con más de 120 ingenieros de Caminos. Un desafío superado, que ha conseguido poner en servicio una infraestructura imponente y ha contribuido al desarrollo y mejora de la sociedad.

Iniciada en junio de 2007 y puesta en servicio en septiembre de 2011, los hitos ingenieriles más destacados de esta infraestructura son: Viaducto de Trapagarán, Viaductos de Gorostiza, Enlace del Cadagua y Caverna del Túnel de Arráiz.

### Palabras clave

Obra de gran magnitud, altísimo nivel tecnológico, magnífico equipo multidisciplinar, hitos ingenieriles

### Abstract

*Phase 1 of Bilbao's South Metropolitan By-Pass consists of a new road section just over 15 km long, 60 % of which being set in tunnels. The road has been designed to blend in with the surrounding natural areas and retain the ecological, aesthetic and landscape values of the area while, at the same time, restoring degraded habitats. This large scale, very technically challenging work, in both design and construction procedures, was developed by 20 building contractors and 17 engineering firms, supported by a magnificent multi-disciplinary team formed by over 120 civil engineers. The challenge was successfully met and an imposing infrastructure has since been put in place to the benefit of the public in general.*

*Work started in 2007 and the by-pass section was opened to traffic in September 2011. The most outstanding engineering landmarks on this infrastructure are: the Trapagarán Viaduct, Gorostiza Viaducts, Cadagua Junction and Arráiz Tunnel Cavern.*

### Keywords

*Large-scale works, high-level technology, excellent multi-disciplinary team, engineering landmarks*





## 1. Introducción

La red viaria del área metropolitana de Bilbao se articula fundamentalmente en torno de la Autopista A-8, que la conecta con Cantabria, Asturias y Galicia por el oeste y, por el este, con las comarcas orientales del Territorio Histórico de Bizkaia, con Gipuzkoa y con Francia.

La situación de congestión en algunos tramos de la autopista A-8, a su paso por el área metropolitana de Bilbao era, sin duda alguna, el escenario menos deseable para el desarrollo económico y el bienestar social. Ello obligó a la Diputación Foral de Bizkaia, a buscar soluciones que permitieran resolver el problema de la movilidad de una forma sostenible.

La construcción de la Variante Sur Metropolitana, en adelante VSM, forma parte de la transformación del área metropolitana del gran Bilbao. Esta ciudad, que en el siglo XIX cambió su paisaje convirtiéndose en puntal de la industria y el comercio, se ha ido redefiniendo en los últimos 25 años como una capital amable, pensada para el ciudadano, en la que han ido recuperándose los espacios colonizados hasta ahora por la industria pesada. La VSM ahonda y refuerza esta regeneración, sirviendo como un elemento catalizador en la transformación de un área que se extenderá en una propuesta global de 36 km desde Muskiz hasta Amorebieta para completar el cinturón de Bilbao.

Como la problemática de congestión irá evolucionando en el futuro desde el tramo central de la vía hacia los extremos del área metropolitana, la nueva Variante se deberá poner en servicio por fases, solucionando progresivamente los problemas en la medida en que vayan desarrollándose en el espacio.

En esta primera etapa, se ha construido la FASE I, que constituye el *by-pass* de Bilbao en el tramo más congestio-

nado de la A-8, el comprendido entre el enlace del Puerto de Bilbao y el inicio de la autopista AP-68. Esta actuación remodela las conexiones con el Puerto y las infraestructuras viarias existentes, así como los accesos a las poblaciones de la margen izquierda. Tiene una longitud de 15,8 km (8 km en túnel) y un presupuesto de 708 M€ (PEC sin IVA), y ya se encuentra en servicio desde 2011.

## 2. Objetivos

Los objetivos de la Variante Sur Metropolitana son:

- Reducir la congestión viaria del Bilbao Metropolitano.
- Ofrecer una alternativa de alta rentabilidad social, que conlleva beneficios en tiempos de viaje y transporte y la reducción de la accidentalidad.
- Contribuir a la creación de un sistema sostenible de transporte, que minimice el impacto sobre el medio ambiente y las emisiones de CO<sub>2</sub>, mediante una solución de reducido impacto paisajístico.
- Regular la demanda y priorizar el uso del transporte público: carril BUS/VAO.
- Permeabilidad ciudad-espacios naturales.
- Reducir la siniestralidad eliminando los tramos de concentración de accidentes.
- Proporcionar una nueva fórmula de gestión de la demanda y control de tráfico.

La Variante Sur Metropolitana Fase I contribuye con su puesta en servicio en 2011 a ese cambio de modelo, con el objetivo de buscar sostenibilidad del sistema de transporte, ya que permite gestionar la demanda de la autopista A-8

que se encontraba colapsada. Posibilita discriminar los tráficos, recogiendo la nueva infraestructura los de paso y penetración o llegada, mientras en la A-8 permanecen los internos, que a su vez ven limitada su movilidad al aplicarse en dicha vía medidas de reserva de carriles para el transporte público y los vehículos con alta ocupación. Ello redundará en una menor congestión en el conjunto de la red viaria con los consiguientes beneficios sociales, económicos y medioambientales.

### 3. Variante Sur Metropolitana de Bilbao. Fase I

La nueva vía está diseñada para canalizar hasta el 60 % del tráfico que saturaba la A-8, mayoritariamente transporte pesado, que superaba los 15.000 camiones diarios. La autopista A-8 se ha transformado en una carretera urbana de conexión de municipios, facilitando el transporte público y de alta ocupación y calmado el tráfico.

La magnitud de la propuesta es imponente, 8 millones de m<sup>3</sup> de excavación, 600.000 m<sup>3</sup> de hormigón, 90.000 m<sup>2</sup> de tableros de puente, 30.000 ton de acero de armar y 22.000 ton de acero estructural. En su construcción han trabajado más de 8.000 trabajadores y 3.300 máquinas.

Para garantizar el éxito de la construcción y puesta en servicio de la primera fase de la Variante Sur Metropolitana, se subdividió el conjunto en 16 contratos, 10 tramos de infraestructura y seis tramos de superestructura (instalaciones), que convergían en una misma fecha para su puesta en servicio: septiembre de 2011. De este modo se aseguraba el plazo de ejecución en un período de cuatro años (2007-2011) y se conseguían obras abordables, con los volúmenes de producción usuales para las constructoras y equipos de este tipo de infraestructuras. Así surgieron los siguientes tramos:

CONSTRUCCIÓN VARIANTE SUR METROPOLITANA FASE I									
	TRAMO	PEC SIN IVA millones €	LONGITUD m	TUNEL m	DIRECTOR DE PROYECTO	DIRECTOR DE OBRA	CONTRATISTA	ASISTENCIA TÉCNICA	
INFRAESTRUCTURA	2A	Enlace de Ortuella	44.45	2,830	Rafael Terán González	Iñigo Berriozabal Bilbao	UTE Galdiano-Olarra-Mecanotubo	Saitec	
	2B	Santurtzi - Portugalete	40.90	3,500	Rafael Terán González	Iñigo Berriozabal Bilbao	UTE Tecs-Galdiano-Altuna y Uria-Hnos Elortegi	UTE Dair-Saitec	
	3A	Portugalete - Trapagarán	39.17	1,120	Rafael Terán González	Iñigo Berriozabal Bilbao	UTE Otaduy-Murias-Pabisa	UTE Dair-Saitec	
	3B	Viaducto Trapagarán	46.43	1,000	Rafael Terán González	Iñigo Berriozabal Bilbao	UTE Sobrino-Cycasa-Fonorte-Urssa	UTE Prointec-Euskontrol-Eypsa	
	4	Trapagaran - Gorostiza	108.21	3,074	2,515	Rafael Terán González	Miguel Gil Oceja / Fernando Muñoz García	UTE Otaduy-Murias-Pabisa	UTE Dair - Fulcrum-Geoconsult-Idom
	5	Gorostiza - Cadagua	84.75	2,490	2,030	Rafael Terán González	Miguel Gil Oceja / Fernando Muñoz García	UTE Tecs-Fonorte-Altuna y Uria-Hnos Elortegi	UTE Dair - Fulcrum-Geoconsult-Idom
	6	Enlace del Cadagua	57.53	418		Rafael Terán González	Miguel Gil Oceja / Fernando Muñoz García	UTE Sacyr-Exbasa	UTE Dair - Fulcrum-Geoconsult-Idom
	7	Cadagua - Peñascal	103.08	2,584	2,260	Rafael Terán González	Pedro Rivas de Apraiz / Fernando Muñoz García	UTE Cantábricas, Vda de Sainz-Obras Subterráneas-Asfaltos Uribe-Cerramientos y prefabricados del Note	UTE Dair - Fulcrum-Geoconsult-Idom
	8A	Peñascal - Larraskitu	80.58	1,585	945	Rafael Terán González	Pedro Rivas de Apraiz	UTE Galdiano-Mariezcurrena-Nortunel-Asfaltos Olarra	UTE Dair - Fulcrum-Geoconsult-Idom
	8B	Larraskitu - Buia	18.30	1,679		Rafael Terán González	Pedro Rivas de Apraiz	UTE Galdiano-Mariezcurrena-Nortunel-Asfaltos Olarra	UTE Dair - Fulcrum-Geoconsult-Idom
	<b>TOTAL INFRAESTRUCTURA</b>	<b>623.40</b>							
SUPERESTRUCTURA	1	Santurtzi - Kadagua. L1	21.25			Elena Massalleras Vidal	Elena Massalleras Vidal	UTE Elecpor-Tecuni	Sener Ingeniería y Sistemas
	2	Kadagua - Larraskitu - Buia. L2	18.61			Elena Massalleras Vidal	Elena Massalleras Vidal	UTE Electricidad Martín-Eldu-Asmotor Uriarte-Ondoan	Sener Ingeniería y Sistemas
	3	Seguridad, vigilancia y control, integración y centro de control	28.89			Elena Massalleras Vidal	Elena Massalleras Vidal	UTE Indra-Ikusi-Gertek-Pabisa	Sener Ingeniería y Sistemas
	4	Instalaciones de cobro	8.05			Elena Massalleras Vidal	Elena Massalleras Vidal	UTE Telven-Balzola-Cobra	Sener Ingeniería y Sistemas
	5A	Túneles de Argalarío y Arraiz. Revestimiento estético	4.45			Elena Massalleras Vidal	Elena Massalleras Vidal	UTE Ceprenor-Indra	Sener Ingeniería y Sistemas
	5B	Túneles de Mesperuza, Santa Águeda y Larraskitu. Revestimiento estético	3.88			Elena Massalleras Vidal	Elena Massalleras Vidal	UTE Vitrispan-Garbialdi	Sener Ingeniería y Sistemas
	<b>TOTAL SUPERESTRUCTURA</b>	<b>85.13</b>							
	<b>TOTAL</b>	<b>708.53</b>							

La primera fase de la Variante Sur Metropolitana ha supuesto un reto en la búsqueda de soluciones, seguras, funcionales y económica y medioambientalmente sostenibles. Tanto lo abrupto del terreno como la multitud de infraestructuras de todo tipo existentes que ha encontrado en su camino hacen que el recorrido sea una sucesión de túneles e imponentes viaductos.



Las obras de construcción de la Variante Sur Metropolitana Fase I comenzaron a mediados de 2007 tras cuatro años en Fase de Proyecto, en la que se completaron las adaptaciones del planeamiento y urbanísticas, gestión de suelo, estudios medioambientales, de tráfico, geotécnicos y la redacción de los proyectos de construcción de cada tramo. La nueva carretera ha sido proyectada de manera que su repercusión paisajística, ambiental y acústica sea muy reducida. Esto se consigue con un trazado en el que más de la mitad de su longitud discurre bajo tierra.

La VSM ha destinado numerosos esfuerzos a la conservación y recuperación medioambiental ya desde las primeras actuaciones de planificación, tanto evaluando y minimizando el impacto de su trazado, e integrando la infraestructura en sus tramos a cielo abierto, como posteriormente durante su construcción, aplicando las medidas correctoras oportunas y cumpliendo con holgura todos los requerimientos medioambientales. Este proceso conllevó una serie de consultas e informaciones públicas a organismos y entidades competentes, ayuntamientos y población en general.

Por su concepto y por el modo en el que se ha ejecutado, se puede decir que se ha conseguido una buena integración en el territorio de esta nueva autopista. El seguimiento medioambiental, en un entorno natural tan sensible, durante el proceso de construcción ha sido exhaustivo, poniendo



en marcha numerosas medidas correctoras, con una estrecha colaboración con los diferentes organismos oficiales competentes en la materia.



La descontaminación y la adecuada gestión de los materiales provenientes de un uso industrial anterior han permitido su regeneración y hoy en día constituyen, no sólo parte de la infraestructura, sino también zonas verdes de uso público.





El diseño, la construcción y la explotación de la infraestructura han estado condicionados por el respeto medioambiental y su integración en el entorno natural que les acompaña. Se ha cuidado el impacto ambiental y paisajístico, con un trazado mayoritariamente en túnel que minimiza la fragmentación del territorio, con unos procesos constructivos de túneles y viaductos que así lo han garantizado, e integrando los tramos a cielo abierto con diversas medidas que no sólo conciernen a la propia infraestructura, sino a la recuperación ambiental y social del entorno de la VSM, de modo que la población acceda a espacios naturales regenerados aprovechando esta actuación.

#### 4. Retos ingenieriles

La nueva variante que circunvala Bilbao ha supuesto un reto tecnológico en la búsqueda de soluciones que proporcionen la deseada calidad, seguridad, funcionalidad y sostenibilidad. No sólo se trata de ofrecer un recorrido alternativo a la A-8, sobre todo para el tráfico pesado y de paso, sino de hacerlo en las mejores condiciones.

Su construcción, condicionada por la abrupta orografía, ha sido compatible con el mantenimiento del nivel de servicio de las infraestructuras existentes, que diariamente abastecen a más de un millón de personas, y, dado que atraviesa por parajes de un alto valor naturalístico apreciado por la ciudadanía, ha condicionado su tipología y métodos de construcción, de modo que no sólo no se vean afectados, sino que sean regenerados en muchos casos.



Esta primera fase de la Variante Sur Metropolitana incluye algunos retos de ingeniería que han supuesto superar los límites alcanzados y en algunas ocasiones, ser pioneros en técnicas que permitan llevarlos a cabo.



##### 4.1. Viaducto de Trapagarán

Uno de los viaductos más complejos y de mayor porte ha sido el diseñado por los ingenieros Llombart y Revoltós, recogiendo en una sola estructura siete carriles de circulación. Situado en un entorno fuertemente industrializado, su trazado en S sortea el tejido empresarial y se construye sin interferir al tráfico.



Con una longitud total de 670 m y una luz máxima de 125 m, el paso, que se eleva hasta 40 m del suelo, se resuelve con una viga continua monocajón de hormigón postesado, de canto 5,90 m, y voladizos laterales soportados en jabalcones metálicos. Su singularidad reside en la gran anchura de su tablero (35,60 m) así como en los valores inusuales de peralte cambiante (8 %) y pendiente longitudinal (3,75 %). La entrada de tráfico se canaliza a través de los denominados viaductos de acceso, de tipología mixta, unidos en una peculiar transición acero-hormigón.



Para hacerse una idea de las dimensiones del cajón de hormigón hay que pensar que en su interior se podría jugar al baloncesto y que la anchura del viaducto principal es igual a la longitud de un campo de balonmano, y cabrían 34 campos en el tablero:



Los viaductos de acceso se componen de 4 estructuras y su función es distribuir el tráfico al conjunto del enlace de Trapagarán. Incluyendo estos ramales, el viaducto alcanza los 1.950 metros lineales de construcción.



El proceso constructivo elegido para el viaducto principal, en paralelo a la A-8, ha sido el de avance por voladizos sucesivos, desarrollando la anchura del tablero del via-

ducto en dos fases. La primera completó los 18,8 m de anchura de la sección cajón, partiendo de la dovela cero, desde la que se lanzaron el resto de las dovelas, de cinco metros de largo, necesarias para completar el avance del viaducto mediante carros de encofrado, hasta la dovela de cierre.



En una segunda fase se realizan los voladizos laterales. Una vez construido el tablero central es preciso ampliar su anchura de 18,8 m hasta los 35,6 m del viaducto, mediante jabalcones de hormigón, que se recubren con una chapa metálica decorativa, sobre los que se colocan las prelasas de hormigón.



#### 4.2. Viaducto de Gorostiza

Otro viaducto singular de esta primera fase de la Variante Sur Metropolitana es el viaducto de Gorostiza, que discurre por encima del embalse del mismo nombre, un enclave de alto valor ecológico, enlazando los túneles de Mesperuza y Santa Águeda.

Este viaducto, diseñado por Javier Manterola, tiene 190 metros de longitud y tres carriles en cada uno de sus dos ejes, y presenta un vano principal de tipología mixta de 130 metros de longitud, y dos vanos laterales de hormigón armado enterrados para conseguir una total integración





paisajística. La solución para mantener intacta la riqueza natural del entorno es una estructura sin pilares de un solo vano, que pasa a 10 metros de altura sobre el embalse.

Las características del lugar donde se construye este viaducto, sobre una lámina de agua permanente, han condicionado el método constructivo empleado.



Se procedió en primer término a la ejecución de la cimentación y muros de los estribos, generando así los parques de montaje de la estructura metálica. En cada una de estas explanadas se iban montando y soldando las dovelas metálicas. Una grúa de gran capacidad co-

locaba las dovelas de manera secuencial en los dos ejes del viaducto, siempre muy condicionada por la meteorología, particularmente con el viento. Una vez en su sitio, la grúa y las fijaciones temporales permitían completar las soldaduras definitivas.



Posteriormente, se completó la anchura total del tablero mediante prelosas y losas de hormigón armado, siempre lanzando los materiales desde los estribos de la estructura.



En todo momento, el parque y el embalse permanecieron abiertos al público y sin variación de los parámetros naturales que caracterizan este magnífico enclave.





### 4.3. Viaductos del Kadagua

El cruce de la Variante Sur Metropolitana sobre este pronunciado valle constituye a la vez el paso más elevado, con casi 60 m sobre el río Cadagua, y uno de los puntos de acceso a la VSM con el área de peaje. Aquí la traza interfiere con el barrio de Las Delicias y numerosas infraestructuras de transporte (autovías, carreteras, ferrocarriles) y de servicios que abastecen Bilbao, y que junto con el espacio disponible entre el arranque de los puentes y el emboquille del túnel, y la altura sobre el río, han condicionado su diseño y proceso constructivo, consistente en un lanzamiento por empuje, que ha sido llevado a buen puerto gracias a la cooperación entre el ingeniero de diseño, Javier Manterola, la constructora y el equipo de Dirección de Obra.



El enlace del Cadagua conecta la Variante con la carretera foral BI-636 (Corredor del Cadagua), que enlaza la villa de Bilbao con la comarca de las Encartaciones. El paso del tronco sobre el valle, entre los túneles de Santa Águeda y Arraiz, se realiza mediante dos viaductos principales de tipología mixta, con una longitud total de 364 m y luces principales de 102 m. Estos viaductos se complementan con tres viaductos secundarios adicionales que permiten efectuar todos los giros posibles en el enlace.

El enlace presenta una tipología mixta de canto constante. Cada viaducto está compuesto por una viga metálica que sigue la directriz del trazado y una losa de hormigón superior, que puede llegar a ser común a dos viaductos cuando confluyen en planta.

El tronco presenta dos viaductos principales de 364 m de longitud [V1 y V2] y tres carriles por sentido que se abren en pantalón desarrollando ramales laterales. Además, se construye un tercer viaducto curvo [V3], también mixto, de 303 m de longitud. Los puentes principales V1 y V2 cruzan el valle de estribo a estribo y los puentes laterales [V4 y R2/V3] permiten la conexión con el área de peaje. Completando el conjunto, se sitúa el área de cobro, que se conecta al Corredor del Cadagua mediante una rotonda elevada de hormigón postesado por fases.

Los 60 metros disponibles entre el arranque del puente y el emboquille del túnel han constituido, en los estribos de la margen izquierda, el parque de montaje y empuje de la estructura metálica, en convivencia con los trabajos de construcción del túnel de Santa Águeda.



Conicionados por el espacio disponible, se dispuso una nariz metálica delantera de 33 m para reducir el voladizo máximo, el lanzamiento de los 364 m de V1 y V2 se dividió en ocho fases cada uno. Se estudió, diseñó y propuso para montar estos puentes un método que, hasta donde se sabe, nunca ha sido realizado antes en el mundo: montar V4 sobre V1, lanzar ambos a la vez, después girar y deslizar V4 sobre V1 y, finalmente, descender V4 a sus apoyos definitivos (de manera similar con R2 sobre V4). En total, 20 operaciones monitorizadas que permitían conocer, corregir y posicionar en tiempo real cada movimiento.



La pendiente longitudinal es variable del +2 % al +3 %, y se decidió que los puentes siempre fueron lanzados cuesta arriba. Solo se lanzaron los cajones metálicos de los puentes, con un peso propio máximo de 4,1 T/m, superando las 4.100 T de acero.



El puente V3, de 303 m de longitud, se colocó mediante grúas y pórticos atirantados, completando así, en un solo enlace, toda la amalgama de posibilidades de contaje de estructura mixta:



mediante voladuras controladas y sostenimiento una vez saneado y desescombrado, y con el macizo en el adecuado punto de relajación. Para las secciones de gran tamaño, se realizan avances en fases de pequeña dimensión, ejecutando en cada una de ellas un sostenimiento provisional que se demuele según se van realizando las siguientes fases:



#### 4.4. Túneles

Los 10 túneles de la Variante Sur Metropolitana Fase I han supuesto un hito constructivo al consolidar un tronco con dos tubos de tres carriles a todo lo largo de la traza, llegando incluso a tramos de 4 carriles en los túneles de Santa Águeda y Arraiz, y generando una caverna en el túnel de Arraiz, al derivar un carril de salida, que es la más grande de Europa en carreteras: tiene 18 metros de altura y 28 metros de ancho.



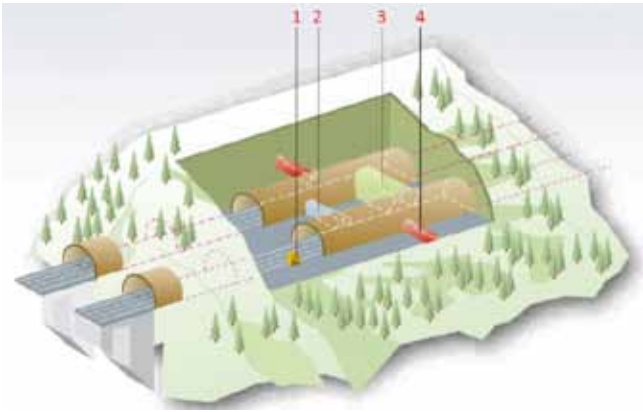
Las tareas se desarrollaron durante las 24 horas del día, llegando a realizar dos avances por día, que equivalen a 3 a 12 metros, dependiendo de las condiciones del terreno. Tras la excavación, se completaron la impermeabilización y el revestimiento de hormigón, separando ambos carros una distancia de unos 80-100 metros. Los rendimientos medios obtenidos en el hormigonado de la bóveda han sido de un día para cada puesta (12 a 15 metros de avance).

Cabe destacar asimismo los nichos SOS [1], galerías de conexión entre tubos para peatones [2] (cada 230 m aprox) y vehículos [3] (cada 800 m aprox) y cuartos técnicos [4], que completan el conjunto subterráneo, manifestando de este modo el compromiso por la calidad y seguridad del Proyecto también en la fase de explotación.

Después de un minucioso estudio geológico del terreno, los túneles se han realizado mediante el Nuevo Método Austríaco, en avance y destroza, con ciclos sucesivos de excavación

Finalmente destacar la integración paisajística de las bocas de los túneles, que ha cuidado con esmero una transición que sea consistente con un entorno privilegiado.





#### 4.5. Instalaciones de la VSM Fase IA

La construcción de las instalaciones se ha dividido en los siguientes apartados:

1. Instalaciones eléctricas, mecánicas y de iluminación.
2. Equipamiento telemático, con equipamiento de seguridad, mensajes variables, locales técnicos y centro de control y de mantenimiento e integración del conjunto en el centro de control.
3. Sistema de cobro, instalaciones de las vías de peaje y control del peaje.
4. Revestimiento estético con paneles de acero vitrificado en el interior de los túneles.
5. Construcción del centro de Control de Tráfico.

Los operadores vigilan los túneles y resto del trazado y actúan en caso de incidente, alarma o mal funcionamiento

de alguna instalación. Si bien casi todas las instalaciones funcionan de forma automática y programada, el operador puede operar cualquier instalación desde el centro de control o tomar decisiones en caso de incidentes.

El centro de control cuenta con sala de exposiciones, auditorio y salas de reuniones, una de ellas para puesto de mando en caso de emergencia.

Junto al edificio del centro de control se encuentran, la nave de mantenimiento y la nave de sal, para operaciones de vialidad invernal.

#### 6. Grandes números:

- Potencia eléctrica instalada: 50 mw.
- 530 km de cable eléctrico.
- 3.000 km de fibra óptica.
- 8.600 luminarias.
- 212 ventiladores de túnel.
- 335 bocas de incendio equipadas.
- 400 cámaras de vídeo.
- 83.000 m<sup>2</sup> de panel de acero vitrificado.
- Capacidad de almacenamiento en centro de control: 37 TB.

#### 5. Enfoque medioambiental

Teniendo en cuenta la sensibilidad mostrada por parte de la ciudadanía hacia el entorno y cumpliendo escrupulosamente con la normativa ambiental existente, el peso del componente ambiental ha sido muy notable en todo el proceso de decisión tanto, durante la redacción de los proyectos, como durante la ejecución de las obras y en la actualidad, lo continua siendo, en la fase de explotación de la infraestructura.

Dicha apuesta, se hace claramente visible en el presupuesto destinado a la parte ambiental (entorno al 4 % de la inversión total), así como en los recursos humanos dedicados exclusivamente al medio ambiente en todo el proceso, involucrando a un equipo multidisciplinar de más de 50 técnicos presentes en la propiedad, ingenierías, constructoras, asistencias técnicas, consultoras especializadas (fauna, ruidos, suelos contaminados, limología, viveristas expertos, etc.).

La tramitación ambiental de la VSM ha sido prolija, ardua y muy garantista. El sistema institucional de la Comunidad Autónoma del País Vasco hace que las competencias ambientales se encuentren distribuidas en diferentes instituciones públicas. Se realizaron las tramitaciones necesarias

con los diferentes órganos competentes para la obtención de todas las autorizaciones necesarias.

### *Biodiversidad*

La VSM atraviesa un entorno del Gran Bilbao, de orografía montañosa, que históricamente ha sufrido un intenso uso y consumo del suelo por la minería, industria y por el propio crecimiento urbanístico. Como consecuencia de estos usos, este territorio no muestra un valor excepcional desde el punto de vista de patrimonio natural y biodiversidad.

Por ello ya desde las fases iniciales de redacción de proyectos, se tuvo muy en cuenta el efecto sobre la biodiversidad de estos 'pulmones', como elemento clave en la elección de las alternativas finalmente elegidas.

Entre todas las actuaciones llevadas a cabo con este objetivo, se pueden destacar algunas de ellas, como las siguientes:

- Se han creado pasos de fauna de amplitud extraordinaria, reduciendo al máximo el efecto barrera y evitando afecciones sobre bosques donde se observaron corzos y jabalíes.
- Un punto clave a destacar es el cruce sobre ríos y arroyos. Todas las pilas se han ubicado fuera del Dominio Público Hidráulico y Zona de Servidumbre, evitando las afecciones sobre los bosques de ribera, así como, sobre la función de corredor ecológico de los cauces. De especial importancia es el Viaducto, diseñado por Manterola, de 190 metros, que no invade ni la lámina de agua, ni riberas, ubicado sobre el pantano de Gorostiza.
- Se realizó recogida de semillas autóctonas y locales que fueron aviveradas en viveros externos y una vez generadas las plántulas se reutilizaron en la revegetación de las superficies de obra.

### *Integración paisajística y restauración naturalística*

Teniendo en cuenta la fragilidad paisajística del entorno y su uso actual, especialmente como área de esparcimiento, y en escasos casos como ganadero y agrícola, se buscó desde un inicio, combinar la estética y belleza ingenieril con la integración agradable con el espacio natural.

Se ha realizado un especial esfuerzo en la estética de los viaductos, empleando de forma sistemática soluciones es-

tructurales de tipología mixta. Dentro de esta tipología y por su relevancia paisajística destacan los viaductos sobre el embalse de Gorostiza y todos los que conforman el enlace del Cadagua. Finalmente, la magnitud y posición del viaducto de Trapagaran merece una mención y éste se erige por su porte como icono de la infraestructura.



Se han utilizado diferentes técnicas tales como hidrosiembras, mallas geomallas, fibras de coco, etc., para la ocultación del hormigón, especialmente del hormigón proyectado. Se han ocultado estribos y arquetas, con redes y enredaderas. También se han ejecutado varios muros de tierra armada que verdean durante todo el año.

Se integraron las boquillas de los túneles, ejecutando amplios falsos túneles que fueron rellenados y donde se plantaron verdaderos bosques que se confunden con la vegetación ya existente.

Se cuidó la morfología de los depósitos de sobrantes, generando formas suaves sin aristas, buscando imitar las curvas de nivel naturales del terreno.



Se mimaron detalles en numerosas unidades de ejecución, como las Obras de Drenaje tipo Bajantes escalonadas en escollera en los depósitos de sobrantes, incluso se llegaron a excavar bajantes sobre la propia roca cuando se daban las condiciones geotécnicas.

Se fabricaron jardineras para los llamados setos de campiña. Para ello, se utilizaron, tablones de madera de encofrado, limpiándolos y aplicándoles un barniz protector.

#### *Ríos y aguas*

La orografía abrupta del entorno y la atención para no afectar las vaguadas, cauces y su vegetación fuera cual fuera su estado, ha generado que la autopista sea una sucesión de túneles y viaductos. Destacan de entre todos, tres viaductos, el de Trapagarán, el de Cadagua y el del embalse de Gorostiza.

En todos ellos se ha cuidado escrupulosamente el proceso constructivo de manera que en ningún momento se ha tocado la lámina de agua. Se han realizado intensas e importantes plantaciones de autóctonas, que incluso han aumentado la superficie forestal. La alta recuperabilidad de los cauces atlánticos conjuntamente con estas plantaciones ha resultado en una recuperación de hábitats.



Los túneles a su vez, están ejecutados con una red separativa para evitar el vertido a cauce de posibles derrames accidentales.

Con el objeto de minimizar la afección a los cauces y las aguas se proyectaron y ejecutaron numerosas medidas correctoras específicas (lavarruedas, balsas de decantación, plantas depuradoras para las aguas de los túneles, balsas para puntos de limpieza de canaletas de hormigoneras, barreras de retención y filtración, cunetas temporales para gestionar aguas de escorrentía, etc.).

#### *Gestión de suelos contaminados y demolición de ruinas industriales*

Debido a la gran industrialización de la comarca del Gran Bilbao, parte del trazado de la Variante Sur Metropolitana ha tenido que discurrir sobre parcelas que estaban conta-

minadas debido a la actividad industrial que se ha llevado a cabo. Ha sido necesario demoler ruinas industriales. La demolición fue selectiva para una correcta manipulación y gestión de los residuos identificados.

Durante las obras de la Variante Sur Metropolitana, se han gestionado un total de 2.693.041,57 Tm de suelos, tanto peligrosos como no peligrosos e inertes y siempre bajo la supervisión de un técnico ambiental competente. La excavación en parcelas contaminadas y gestión de los suelos tienen como consecuencia la recuperación de la calidad del suelo, contribuyendo directamente a mejorar la calidad ambiental de la zona.

#### *Medidas correctoras de impacto acústico*

La ejecución de una infraestructura viaria lleva asociada la posible afección acústica. Por ello, tiene gran importancia, el estudio y diseño de medidas correctoras adecuadas ya desde fases iniciales así como el seguimiento y adecuación de las mismas, a lo largo de las diferentes fases de redacción de proyectos, ejecución de las obras y explotación de la infraestructura.

Es importante destacar que el 51 % de la infraestructura discurre en túnel, contribuyendo de manera muy importante a la minimización del impacto acústico producido por el tráfico de vehículos. Se ha actuado sobre el camino de propagación del ruido, ejecutando pantallas acústicas. Se ha colocado más de 2.100 metros lineales de pantallas de diferentes tipologías tales como metacrilato, hormigón, y mixtas.

Además, cabe mencionar que, al objeto de proporcionar una mejora de la calidad acústica, se han realizado tratamientos de fachadas en los edificios más expuestos, para mejorar el aislamiento acústico



#### *Impacto funcional y socioeconómico*

La entrada en funcionamiento de la Variante Sur Metropolitana (VSM) ha logrado descongestionar la autopista A-8,



a su paso por Bilbao, y acarrea tanto el tráfico metropolitano como el de largo recorrido del eje cantábrico.

El Departamento de Obras Públicas y Transportes de la Diputación Foral de Bizkaia ha realizado un estudio del impacto funcional y socioeconómico de esta infraestructura. Este análisis compara los parámetros entre 2010 y 2012, el último año antes de la apertura de la VSM y el primero en el que estuvo operativa durante doce meses esta nueva infraestructura.

La VSM ha reducido los tiempos de transporte de todos los usuarios de la A-8 en 480,600 horas, lo que ha supuesto un ahorro de 6,6 millones de euros. Su contribución ha sido decisiva para el descenso radical de las retenciones en la A-8, al disminuir las denominadas horas congestivas un 49,4 %, pasando de 545 horas en 2010 a 276 horas en 2012.

Proyectando ese cálculo de horas al número de usuarios de la vía, la conclusión que se extrae es que el tiempo perdido en caravanas, retenciones y otros inconvenientes ha descendido de 221.141 horas por año en 2010 a 102.955 horas en 2012 y el número de vehículos afectados por estas incidencias ha pasado de 9,5 millones a 4,2 millones.

Es útil como infraestructura y ha contribuido al descenso de la siniestralidad vial, puesto que los accidentes con víctimas también se han reducido un 32 % desde la entrada en funcionamiento de la Variante Sur Metropolitana, bajando de 150 en 2010 a los 102 registrados en 2012. De estos últimos, 97 tuvieron lugar en la A-8 y otros 5, en la VSM. Las personas heridas también han sido menos: 162 en 2012 frente a las 219 del año 2010. Y entre ellas, los heridos graves han pasado de 6 a 4 (todos en la A-8) y los heridos leves, de 212 a 157. **ROP**



## Viaducto de Archidona



**Francisco Millanes Mato**

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Catedrático de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos.

Presidente de Ideam



**Enrique Bordó Bujalance**

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.

Director del departamento de Estructuras



**Jesús Martín Suárez**

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.

Director del departamento de Asistencias Técnicas a Obras



**Juan Luis Mansilla Domínguez**

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.

Jefe de Proyectos

**Resumen**

El Viaducto de Archidona, perteneciente a la Línea de Alta Velocidad Antequera-Granada, constituye un ejemplo reciente del alto grado de desarrollo alcanzado en España en infraestructuras ferroviarias de Alta Velocidad. Limitado por unos condicionantes de diseño estrictos, entre los que destacan su emplazamiento en una zona de actividad sísmica de entidad y la necesidad de evitar la colocación de aparatos de dilatación de vía en el tablero, ha permitido resolver con un uso eficaz de las soluciones mixtas un problema de diseño poco habitual. La solución construida consta de un dintel mixto continuo de 3.150 m de longitud con juntas únicamente en los estribos, colocando la obra entre las realizaciones más destacadas de las Líneas de Alta Velocidad españolas y europeas.

**Palabras clave**

Puentes mixtos, Línea de Alta Velocidad, protección medioambiental, sismo, junta de dilatación, control ejecución estructura metálica

**Abstract**

*The Archidona Viaduct, set on the Antequera-Granada High-Speed Train Line, serves as a recent example of the high level of development reached in Spain in terms of high-speed railway infrastructure. The project was subject to strict design conditions on account of its location in an area of considerable seismic activity and the need to avoid the placement of track slab expansion systems, these relatively uncommon design problems being resolved with the effective use of composite solutions. The built solution consists of a 3,150 m long continuous composite deck with joints set purely at the abutments, making this one of the most singular high-speed rail viaducts anywhere in Europe.*

**Keywords**

*Composite bridges, High-Speed Rail, environmental protection, earthquake, expansion joint, steel structure execution control*

### 1. Introducción

El Viaducto de Archidona (Figs. 1a y 1b) se sitúa en los Términos Municipales de Antequera y Archidona, en la provincia de Málaga, y pertenece a la Línea de Alta Velocidad Antequera-Granada, siendo el punto de unión de los tramos de L.A.V. Peña de los Enamorados-Archidona y Archidona-Arroyo de la Negra.

En cada una de las etapas del proyecto tanto el Ministerio de Fomento como ADIF han promovido el desarrollo respetuoso y sostenible del ferrocarril, atendiendo a las premisas de máxima protección e integración medioambiental, y de apoyo a la innovación tecnológica.



Figs. 1a y 1b. Concepción formal del Viaducto de Archidona

Como ejemplo, cabe destacar el compromiso de máximo respeto hacia los espacios naturales protegidos que obligó a elevar la rasante con el fin de salvar el acuífero que suministra agua a los municipios de Archidona y Villanueva de Tapia (Figs. 2a y 2b). La elevación de la rasante de la plataforma, de más de 30 metros, llevó a sustituir una solución en terraplén por la construcción de un viaducto de más de 3 km de longitud.

Estos condicionantes no muy frecuentes han brindado la oportunidad de diseñar y construir una obra de ingeniería donde se combina eficazmente y de forma estéticamente agradable el uso de acero y hormigón. Destaca como aspecto más importante la longitud de su tablero, continuo y de 3.150 m, que lo distingue como el puente mixto continuo de acero y hormigón para ferrocarril más largo de Europa.

En su concepción estructural, además de su elevada longitud, se han tenido en cuenta unos condicionantes técnicos restrictivos, entre los que destacan:

- El viaducto está situado en una zona de elevada sismicidad.
- Se debía evitar en lo posible la ubicación de aparatos de dilatación de vía en la estructura, permitiéndose únicamente en estribos, y se deberían respetar movimientos máximos en las juntas de vía de 1.200 mm, de acuerdo con los criterios establecidos por ADIF.
- Altura media de pilas en el entorno de los 25 m.

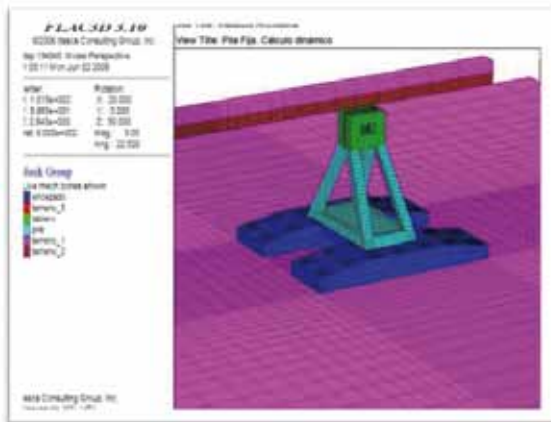
En general, una forma sencilla de resolver tableros de gran longitud consiste en disponer una larga serie de vanos isostáticos, solución que resulta adecuada para viaductos largos y de pilas bajas. En nuestro caso, se descartó esta alternativa por la excesiva deformabilidad del conjunto de pilas más cimentación, lo que llevó a optar por la solución de dintel continuo.

Dado que una de las condiciones del diseño era no disponer aparatos de dilatación de vía en el interior del tablero, el pun-



Figs. 2a y 2b. Ajuste de la rasante de la línea por afección al acuífero. Túnel y Viaducto de Archidona





Figs. 3a y 3b. Punto fijo del tablero en la Pila Central

to fijo se ubicó aproximadamente en el centro de los 3.150 m de longitud total del viaducto, obteniéndose unas longitudes máximas dilatables en ambos estribos en el entorno de los 1.600 m. Para reducir los movimientos longitudinales resultantes de las acciones térmico-reológicas se eligió una solución en dintel mixto, con menores deformaciones que uno de hormigón. La mayor flexibilidad longitudinal y la menor masa de los tableros mixtos con respecto a los de hormigón, permitieron asimismo limitar a valores asumibles las reacciones debidas a los efectos sísmicos de la masa total de tablero, soportados en longitudinal por un único punto fijo central (Figs. 3a y 3b). En ambos casos se aprovecharon las ventajas que pueden ofrecer los sistemas mixtos para resolver con un diseño sencillo, y hasta cierto punto convencional, unos condicionantes singulares e inéditos hasta el momento en el ámbito de los puentes de alta velocidad.

El acero estructural utilizado en las vigas principales de la sección transversal del tablero ha sido S 355 J2 W "tipo CORTEN", apropiado para las condiciones atmosféricas de la zona donde se localiza el viaducto, asegurando al mismo tiempo una importante reducción de los costes de mantenimiento respecto al acero con protección anticorrosiva mediante pintura, buscando una solución medioambientalmente más sostenible. Se decidió permitir el paso por el interior del tablero dejando un paso de hombre a través de la cabeza de pila central, consiguiendo que el Viaducto sea inspeccionable desde un extremo a otro del tablero, pensando en facilitar su mantenimiento.

La luz del vano tipo, de 50 m, se decidió en función de la altura de las pilas y las dimensiones y pesos que resultan

aceptables para un montaje con grúa, buscando una solución constructiva que permitiera una sistematización y repetitividad del proceso de ejecución, aspecto importante a la hora de obtener una estructura más sencilla de construir.

Durante la fase de proyecto, se cuidaron al máximo las diferentes facetas del diseño, tanto desde el punto de vista meramente estructural y constructivo, como funcional y estético, buscando acabados sencillos pero cuidados en pilas y tablero.

Si se resumen las principales características innovadoras del diseño del Viaducto de Archidona, destacan:

- Su gran longitud sin juntas de dilatación: Una longitud total entre juntas de dilatación, ubicadas en estribos, de 3.150m, con una distribución de vanos en este caso de 35+30x50+2x65+29x50+35 m. Una ventaja de los tableros mixtos frente a los de hormigón consiste en los desplazamientos reológicos y térmicos, del orden del 60 %-70 % de las soluciones de tableros de hormigón. Esto permite a los puentes mixtos obtener longitudes para la dilatación del orden de 1.600-1.700 m, donde en soluciones de hormigón se limita a 900-1.000 m.
- La gran masa del viaducto localizado en zona de alta sismicidad (aceleración sísmica: 0,18 g): una masa de 120.000 t se resiste en sentido longitudinal por una única pila central en forma de delta. El menor peso del tablero mixto respecto al de hormigón y su mayor flexibilidad a axil fue crucial para limitar la fuerza sísmica, acotada en un valor admisible de 100.000 kN.

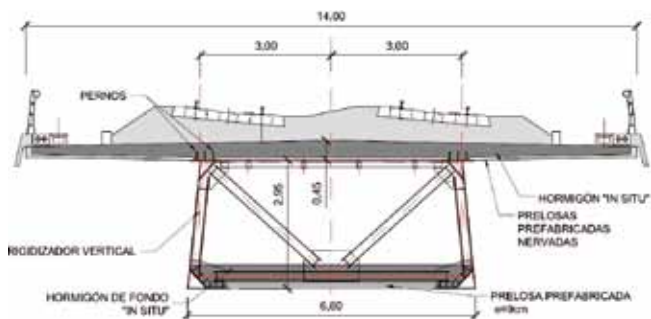


Fig. 4. Sección por zona de momentos negativos

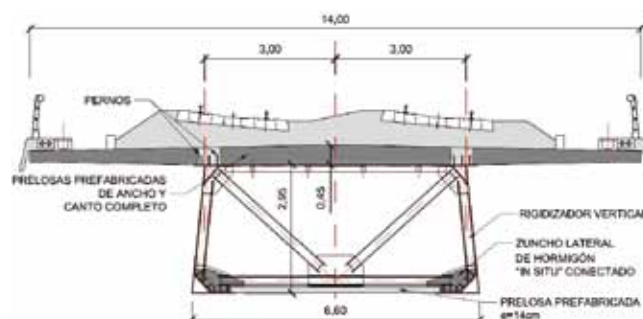


Fig. 5. Sección por zona de centro de vano

- Uso óptimo de las ventajas del hormigón junto con el acero a nivel estructural: la parte metálica del tablero está formada por dos vigas en 'doble T' (solución 'bijácena') de canto constante y almas inclinadas, unidas por diafragmas transversales y reforzados en las zonas de apoyo por mamparos. Se emplea una losa de hormigón en la tabla de fondo a modo de doble acción mixta, como cabeza de compresión en las zonas de negativos (Fig. 4) y como cierre del circuito de torsión en las zonas de positivos (Fig. 5). La losa superior está formada por losas de canto completo prefabricadas en las secciones de positivos, con la ventaja de que, al hormigonarlas previamente, se mejora el efecto de la retracción.

- Montaje óptimo mediante la división en tramos para agilizar el ensamblaje: a pesar de la singularidad del viaducto, se consiguió industrializar su ejecución notablemente. Para ello, se elaboraron en taller dovelas de hasta 50 m (un vano tipo completo) con una producción de 3 dovelas a la semana, unas 540 t en total. Después del transporte especial (50 m y 180 t), y la descarga en obra, donde se completaba el hormigón de fondo, se llegaron a izar 3-4 dovelas a la semana, arrojando unos valores de casi 150 m de tablero por semana.

- Control de la secuencia de montaje: se realizaron estudios específicos de medición de la temperatura y control de la geometría de dovelas ya izadas para contrastar con los valores teóricos y mejorar las operaciones de uniones en obra, optimizando la fabricación en taller y monitorizando los procesos de cierre en la secuencia de montaje de los vanos, fundamental para asegurar la correcta geometría en una estructura tan larga.

- Gestión documental *online* para el control de calidad: para almacenar y transmitir los registros del control de calidad de la estructura metálica, se creó un gestor documental online,

pionero en este tipo de obras, que permitió establecer un entorno común para los diferentes agentes intervinientes en el proceso constructivo y su control, ofreciendo entre otras ventajas: acceso a la documentación en tiempo real, conocimiento actualizado del grado de avance de fabricación de cada taller, revisión del historial y de los registros de control de las piezas antes de su llegada a obra, obtención de una copia digital completa de la Documentación Final de Calidad, etc., satisfaciendo así uno de los requisitos exigidos para el Programa de Control de la EAE.

- Instrumentación del Viaducto: Durante la fase de construcción del viaducto se instaló un sistema de instrumentación y monitorización en tiempo real muy preciso, realizándose una toma de datos de forma continua de los parámetros más significativos: movimientos horizontales longitudinales del tablero, movimientos en cabeza de pilas, separación entre cabeza de pila y topes sísmicos, giros longitudinales y transversales de las pilas, temperatura ambiente y su correlación la de la estructura, y tensiones (especialmente en la pila central). Los resultados obtenidos fueron tratados informáticamente y dispuestos en un soporte web, pudiendo consultarse de forma inmediata por las distintas partes implicadas en la obra. Del mismo modo, se tiene pensado seguir con el control previsto tras la puesta en servicio.

## 2. Descripción del proceso constructivo

La magnitud de la obra a ejecutar (con un gran volumen de estructura metálica, aparatos de apoyo, pilas, etc.), junto con los estrictos requisitos a cumplir (control geométrico, necesidad de asegurar el paralelismo en el montaje de apoyos, control de movimientos totales en las juntas, controles de la temperatura de montaje, detalles de soldadura frente a fatiga, etc.), obligó a realizar un estudio pormenorizado del método constructivo del viaducto (Fig. 6). Se



Fig. 6. Vista general durante la ejecución del tablero del Viaducto de Archidona



Figs. 7a y 7b. Prefabricación y montaje de tramos de ferralla en pilotes





**Figs. 8a y 8b. Montaje de la ferralla de los encepados de las pilas tipo**

buscó aprovechar las ventajas que ofrece la prefabricación y sistematización de elementos repetitivos (ferralla, pilas, vigas metálicas, prelasas, losas), junto con las que ofrece el propio terreno, al ser el tablero accesible en toda su traza, sin presentar alturas excesivas, lo que permitió un montaje eficiente mediante grúa.

A continuación se describen de forma general las principales fases del proceso constructivo del Viaducto de Archidona.

### 2.1. Cimentaciones

Las obras comenzaron con la ejecución de los pilotes de las pilas y estribos mediante camisa recuperable, no detectándose excesivos problemas de sostenimiento del terreno durante la perforación.

El gran número de pilotes a ejecutar (Figs. 7a y 7b) para las 61 pilas tipo (4 pilotes por pila de 2 m de diámetro), la pila central (28 pilotes de 2 m de diámetro) y los estribos (14 pilotes de 1,5 m de diámetro), con longitudes de perforación que variaban entre los 25 y 50 m, exigieron la necesidad de estudiar un procedimiento de prefabricación en obra de la ferralla y un dimensionamiento de los equipos de perforación que permitieron llevar un ritmo del orden de 3-4 pilotes al día.

Dada la longitud de la obra, se dividió ésta en tres tramos, del estribo 1 en sentido ascendente, desde la pila 31 en sentido descendente y desde la pila 33 hasta el final, quedando la ejecución de los pilotes de la pila central, pila 32, para el final, cuando ya se estaban ejecutando los encepados del resto de pilas.

Una vez ejecutados los pilotes se realizó la excavación de los encepados, y el descabezado del hormigón de la parte superior de los mismos, para realizar el montaje de la ferralla de los encepados (Figs. 8a y 8b) y su posterior hormigonado, dejando en espera la armadura principal de cada uno de los fustes que formaban las pilas tipo.

El proceso de cimentación no causó excesivos problemas, más allá de ejecutar las obras en un invierno de condiciones climatológicas inusualmente duras para la zona. Caso diferente es el encepado de la pila central (Figs. 9a y 9b), cuya particularidad geométrica y sus grandes dimensiones ocasionaron numerosas dificultades, debido entre otras causas al escaso espacio disponible para su ejecución.

La ejecución de este elemento se dividió en cuatro fases por motivos de seguridad y técnicos, estudiando una secuencia de hormigonado con volúmenes admisibles para las plantas suministradoras y para además evitar grandes masas de hormigón que pudieran producir problemas con el alto calor de hidratación.

### 2.2. Alzados de Pilas

En la construcción de los alzados de las pilas tipo se distinguen tres fases según los tres elementos que las constituyen: dos fustes rectangulares de hormigón armado inclinados en transversal; un plinto rectangular que une en la base de los dos fustes; y en la cabeza un dintel, asimismo rectangular, de ancho constante.

La ejecución de estos fustes (Fig. 10a) se efectuó por el método de trepas sucesivas de 5 m de longitud, una vez terminado



**Figs. 9a y 9b. Ejecución por fases del encofrado de la Pila Central del viaducto**

el plinto. Al tener gran cantidad de ferralla fue necesaria la prefabricación de la misma para las trepas mediante la utilización de una plantilla, para evitar en lo posible las divergencias geométricas entre tramos prefabricados a la hora de engazarlos con la ayuda de una grúa. Los solapes de las diferentes barras verticales se efectuaron mediante abotellamiento de la barra de espera, separando las barras a solapar entre sí un diámetro al menos. En el proceso constructivo, las tolerancias en la elaboración y montaje de ferralla fueron muy estrictas.

Para la ejecución del dintel (Fig. 10b) se utilizó una plataforma de encofrado específica anclada a la última trepa de los fustes que permitía el montaje del módulo prefabricado de ferralla y el hormigonado en una sola fase de todo el dintel. Dicho dintel se ejecutó prefabricando el 80 % del ferrallado



**Figs. 10a y 10b. Ejecución de los alzados de las pilas mediante encofrado trepante y montaje de la ferralla prefabricada del dintel**

en taller y una vez colocado en su posición, incorporando el acero restante.

Se empleó en los dinteles hormigón autocompactante, lo que ha permitido tener la seguridad, dada la elevada cuantía de acero en estos elementos, de conseguir un acabado perfecto. En la coronación de las pilas (Figs. 11a y 11b) se dejaron embebidas una serie de vainas que posteriormente albergarían los vástagos de anclaje de los aparatos de apoyo.

Para materializar los topes transversales en cabeza de pila se utilizaron paneles de encofrado fenólico para así ajustar la dimensión específica de estos elementos en cada una de las pilas. Dichos topes transversales (cuatro por cada pila) estaban formados por una ménsula corta de hormigón en



**Figs. 11a y 11b. Vistas generales de las pilas tipo**

la que se dispusieron placas metálicas con neopreno-teflón para garantizar la transmisión de esfuerzos transversales del sismo máximo y permitir los movimientos longitudinales del tablero. Durante el hormigonado de las ménsulas de hormigón, de manera similar a los aparatos de apoyo, se dejaron embebidas las vainas dónde se alojan los pernos de anclaje de las chapas con neoprenos, que posteriormente y tras el ajuste y alineación con el tope transversal del tablero una vez este fue colocado, se inyectaban para fijarlos.

La pila central fue más compleja en su ejecución debido en gran medida a su geometría y su condición de punto fijo del viaducto.

Se comenzó ejecutando el plinto, cuya función es la de vincular los cuatro fustes de los que consta el alzado. Para la

ejecución de los fustes se utilizó un sistema de encofrado trepante similar al del resto de las pilas, aunque debido a la gran inclinación de los fustes en sentido longitudinal, los procesos de ferrallado y hormigonado requerían un tratamiento especial en las fases de trepado y la utilización de un hormigón autocompactante. Además fue necesario disponer una serie de puntales metálicos verticales para el sostenimiento de los fustes en ménsula a partir de un cierto vuelo y un arriostramiento superior en cabeza para garantizar la estabilidad del conjunto durante su ejecución.

Por todo ello se realizó un estudio por parte de la empresa de encofrados que concluyó con un proyecto específico de trepas de 3,10 m hasta la cota de cabecero (Fig. 12a), donde al igual que en la pila tipo, hubo que modificar el proceso de construcción de la pila.





**Figs. 12a y 12b. Ejecución de los cuatro fustes y de la cabeza de la Pila Central del viaducto**

**Figs. 13a y 13b. Detalle de la conexión del tablero metálico con la cabeza de la Pila Central**

En este caso, se diseñó una plataforma de encofrado (Fig. 12b) para la ejecución del cabecero de la pila, anclada a su última trepa. Esta plataforma permitió materializar la geometría de la zona abovedada del fondo de la cabeza de pila, y disponer una superficie de trabajo en el perímetro exterior de la cabeza de la pila central.

La ejecución del cabecero y dovela 0 de la pila central (Fig. 13a) es otro punto de interés de la obra, en el cual se materializaba la conexión del tablero metálico a la pila de hormigón mediante armadura, conexión con tacos y pernos conectores, y barras pretensadas.

La ejecución del cabecero comenzó con el ferrallado y hormigonado de la zona curva inferior llegando justo hasta la cota de apoyo de las dovelas metálicas del tablero (Fig. 13b).

Posteriormente, se colocaron con grúa ambas dovelas (hacia pk- y pk+) del tablero, apoyándolas en la primera fase de hormigonado de la cabeza de pila y en unos apeos provisionales. Tras materializar la continuidad estructural entre las platabandas superiores y parte del alma de las dovelas metálicas, se inició el ferrallado y hormigonado por fases del nudo de la cabeza de pila hasta la cota situada justo debajo de la losa superior. Al igual que en los fustes el hormigón utilizado fue autocompactante. Tras la última fase de hormigonado se pusieron en carga las barras pretensadas de conexión colocadas en la parte superior del nudo.

### 2.3. Tablero

La parte metálica del tablero se prefabricó en taller, dividiendo cada vano en dovelas según planos de taller previamente aprobados. Además se estableció un programa de control



**Figs. 14a y 14b. Fabricación en taller y transporte a obra de dovelas metálicas del tablero**

de calidad exhaustivo, con un gestor documental online que favoreció el acceso a la documentación para todos los agentes involucrados en el proceso de fabricación, montaje en obra y control de calidad.

Cada una de las dos vigas doble T que conforman la sección transversal se armaban de forma independiente uniendo las platabandas y células superior e inferior con las almas. En paralelo al armado de las vigas, se fabricaron los mamparos de apoyo en pilas y estribo, y los diferentes elementos de arriostamiento y cartelas del tablero.

El armado final de las dovelas se realizaba en una bancada de montaje ajustada topográficamente a la contraflecha del tablero.

Previamente a su traslado en obra, con las dovelas armadas en taller, se realizó un montaje en blanco entre dovelas consecutivas (Fig. 14a) para comprobar la bondad de su geometría y que las chapas de las mismas ajustan perfectamente para cumplir con las estrictas tolerancias de montaje establecidas.

De esta forma se fabricaron dovelas de 25 m de longitud (medio vano), que fueron transportadas por carretera hasta la obra (Fig. 14b). En fases más avanzadas de la obra se llegaron a construir dovelas de 50 m de longitud, correspondientes a un vano completo, y que se llevaron a obra mediante transporte especial. Los vanos adyacentes a la pila central, al ser de mayor luz (65 m), se dividieron en tramos más pequeños.

Una vez en obra, se descargaban a lo largo de la traza del viaducto sobre apeos provisionales (Fig. 15a) a pie de pila del vano correspondiente. Una vez que el vano completo quedaba apoyado únicamente en sus extremos, se realizaba el hormigonado de parte de la losa inferior in situ (Fig. 15b). Con este esquema se alcanzó un ritmo de producción de hasta tres vanos a la semana.

A continuación, se realizaba el izado del vano así conformado (estructura metálica más parte de la losa inferior), mediante dos grúas de gran capacidad que izaban con gran precisión cada vano de 250 t (Figs. 16a y 16b).

El montaje del tablero en obra se organizó en cuatro frentes de avance, partiendo desde los estribos y desde las pilas a ambos lados del punto fijo, correspondiente a la pila 32. Completándose con la ejecución de cuatro cierres, los primeros de ellos junto a las pilas P-16 y P-47, y por último otros dos cierres a ambos lados de la pila 32.

En los frentes de avance, sobre la pila anterior al vano que se iba a montar, se disponía provisionalmente un punto fijo longitudinal, que además de resistir el sismo de construcción, reducía la longitud de tablero susceptible de contraerse o dilatarse por efectos térmicos durante la ejecución de la unión con la nueva dovela, y por lo tanto la necesidad de reajustar las bandejas de los aparatos de apoyo por dichos movimientos térmicos (Fig. 17a).

Tras el montaje de una dovela, el punto fijo provisional se trasladaba a la siguiente pila antes de montar una nueva





**Figs. 15a y 15b. Acopio en obra de dovelas metálicas y ejecución de hormigón de fondo previamente al izado**



**Figs. 16a y 16b. Izado de dovelas metálicas mediante grúa**

**Figs. 17a y 17b. Detalle de punto fijo provisional durante el montaje y aparatos de apoyo en cabeza de pila**





**Figs. 18a y 18b. Vista durante el montaje de vanos y colocación de tramo de cierre**

dovela. Una vez que se llevaban más de 350 m de longitud de tablero montado se necesitaban dos puntos fijos en las dos pilas más próximas al frente de avance. Dada la longitud total del viaducto, se programaron los vanos de cierre a fin de la longitud de tablero unida al punto fijo provisional no excediera de 800 m.

Previamente al izado del vano completo se montaban, sobre la pila correspondiente en la que apoyaba el vano a izar, los aparatos de apoyo esféricos (Fig. 17b) y los neoprenos-teflón de los topes sísmicos, realizando un exhaustivo control topográfico de los mismos. Además se dejaban montados los elementos temporales auxiliares que materializaban el punto fijo provisional de montaje.

Una vez se efectuaba la elevación mediante grúas del vano, se realizaba una unión provisional con el vano anterior (que volaba 10,50 m respecto de su pila), comprobando la separación de las chapas a soldar, y el ajuste de los elementos del punto fijo provisional mediante el apoyo del vano sobre elementos provisionales, para una vez realizada la comprobación y realineación, si correspondía, de los aparatos de apoyo esféricos, ejecutar la soldadura de continuidad con el vano anterior y apoyar el vano en su situación definitiva. Simultáneamente se ejecutaba el anclaje de los aparatos de apoyo y su unión con el tablero, y el ajuste y fijación del tope sísmico que constituye el punto fijo provisional y desbloqueo, a continuación, del punto fijo del vano anterior.

Se tomaron todas las medidas necesarias para asegurar la correcta alineación y paralelismo entre las guías laterales de los aparatos de apoyo y el tope sísmico, puesto que la falta de alineación entre ellos, dado los elevados movimientos longitudinales que experimenta el tablero, podría producir cierto acodamiento del tablero en las pilas.

Una vez completado el montaje de dovelas en los cuatro frentes de avance se procedió al cierre controlado del tablero (Fig. 18a) en los vanos situados entre las pilas P-16 y P-17, y pilas P-47 y P-48, y por último el cierre de los vanos adyacentes (Fig. 18b) a la pila central.

Para todas estas maniobras de fabricación y montaje de vanos se estudiaron pormenorizadamente cada una de las actividades y se desarrollaron protocolos de control topográfico, de deformaciones, de izado y montaje del tablero donde se detallaban cada una de las fases de ejecución y los controles a realizar en cada una de ellas.

Una vez que se fue avanzando en el montaje de vanos, y manteniendo un decalaje de dos de ellos, se fueron completando los hormigones in situ de la losa inferior, hormigonado de zunchos longitudinales, y recrecido del hormigón de la zona de pilas hasta llegar a un espesor de 0,55 m.

Tras completar el hormigón inferior de los dos primeros vanos, se comenzó con la colocación de las losas superiores, prefabricadas a sección completa en los 25 m (Fig. 19a) centrales de cada vano, y las prelosas nervadas en zonas de apoyo en pila. La ejecución de la losa (y por tanto del ciclo de construcción del tablero) finalizaba con el



Figs. 19a y 19b. Losa prefabricada de ancho completo y vista general del montaje de prelosas



Figs. 20a y 20b. Vista de la ejecución de los acabados y prueba de carga estática del tablero

hormigonado in situ de las ventanas de conexión y juntas entre losas en zona de centro de vano, y completando el ferrallado y hormigonado in situ sobre las prelosas en zona de pilas (Fig. 19b).

El montaje simultáneo de las dovelas metálicas, del hormigonado de la losa inferior y del montaje de prelosas y losas de sección completa superiores permitió alcanzar unos rendimientos de ejecución decisivos para conseguir el cumplimiento de los estrictos plazos de obra.

Para finalizar la construcción del viaducto se realizaron los acabados (Fig. 20a) y la prueba de carga estática (Fig. 20b).

### 3. Ficha técnica de la obra

Viaducto de Archidona: proyecto de Construcción de la Línea de Alta Velocidad Antequera-Granada. Tramos: Peña de los Enamorados-Archidona y Archidona-Arroyo de la Negra

*Propiedad: Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF)*

- Dirección de Línea: D. Alfonso González Gutiérrez
- Gerente de Línea: D. Eduardo Gantes Trelles
- Jefe de Infraestructuras: D. Julio Caballero

### *Dirección de Obra*

- Dña. Áurea Vilchez Pimentel. Tramo: Archidona-Arroyo de la Negra.
- D. Adelardo Martín de la Vega. Tramo: Peña de los Enamorados-Archidona.

### *Empresas Constructoras*

- UTE Túnel de Archidona (Dragados-Tecsa). Tramo: Archidona-Arroyo de la Negra.
- UTE Viaducto de Archidona (Azvi-Dragados-Tecsa). Tramo: Peña de los Enamorados-Archidona.

*Proyecto de la Estructura y Asesoría especializada en estructuras a la Dirección de Obra: Ideam S.A.*

- D. Francisco Millanes Mato
- D. Enrique Bordó Bujalance
- D. Jesús Martín Suárez
- D. Juan Luis Mansilla Domínguez

### *Presupuesto Adjudicación de la Obra*

- 110.236.262,85 €. Tramo: Peña de los Enamorados-Archidona.
- 41.711.177,05 €. Tramo: Archidona-Arroyo de la Negra.

### *Plazo de Ejecución de la Obra*

- 26 meses. Tramo: Peña de los Enamorados-Archidona.
- 38 meses. Tramo: Archidona-Arroyo de la Negra.

### *Principales características del viaducto*

- Tipología: tablero mixto de acero y hormigón.
- Longitud total: 3.150 m (35,00+30x50,00+2x65,00+29x50,00+35,00 m).
- Cimentación:
  - o Pila tipo: encepados de 4 x Ø 2,0 m pilotes.
  - o Pila Central: 2 encepados de 14 x Ø 2,0 m pilotes.
  - o Estribos: 14 Ø 1,5 m pilotes.
- Trazado:
  - o Planta: curva de radio 6.000 m.
  - o Alzado: pendiente constante 3 %.
  - o Altura media de pilas: 25 m.
- Tablero Metálico:
  - o Acero Laminado S-355 J2G2W: 11.080.356,82 kg.
  - o Acero Laminado S-275 JR: 791.103,76 kg.
- Mediciones representativas:
  - o Prelosas superiores: 44.100 m<sup>2</sup>.
  - o HA-35/B/15/IIb: 41.255,13 m<sup>3</sup>.
  - o Acero B 500 SD: 17.149.872,05 kg.
  - o Apoyos Esféricos: 126 ud.
  - o Pilotes DN-2000: 11.175 ml. **ROP**





## Nuevo puerto exterior de Punta Langosteira



**Pedro Canalejo Marcos**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Consejero Delegado de ALATEC, Ingenieros  
Consultores y Arquitectos, SA



**Pedro Canalejo Rodríguez**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Director General de ALATEC, Ingenieros  
Consultores y Arquitectos, SA

### Resumen

El proyecto del Nuevo Puerto Exterior de La Coruña nace en el año 1996. Entre 1996 y 1998 se estudiaron las posibles alternativas de ubicación y se efectuó la selección de la alternativa óptima para seguidamente desarrollar el Proyecto Básico que comprendió los estudios de Configuración en Planta y Alzado y el análisis de las soluciones estructurales aplicables a las obras de abrigo y muelles de atraque.

Entre los años 1999 y 2000 se lleva a cabo el desarrollo del Proyecto Constructivo de la solución original definida en el Proyecto Básico. Las severísimas condiciones meteorológico-marinas y los altos costes previstos impulsan a las Autoridades portuarias españolas a una reconsideración del proyecto. Para ello se constituye una comisión mixta de técnicos en que además de Alatec, ingenieros autores del Proyecto, participan representantes de la Autoridad Portuaria de La Coruña, Puertos del Estado de España y otros especialistas en diversas materias. Tras una exhaustiva revisión de la definición de clima marítimo, la accesibilidad marítima, la operatividad del puerto, la configuración, la viabilidad constructiva y los costes de construcción, llevados a cabo entre los años 2001 y 2002, en el año 2003 se desarrolla el proyecto constructivo de la solución final que inició su construcción en marzo de 2004. El trabajo desarrollado a lo largo de estos años sería prácticamente imposible de describir en la limitada extensión del presente artículo; pero a lo largo de sus diferentes capítulos trataremos de señalar los aspectos más característicos que permitan entender la magnitud del reto tecnológico que ha sido superado por la ingeniería marítima española.

### Palabras clave

Punta Langosteira, Alatec, nuevo puerto exterior, dique rebasable, optimización medioambiental puerto de La Coruña

### Abstract

*The original project for the New Outer Port at La Coruña dates back to 1996. Between 1996 and 1998 different alternatives were considered regarding location and a selection made of the optimum alternative for the ensuing development of the Preliminary Planning Stage that included studies of Plan, Elevation and General Arrangement and the analysis of corresponding structural solutions for harbour and dock works.*

*Between 1999 and 2000, Detailed Design and Planning was made on the basis of the original solution defined at the Preliminary Planning Stage. The very severe sea and weather conditions and the estimated high costs subsequently led the Spanish port authorities to reconsider the project. A joint technical committee was established to this end, formed by Alatec, the consultant engineers responsible for the design work, representatives from La Coruña Port Authority and other specialists in diverse fields. Following a thorough review and definition carried out over 2001 and 2002 of the marine climate, port operation, arrangement, building feasibility and construction costs, detail plans were drawn up in 2003 of the final solution that was eventually started in March 2004. It would be practically impossible to describe all the work carried out over these years within the confines of the present article, but in the different chapters that follow we shall attempt to indicate the most relevant aspects in order to give some indication of the scale of the technological challenges that were successfully met by Spanish marine engineering.*

### Keywords

*Punta Langosteira, Alatec, new outer port, overtopped breakwater, environmental optimisation, port of La Coruña*



Fig. 1. Puerto actual de La Coruña

### 1. El puerto de La Coruña

El puerto histórico de La Coruña situado en el noroeste de la costa de la península ibérica congrega una serie de circunstancias que condicionan de forma determinante su posible expansión.

a) Difícil y arriesgada accesibilidad marítima.

Las arriesgadas condiciones de accesibilidad han sido histórica y lamentablemente puestas de relieve por siniestros de graves consecuencias tales como los de los petroleros Urquiola (1976) de 100.000 TPM y Mar Egeo (1992) de 75.000 TPM.

b) Naturaleza peligrosa y potencialmente contaminante de los tráficos que constituyen el 80 % del volumen total: petróleo y productos hidrocarburoados; y graneles sólidos de carbón energético.

c) Agotamiento de espacios portuarios tanto terrestres como acuáticos.

d) Conflicto puerto-ciudad generado por la existencia de un espacio industrial portuario sin solución de continuidad con el espacio urbano inmediato, expuesto a los riesgos derivados de la manipulación de tráficos de la naturaleza señalada.

Todo lo anterior condujo a la Autoridad Portuaria de La Coruña, con la colaboración de Alatec, a abordar un estudio de alternativas para encontrar el emplazamiento óptimo de un nuevo puerto exterior que permitiera resolver los problemas descritos a la luz del siguiente criterio de prioridad:

- Mercancías sucias o potencialmente peligrosas y contaminantes al nuevo puerto.
- Mercancía general limpia, tráfico de pasajeros, cruceros, actividades náutico-deportivas y pesca en el puerto existente.

Los criterios utilizados para determinar el emplazamiento óptimo del nuevo puerto fueron: proximidad al puerto existente de La Coruña, proximidad al principal generador de tráficos (refinería de Repsol-YPF en Bens, La Coruña), accesibilidad terrestre tanto viaria como ferroviaria, accesibilidad marítima, amplia disponibilidad de suelo, mínimo impacto ambiental y mínimo coste de inversión.

De las alternativas investigadas, fue seleccionada la situada al abrigo de Punta Langosteira que reunía las siguientes características: ausencia de núcleos urbanos próximos, proximidad a la Refinería de Repsol YPF (≈ 4 km), proximidad a la Red de Autopistas y Red Nacional de Ferrocarriles, aceptables condiciones topobatemétricas, proximidad de núcleos de desarrollo industrial con amplia disponibilidad de suelos, mínimo impacto ambiental y menor coste de todos los emplazamientos analizados.

### 2. Las características del nuevo emplazamiento



Fig. 2. Emplazamiento seleccionado de Punta Langosteira

A pesar de ser el área de Punta Langosteira el mejor de todos los emplazamientos analizados, el proyecto debía resolver dos graves problemas que se dan cita en dicho emplazamiento:

- Cierta complejidad topobatimétrica de la costa.
- Condiciones climatológico-marinas de gran severidad.

El nuevo emplazamiento fue exhaustivamente investigado mediante la realización de las siguientes campañas:

- Investigaciones cartográficas, topográficas y batimétricas (1997, 1999, 2000).
- Investigación geofísica y morfológica (1997, 1999).
- Investigaciones geológico-geotécnicas marinas y terrestres (1999, 2000).

Fruto de las investigaciones realizadas se concluyó en la existencia de una zona arenosa de batimétricas paralelas hasta alcanzar una zona a unos 1.000 m de la costa con batimetría que denuncia la presencia de afloramientos rocosos. La potencia del estrato arenoso varía entre los 5 metros y los 10 metros.

### 2.1. Caracterización del clima marítimo

Se realizó un análisis de oleaje utilizando los datos de las boyas existentes (de Finisterre a Bares), así como los datos Wasa. Se estudiaron los 75 mayores temporales de los últimos 25 años y se definió el clima marítimo esperado en el emplazamiento. Para su establecimiento, se propagaron los citados temporales, una vez definidas sus características en aguas profundas mediante un análisis Hindcast de los planos de viento, hasta las boyas de Langosteira, La Coruña y Vilán. Conocido el régimen en la de La Coruña, que aunque escalar, poseía datos de más de 20 años, se pudo establecer una relación entre ambas boyas.

De esa forma, se compuso un régimen extremal para la boya de Langosteira, en el emplazamiento de las obras y, una vez establecidos los criterios de diseño, se pudo conocer la altura de ola que iba a ser utilizada en los sucesivos estudios de estabilidad y operatividad en la nueva dársena.

Finalmente, establecida una vida útil de 50 años y asumiendo las probabilidades de fallo establecidas por la ROM 0.2.90, de 0,30, se definió el período de retorno de 140 años para el cálculo de la altura de ola significativa de diseño. Se programó el dique por tramos para conocer en todo su desarrollo el oleaje de cál-

culo, siendo el punto crítico el tramo principal; los últimos 1.800 metros de dique, con una altura significativa de 15,1 metros, que representa una altura máxima cercana a los 26 metros.

### 2.2. Regímenes de Marea

De acuerdo con la información disponible correspondiente al mareógrafo de La Coruña, la carrera de marea en el área del proyecto resulta de 4,38 m situándose el nivel medio del mar (NMM) a la cota + 2,20 m respecto a la bajamar viva equinoccial.

### 3. Tipología del dique de abrigo

La tipología de dique elegida fue la de dique en talud rebasable. Este tipo de solución, flexible en su concepto, es la razonable conceptualmente cuando se tiene un grado de desconocimiento de las acciones a que está sometida la estructura. Por otro lado, en aquella fecha, no existían referencias de diques verticales construidos en el océano Atlántico (el dique del puerto de Gijón es el primero construido en el Cantábrico). También fueron consideradas otras razones para la elección de la tipología en talud. Además, fue estudiada la búsqueda de la rotura del oleaje para mejorar las condiciones de navegación en el entorno.

El dique de Langosteira se convirtió así en un referente constructivo en el mundo al estar sometido a las mayores acciones del oleaje conocidas en un dique en talud.

Como consecuencia de lo anterior, se decidió la realización de estudios redundantes, tanto en modelo físico como numérico, que permitieron confiar razonablemente en los resultados.

De este modo, para el conocimiento del oleaje en el emplazamiento, se utilizaron los modelos numéricos de propagación de oleaje irregular Refdif, Props y Ghost contrastados a partir de registros simultáneos de las boyas direccionales de Langosteira y Vilán. Además, para reducir la incertidumbre, dadas las especiales condiciones de la batimetría, se desarrolló un modelo físico de contraste en el tanque 3D multidireccional de WL Delft Hydraulics (Holanda), que permitió conocer que se producía una ampliación del oleaje del 13 % por la influencia del fondo marino, muy afectada por la dispersión direccional.

Para el conocimiento de la estabilidad del dique en talud se desarrollaron sendos ensayos en canal bidimensional en la Universidad de Aalborg (Dinamarca) y en las instalaciones del Cedex, del Ministerio de Fomento. Estos ensayos permitieron diseñar las estructuras de los diques en talud, tanto en lo que se refiere a la estabilidad de los bloques del manto principal, como de sus bermas, las fuerzas sobre el espaldón y el rebase existente.



### 3.1. Características de la sección del dique de abrigo

La sección diseñada consistió en un manto exterior con un talud 1:2 de bloques cúbicos de 150 toneladas, con sus correspondientes filtros. Primero de bloques de 15 toneladas y uno secundario de escollera de una a cinco toneladas, que protegen el todo uno de cantera del núcleo. La sección estaba dotada de sendas bermas, a la cota -17 metros de bloques de 50 toneladas, y a la cota -25 metros formada por escollera de cinco toneladas, respectivamente.

Se diseñó un espaldón masivo, cimentado a la cota +10 respecto la bajamar máxima viva equinoccial y coronado a la cota +25 metros, de una anchura de 12 metros en coronación, y solidariamente unido al vial del dique.

Como consecuencia de todo esto y considerando el intenso rebase por encima de la estructura, se pudo conocer el punto crítico en el diseño del dique, en este caso, su trasdós. Así se pudo prepararlo y reforzarlo.

El trasdós se conformó con un sistema bicapa de bloques adoquinados de 15 toneladas. De esta forma, se consiguió un talud suave para reducir el impacto del rebase producido.

### 4.- La agitación en el interior de la dársena

Para el conocimiento de la agitación interior de la dársena y de los esfuerzos en amarras de buques atracados, se desarrollaron sendos estudios en las instalaciones del Cedex y del Danish Hydraulic Institute (Dinamarca), en tanque 3D unidireccional, que permitieron conocer la necesidad de construcción de un martillo en el dique que permitiera reducir las tensiones en amarras en condiciones extremas. Se comprobó que las condiciones de agitación interior eran las convenientes.

Asimismo, se realizaron análisis redundantes en modelo numérico, utilizando el sistema MIKE 21 del Danish Hydraulic Institute que, calibrado con el modelo físico, permitió implementar un modelo numérico para el cálculo de los esfuerzos en buques amarrados. El resultado de la dársena fue satisfactorio, obteniendo unas inactividades de las operaciones muy reducidas. También fue estudiado el efecto de la posible resonancia producida en la dársena. Las dársenas portuarias, dadas sus dimensiones, pueden entrar en resonancia si se produce su acoplamiento a determinados períodos altos de oleaje.

#### 4.1. Maniobrabilidad

Para el conocimiento de la maniobra de acceso y salida de buques se utilizaron, sucesivamente, el modelo numérico

Shipma, que permitió definir las zonas de maniobra necesarias, y un simulador a tiempo real en las instalaciones de Siport XXI en Madrid, que permitió conocer las condiciones límite de operación. En general, con olas de 4 a 4,5 metros y viento de 20 nudos, las dificultades de maniobra son de limitadas a medias.

### 5. Características del nuevo puerto exterior

Las características del nuevo puerto resultan determinadas por las condiciones del emplazamiento y la naturaleza y magnitud de los tráficos a manejar así como las flotas que previsiblemente transportarán las mercancías.

Los volúmenes del tráfico considerados corresponden a aquellas mercancías que han de trasladarse al nuevo Puerto y que corresponden a las que se describen en el cuadro siguiente: La flota de buques de diseño prevista para estos tráficos es la siguiente:

- Graneles líquidos:
  - Crudo de Petróleo: 150.000 TPM
  - Productos Petrolíferos: 35.000 TPM
  - Gases licuados: 10.000 TPM
- Graneles sólidos:
  - Tamaño Máximo: 200.000 TPM
  - Tamaño Medio: 60.000 TPM

### 6. Proyecto constructivo, año 2000

En 1999 la Autoridad Portuaria contrató nuevamente a ALATEC para la redacción del proyecto constructivo de las nuevas instalaciones portuarias de punta Langosteira. El proyecto fue redactado entre 1999 y el 2000, siendo autores del mismo los ingenieros de Caminos, Pedro Canalejo Marcos y Pedro Canalejo Rodríguez, dirigido por Enrique Maciñeira Alonso, con la asesoría del eminente catedrático Dr. Hans F. Burcharth, de la Universidad de Aalborg, Dinamarca.

La redacción de un proyecto de un puerto supone un proceso cíclico en el que, una vez conocidas las condiciones océano-meteorológicas y las características geotécnicas, tanto terrestres como marinas, se investigan, no sólo las capacidades estructurales requeridas a las obras de abrigo, en este caso, sino también las posibilidades desde el punto de vista operativo.

El primero de ellos, el estructural, parte de un primer prediseño utilizando el conocimiento del estado del arte y las fórmulas

GRUPO GENERAL	PRODUCTOS	CUANTÍAS (Tm/año)
Graneles líquidos	Petróleo Crudo	6.740.562
	Fuel Oil	750.000
	Gas-Oil	702.000
	Gasolina	484.000
	Otros productos petrolíferos	698.944
	Gases energéticos de Petróleo	344.729
	Aceites y Grasas	12.000
Graneles sólidos con y sin instalación especial	Cemento y Clinker	530.578
	Coke de Petróleo	100.000
	Habas y Harinas de Soja	765.690
	Otros productos alimenticios	79.349
	Cereales y sus harinas	595.773
	Piensos y forrajes	1.042.616
	Minerales	535.000
	Productos metalúrgicos	7.000
	Abonos naturales y artificiales	103.890
	Carbones	2.400.000

**Tráficos previstos para el nuevo puerto exterior**

apropiadas en función de las características de la estructura, y un posterior contraste en modelo físico, inicialmente en canal 2D y, posteriormente, una vez revisada la estructura, en tanque multidireccional 3D. Este proceso es cíclico, porque los efectos tridimensionales afectan a su vez a la estabilidad de determinadas partes de los diques y procede su revisión en canal nuevamente.

El segundo de ellos, el operativo, pretende dar respuesta tanto al acceso a la dársena como a la protección de la misma. Estas dos variables son opuestas de tal forma que, a una mayor dificultad en el acceso, corresponden unas mejores condiciones internas de la dársena, y al contrario. Por ello, es preciso un análisis de ambos factores, primero en modelos numéricos, que permiten un primer diseño rápido analizando ambos problemas y, posteriormente, utilizando el modelo físico en tanque 3D unidireccional o multidireccional, en función de las posibilidades y dimensiones de la dársena y el simulador en tiempo real, para conocer las capacidades de respuesta y la intervención del

factor humano en el proceso de acercamiento del buque. Este último es decisivo para el dimensionamiento de las áreas de flotación y de las áreas de emergencia. Los resultados de los modelos nos permiten, a su vez, el calibrado de los modelos numéricos utilizados y la implementación de modelos matemáticos de esfuerzos en amarras de buques atracados, con una gran versatilidad y capacidad.

Se investigaron los siguientes datos: topografía, parcelario y geotecnia, en la zona terrestre, que permitió concluir que existían materiales aptos y en cantidad suficiente para realizar las obras, aunque la cantera sería de difícil explotación (no existía un frente franco y había mucha roca meteorizada que no era válida para hormigones y escolleras) y batimetrías y geotecnia marina, en la zona marítima. Este hecho se ha manifestado de absoluta relevancia una vez comenzadas las obras. También fue necesaria la tramitación de sucesivas expropiaciones para contar con materiales en cantidad suficiente para la ejecución del proyecto.



Fig. 3. Planta del nuevo puerto definida en el Proyecto Básico

### 6.1. Estudios de accesibilidad náutica

Los estudios fueron llevados a cabo en conformidad con los criterios establecidos en el documento ROM 3.1-99 (“Proyecto de la configuración marítima de los puertos, canales de acceso y áreas de flotación”).

La accesibilidad marítima se analizó para un B/T petrolero de 150.000 TPM elegido como buque de diseño por la A.P. de La Coruña. Los dimensionamientos en planta se llevaron a cabo a partir de tres procedimientos:

- Criterios PIANC.
- Procedimiento determinístico ROM 3.1-99.
- Estudios en simulador ‘fast-time’ con autopiloto.

El dimensionamiento en alzado de la ruta de navegación se estudió a partir del método determinístico establecido en la ROM 3.1-99 y el procedimiento de determinación del “Operador de Amplitud de Respuesta” (RAO) para el cálculo de sobrecargados por oleaje producidos por fenómenos de resonancia inducidos por aproximación de frecuencias del oleaje incidente y del buque de diseño. Los riesgos considerados en los diseños de las áreas de navegación fueron los que se describen en la tabla siguiente:

ÁREA DE NAVEGACIÓN	Vida útil	Riesgo máximo
Aproximación a puerto	40	0,30
Cruce de Bocana	40	0,10
Resto de áreas de navegación	40	0,30

### 7. Proyecto constructivo, año 2004

La Autoridad Portuaria contrató a la consultora Alatec para la concreción del proyecto que iba a ser licitado. El proyecto, cuyos autores fueron los ingenieros de Caminos Pedro Canalejo Marcos y Pedro Canalejo Rodríguez, fue dirigido por Fernando Noya Arquero, bajo la supervisión del Dr. Hans Burcharth. El proyecto redujo el alcance del diseñado en el año 2000 recogiendo aquellas modificaciones y decisiones tomadas desde ese año. El presupuesto de inversión establecido fue de 434 millones de euros y un plazo de 96 meses de construcción.

Para el conocimiento de la estabilidad del morro y del efecto de la direccionalidad en puntos singulares, se utilizó el tanque 3D multidireccional del Cedex. A la vista de los resultados obtenidos, se decidió proyectar dos alternativas diferentes, que deberían ser estudiadas en profundidad en su momento: el morro en talud y el morro vertical.

Este proyecto, que es el que finalmente se licitó en febrero de 2004, supuso la movilización de más de 32 millones de metros cúbicos de material, la fabricación y puesta en obra de cerca de 2,5 millones de metros cúbicos de hormigón, con la fabricación de más de 130.000 bloques de diferentes tamaños, y la utilización de más de 15 millones de kilogramos de acero, convirtiéndose, por tanto, en una de las mayores obras de ingeniería portuaria realizadas en España.

Una vez rematadas las obras, se dispone de una superficie de tierra de 143 hectáreas, con un frente de atraque de 920 metros y 22 de calado, y un trasdós del dique de más de 1.300 metros, que permite la construcción de los pantalanes para el movimiento de graneles líquidos requeridos. Con este proyecto, una vez dotada la dársena de accesibilidad ferroviaria y viaria, podrá acoger el traslado de los productos energéticos que actualmente se trasiegan por las instalaciones del puerto de La Coruña.

En esta fase se desarrollaron los siguientes estudios complementarios:



a) Análisis de la estabilidad del morro: desde el año 2002 y hasta el 2004, la Autoridad Portuaria utilizó el tanque 3D multidireccional de la Universidad de Aalborg para el estudio y análisis de los factores críticos en la estabilidad del morro del dique. Como consecuencia de estos estudios, se concluyó la viabilidad de cualquiera de las opciones planteadas: morro vertical y en talud, siempre y cuando se actuara sobre la densidad del hormigón, factor crítico en la estabilidad.

b) Reanálisis de la estabilidad del dique y la configuración en planta: teniendo en cuenta lo singular del dique y su situación extrema, la Autoridad Portuaria procedió a reanalizar la estabilidad del dique de punta Langosteira y la configuración en planta de la dársena con el objeto de optimizar, en alguna medida, la inversión a realizar. Utilizando las instalaciones del Cedex, el gran canal 2D y el tanque 3D multidireccional, se volvió a estudiar el dique de punta Langosteira. Se detectó que el trasdós del dique era la parte crítica de la estructura y se observó la importancia de la construcción de una berma trasera, a la cota -11 metros respecto a la bajamar, y se aumentó el tamaño de los bloques hasta las 50 toneladas, agujereándolos para reducir las presiones hidráulicas del núcleo. Se volvieron a definir los objetivos básicos del proyecto, concretando el traslado de la terminal petrolífera y de la carbonera, como objetivos iniciales de la primera fase de las obras. De este modo, se estudió cuál era la configuración en planta mínima que permitiría acoger los tráficos previstos.

c) Análisis económico-financiero: en el año 2000, ante las dificultades de obtener fondos comunitarios para la ejecución de las obras, se analizaron las posibles vías financieras que

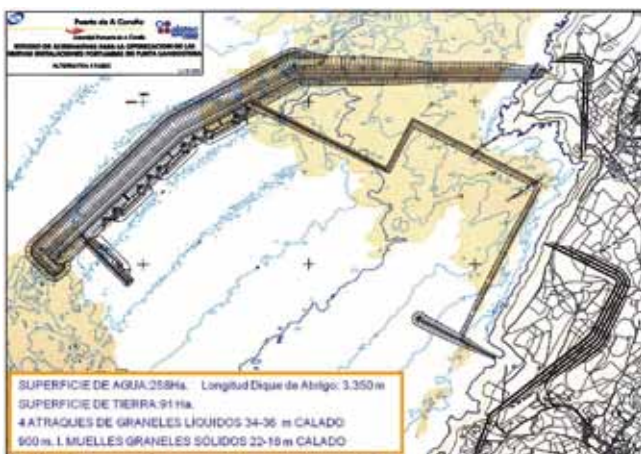


Fig. 4. Planta definitiva

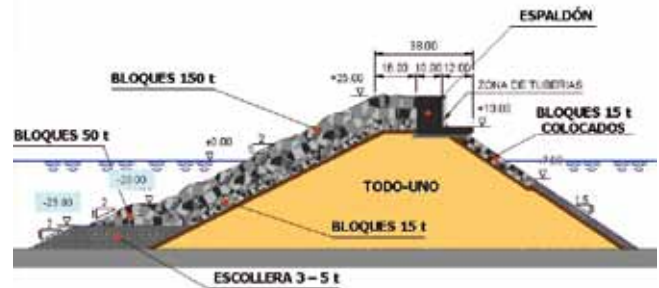


Fig. 5. Sección principal Dique de Abrigo

permitieran desarrollar el proyecto. Se retomó la desafectación de terrenos de la dársena interior y su posterior enajenación. Es, en este momento, cuando se concretan las dos zonas posibles de actuación que, posteriormente, una vez decidida la ejecución de las obras, fueron incluidas en el convenio suscrito entre la Xunta de Galicia, el Ministerio de Fomento y los ayuntamientos de Arteixo y La Coruña para la ejecución de las obras.

Se definieron cuatro fuentes de financiación que debían soportar la operación: el negocio inmobiliario, los fondos comunitarios, la generación de energía eólica en el puerto y la capacidad de endeudamiento y los fondos propios de la Autoridad Portuaria.

### 8. Ejecución de la obra, años 2005-2011

La optimización de la propuesta planteada en el proyecto para el dique de abrigo no se ha detenido con el comienzo de las obras en 2005, si cabe se han incrementado los ensayos desde entonces con el fin de encontrar la solución que mejor se comporte frente al oleaje y, al mismo tiempo, facilite su ejecución.

Desde 2005 hasta 2009, se llevaron a cabo diferentes estudios en modelo físico en canal de oleaje para optimizar el diseño de la sección tipo del dique y del espaldón del mismo, así como la sensibilidad a condiciones extremas. Dichos estudios se desarrollaron en las instalaciones del Centro Estudios de Puertos y Costas del Ministerio de Fomento.

Asimismo, entre 2007 y 2009, se analizó el comportamiento funcional del dique, y las condiciones de rebase del mismo, en diferentes tramos del mismo, así como el proceso constructivo a desarrollar, teniendo en cuenta la ubicación de la obra. Dichos estudios, consistentes tanto en análisis en modelo físico en gran canal de oleaje en el Centro Estudios de Puertos y Costas del Ministerio de Fomento, como en modelo físico en tanque con oleaje unidireccional en el Instituto de Hidrodinámica Aplicada

(INHA) y en tanque con oleaje tridimensional en HR Wallingford, en el Reino Unido.

Posteriormente, en 2008 se analizó una nueva solución de morro en talud, que fue la finalmente construida, en la Universidad de Aalborg (Dinamarca), en tanque con oleaje tridimensional, dirigido por el Profesor Hans Burcharth, de la Universidad de Aalborg (Dinamarca), diseñada a partir de la fórmula de Maciñeira y teniendo en cuenta la limitación de la grúa que se utiliza para la colocación de los bloques.

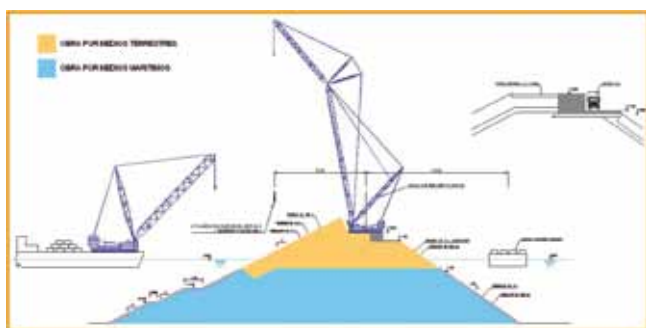


Fig. 6. Esquema constructivo

## 9. Innovación en la construcción

Se pueden señalar las siguientes herramientas tecnológicas y nuevos métodos desarrollados para la ejecución del dique:

### 9.1. Predicción meteorológica

SAPO. Es un sistema desarrollado por Puertos del Estado capaz de realizar predicciones de oleaje, de escala local a 72 horas. Se ha diseñado específicamente para la Autoridad Portuaria de La Coruña y su entorno más próximo. El sistema está basado en el modelo Swan y tiene en cuenta las transformaciones sufridas por el oleaje al aproximarse a la costa. Los parámetros que facilita son los siguientes: altura de ola significativa, dirección media, período medio, período pico, velocidad y dirección del viento

SPOL. Al inicio de las obras se planteó el desarrollo de un sistema en el cual se pudiera predecir la interacción del oleaje con la estructura del dique de abrigo y el resto de estructuras que se pudieran ver afectadas por las olas. En una primera fase, para la realización de este estudio fue necesaria la colaboración de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de La Coruña, que analizó diversos casos de propagación del oleaje y su afección en las distintas fases de avance en el dique de abrigo.

También se desarrollaron modelos numéricos y físicos para definir las diferentes secciones que iban a estar expuestas a las olas, en función del grado de avance del dique. La sección no es constante a lo largo del mismo. Se tuvo en cuenta, además, que algunas secciones del dique no estarán protegidas con todos los mantos durante un determinado tiempo, y, por tanto, expuestas de manera más delicada a los temporales. Se incorporaron al análisis secciones de avance del dique únicamente con todo uno, protegidas con manto de escollera, o bien ya con manto de filtro de bloques de 15 toneladas.

Una vez que se obtuvieron los datos propagados en el dique, se analizó el remonte para cada sección. Para ello se utilizaron diferentes formulaciones, según se adaptaban mejor al tipo de material expuesto. Con estos resultados se calculó la altura de ola según la cual no resultaba seguro operar en el dique y se establecieron los umbrales de trabajo.

Con los resultados obtenidos, se desarrolló directamente en la obra el programa SPOL (Sistema de Predicción de Oleaje en Langosteira), cuyo objetivo es obtener, a través de los datos de predicción de viento y oleaje facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología (Aemet) y después de un proceso que se explicará a continuación, un parte de trabajo para las diferentes actividades que se desarrollan en la obra. En este parte, se detallan exactamente qué tajos son aptos para trabajar en condiciones adecuadas de seguridad y cuáles no. Se realizan dos partes de trabajo al día y se reparten a todo el personal implicado en la obra.

El procesado de los datos hasta llegar al parte de trabajo es como sigue. Se reciben los datos de predicción meteorológica procedentes de la Aemet de forma particularizada para la obra y con un margen de 72 horas. Previamente se han definido unos puntos en la obra, que coinciden con los tres morros de invernada previstos y con el morro definitivo del dique de abrigo. Mediante un modelo numérico, los datos de la Agencia se propagan a estos puntos, dando como resultado los datos previstos de oleaje y viento a pie de dique para los próximos días.

Cotejados los datos obtenidos con las alturas de ola límite que definen los umbrales de trabajo, se determinan las zonas en las cuales no se superan y, en consecuencia, es posible trabajar en condiciones de seguridad. Además, y con el fin de asegurar las condiciones de trabajo, dos horas antes y dos horas después de la previsión de superación de umbrales, está prohibido trabajar, por si la predicción se adelanta o atrasa.

Por último, la UTE Langosteira ha instalado una boya a pie de dique, que proporciona unos valores de oleaje a tiempo real, un instrumento muy útil para comprobar la bonanza de la previsión. Aun así, en caso de que la altura de ola real superara la prevista, y por lo tanto el remonte pudiera ser mayor que el umbral definido, se activa automáticamente en la boya un sistema de aviso para la evacuación inmediata del dique y la paralización de los trabajos que en ese momento se estén desarrollando.

SAYOM. En paralelo al desarrollo del sistema Spol, la empresa Dragados, que forma parte de la UTE, la Universidad de Cantabria y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, perteneciente a la Universidad Politécnica de Cataluña, en colaboración con Puertos del Estado y la Autoridad Portuaria de La Coruña han desarrollado, a través de un proyecto de I+D+i avalado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), un sistema más avanzado de predicción meteorológica: el proyecto Sistema de Ayuda a la Obra Marítima (Sayom).

La diferencia con el sistema Spol estriba en que permite tener un número mucho mayor de casos posibles de clima marítimo, y por ello, un mayor conocimiento de las posibles afecciones a la estructura del dique de abrigo. Además, mediante un complejo sistema, es capaz de analizar la interacción de la predicción con la estructura en tiempo real. Es decir, es una versión optimizada del anterior.

La interacción de tales estados de la mar con la estructura se realizó en planta y para las diferentes secciones tipo, utilizando para cada caso un modelo numérico. De este modo, el sistema ofrecía una herramienta para la ayuda a la toma de decisiones (SAD) mediante unos criterios de alerta que indicaban la necesidad de cesar o no una determinada actividad, así como mejoraba la productividad mediante la previsión de las ventanas de trabajo.

### 9.2. Avance terrestre

Sistema GPS en máquinas. Se implantó un sistema de control y guía de maquinaria mediante la instalación de GPS y sensores de movimiento en las máquinas de avance terrestre del dique de abrigo, que minimizaron la necesidad de mano de obra externa y contribuyeron a un aumento de la seguridad y calidad en la ejecución de los trabajos. De esta manera, se contiene dentro del sistema el apoyo topográfico preciso para la ejecución del proyecto. Con precisión centimétrica, los trabajos se realizaron de manera autónoma, sin necesidad de exponer a los trabajadores a riesgos innecesarios. Con el apoyo de una serie de

indicadores luminosos, el operador dirigía el movimiento de las máquinas y recibía una completa retroalimentación del desarrollo de la tarea, de un modo totalmente autónomo, a partir de la información proporcionada por los sensores embarcados, como el GPS, o el inclinómetro.

### 9.3. Transporte de bloques

La optimización del transporte de los materiales, en este caso de los bloques, es fundamental para la mejora de los rendimientos de producción. Por un lado, el enorme volumen de material obliga a disponer de una gran cantidad de medios, necesarios para que el ritmo de producción no se detenga. Por otro, las grandes distancias, que además se incrementan a medida que avanza el dique, suponen un mayor coste de transporte. La clave está en optimizar los medios, de manera que sean capaces de transportar el mayor número de bloques, reduciendo así el número de viajes necesario. El problema radica en el peso y dimensiones de los bloques, en concreto los de 150 toneladas, que dificultan su transporte y manejo.

En un principio, el transporte de estos bloques se realizó mediante góndolas, capaces de soportar hasta dos bloques de 150 toneladas, aunque por problemas de estabilidad no llegaron a transportar más de uno. A todo esto hay que sumar la dificultad de maniobrabilidad de estos transportes en un sitio tan estrecho como el dique. Consultados especialistas en el manejo de volúmenes de material tan grandes, se diseñó una plataforma a remolque de un dúmper capaz de transportar hasta cuatro bloques de 150 toneladas. También se diseñó un nuevo sistema para transportar un bloque de 150 toneladas en un dúmper al que previamente se le retiró la caja. Gracias a la facilidad de maniobra de estos transportes especiales se ha mejorado notablemente el rendimiento en el transporte de los bloques de mayor peso.

### 9.4. Colocación de bloques

Bloques de 150 toneladas. Para la colocación de bloques en avance terrestre se diseñó entre los técnicos de la obra y el fabricante, la mayor grúa sobre orugas existente en el mercado que se adaptó a los requerimientos de construcción del dique del puerto exterior de Langosteira. El modelo Liebherr 11350 cuenta con una pluma de 135 metros de largo y es capaz de colocar bloques de 150 toneladas a 115 metros de distancia. Posteriormente se dispuso de dos grúas que colocan bloques de 150 toneladas en la primera y segunda capa del manto exterior. Cada grúa realizaba una media de 30 ciclos diarios, durante las 24 horas del día, es decir, cada ciclo dura menos de una hora. Las grúas elevaban y colo-



caba los bloques mediante una pinza de presión, de modo que, con ayuda de un GPS, una vez asegurada su correcta posición en coordenadas UTM, al contacto con el manto se abre quedando suelto el bloque.

Bloques perforados de 53 toneladas. En el talud interior del dique de Langosteira se definió un manto adoquinado de bloques perforados de 53 toneladas que lo protege de los rebases. La colocación de estos bloques era compleja teniendo en cuenta que la gran mayoría estaban sumergidos y por lo tanto no había posibilidad de visualizarla desde la superficie. Además el modo de agarre de los bloques, por presión, imposibilitaba, por seguridad, la utilización de buceadores durante el proceso. Con tal motivo, para la colocación de estos bloques se adquirió un innovador sistema para visualizar en 3D, en tiempo real, la colocación de bloques en las áreas sumergidas del dique. De esta forma se mejoraba notablemente la precisión y exactitud en la ubicación de los bloques, que tenían unas tolerancias muy estrictas debido a la necesidad de cubrir de manera homogénea todo el talud interior. El sistema funcionaba con un sónar y un GPS, además de un innovador *software* para el procesado de datos en tiempo real.

## 10. La mejora ambiental

### *Previo: las razones del proyecto*

Desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental, la construcción de grandes infraestructuras de transporte y, más concretamente, de puertos comerciales, ha de ser siempre amparada por motivos que justifiquen sobradamente la transformación industrial de un entorno costero. La afección a tres kilómetros y medio de litoral que significa el puerto exterior es consecuencia de un dilema complejo: era necesario trasladar tráficos que generaban riesgos ambientales y de seguridad inaceptables para los ciudadanos de La Coruña, pero se debía seguir llevando crudo a la refinería de Repsol en Bens; carbón, tras el cierre de las minas, a las central térmica de Meirama y alimentando la cabaña avícola y ganadera gallega. El poliducto que atraviesa parte del subsuelo de La Coruña, los graves accidentes de los buques Urquiola, en 1976, y Mar Egeo, en 1992, plantearon inicialmente, y confirmaron después, la necesidad de trasladar el tráfico y el almacenamiento de estas mercancías.

El entorno buscado fue un lugar estratégico desde el punto de vista territorial. Situado en el municipio de Arteixo, a escasos 9 kilómetros de La Coruña, el emplazamiento era, seguramente, el mejor conectado de Galicia. El nuevo puerto es el punto terminal de la autovía A-6 que, con dirección Madrid, lo une

con el resto de Galicia y España, y el punto de arranque de la AG-55, nueva autovía que da servicio a la Costa da Morte. Además; desde la cercana estación de Uxes, se conecta por ferrocarril, tanto con el Eje Atlántico hacia Santiago y desde allí, con Ourense y la Meseta, como con la línea que, a través de Lugo, conecta Galicia con el interior de la península a través de León. Por otro lado, desde el punto de vista energético dispone, no sólo de la cercanía a dos centrales térmicas, Sabón y Meirama, que garantizan el suministro eléctrico requerido, sino del suministro de gas natural en alta, desde la línea As Pontes-Sabón. Ambos suministros, así como la abundancia de agua, permiten cualquier desarrollo industrial, por exigente que sea. Por otro lado, nos encontramos con un entorno rodeado de polígonos industriales, aunque actualmente ocupados al límite de su capacidad (Sabón, La Grela, Bens, Pocomaco...) con grandes posibilidades de ampliación. Es posible el desarrollo de suelo industrial, bien conectado y con facilidad de suministros. Todas estas razones configuraron la alternativa de punta Langosteira como la óptima desde el punto de vista territorial.

La construcción de un dique capaz de soportar los embates del oleaje en Punta Langosteira exige una enorme cantidad de material de cantera. Más de treinta y dos millones de metros cúbicos de granito de distinta calidad han sido empleados, y solo la idónea situación de las dos canteras, en el límite de la zona de servicio del puerto, ha permitido que la obtención del material y su transporte haya sido económicamente viable. Además, los taludes excavados para la extracción del granito han dejado paredes de más de 100 metros de altura que protegerán el entorno de los efectos de la explotación del puerto.

### *La declaración de impacto, año 2001*

Sobre estos argumentos de ubicación del nuevo puerto, asegurar la sostenibilidad de la ejecución de sus obras y de la explotación de sus actividades fue la finalidad de su Declaración de Impacto Ambiental, instrumento mediante el cual el Ministerio de Medio Ambiente estableció la viabilidad del proyecto, condicionada a un plan de vigilancia que controlara distintos aspectos: los niveles sonoros en el perímetro del puerto y en las poblaciones de Suevos y Rañoibre, las vibraciones producidas por las voladuras en las canteras, el mantenimiento de la cubierta vegetal del entorno, las emisiones a la atmósfera procedentes de la planta de machaqueo, con medidas periódicas de las concentraciones de partículas en suspensión en los núcleos habitados próximos; la calidad del agua del mar, con medidas semanales del oxígeno disuelto, la salinidad, la turbidez y otros parámetros de carácter microbiológico; la evolución de la comunidad animal, como la del cormorán moñudo, cuyos



últimos avistamientos datan de octubre de 2011; la vegetal de los ecosistemas próximos, los fondos marinos y su evolución (batimetrías) en las playas cercanas, la adecuada gestión de los residuos generados, etcétera. El 14 de marzo de 2001 se publicó en el BOE la resolución de 23 de febrero de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se formula la declaración de impacto ambiental (DIA) sobre el proyecto Nuevas instalaciones portuarias en punta Langosteira, donde se consideraba que el proyecto es ambientalmente viable.

El Plan de Vigilancia Ambiental integró estas condiciones en una serie de medidas que aseguraban la protección del medio ambiente y de los recursos naturales de las zonas adyacentes a las obras que pudieran verse afectadas por la construcción y la posterior explotación de las nuevas infraestructuras portuarias. Desarrollaba un plan a medio y largo plazo en el que se establecían controles periódicos con el objeto de detectar las desviaciones de los efectos previstos en las medidas protectoras o detectar impactos no previstos y, en consecuencia, redimensionar estas medidas o adoptar otras nuevas, garantizando el cumplimiento de las indicaciones y medidas contenidas en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

#### *La ejecución de la obra, 2005-2011*

El Plan de Vigilancia Ambiental contemplaba:

- Control atmosférico y estudio de predicción de la inmisión de contaminantes: se instalaron captadores de alto volumen para determinar diariamente el nivel de partículas en suspensión en los siguientes puntos: Rañobre, puerto de Suevos, Arteixo y Barrañán.
- Control del nivel sonoro: se realizó una campaña mensual de medición del nivel sonoro, tanto en horario diurno como nocturno, en tres puntos del entorno de las obras: puerto de Suevos, Suevos y Rañobre.

- Control de vibraciones: se realizó un control sismográfico cada vez que se realice una voladura en las dos canteras de la obra.
- Seguimiento de la evolución de los ecosistemas próximos: control semanal de la avifauna del entorno, en especial en el embalse de Rosadoiro. Se hizo un seguimiento específico del cormorán moñudo, comprobando sus movimientos dentro del territorio para no interferir en su ciclo biológico.

- Seguimiento calidad del agua: durante la fase de construcción y una vez acabada la obra, se han llevado a cabo controles de calidad de las aguas en las proximidades de la toma de la central térmica de Sabón, en los caladeros Mar do Monte y Mar do Faro y en las proximidades de la playa Barrañán. También se han efectuado medidas en superficie, a media profundidad y en el fondo.

- Seguimiento de la biocenosis: se realizaron semestralmente toma de muestras y fotografías, al menos en tres transectos perpendiculares a la línea de costa equidistantes entre sí un kilómetro, con origen en el muelle y fin en la cota batimétrica -50, para determinar la evolución de los doblamientos bentónicos del interior y en el entorno de las instalaciones portuarias.

- Seguimiento y control arqueológico: antes del comienzo de las obras se redactó un proyecto de actuación arqueológica en el que se incluyó un inventario de los yacimientos existentes en la zona y se detallaron los trabajos a realizar. En el 2005 se excavó el castro de Cociñadoiro. Desde el inicio de las obras se han realizado los trabajos de seguimiento de los movimientos de tierra y revisión periódica de los elementos patrimoniales afectados, incluso fuera de la actuación (Castros de Rañobre y Suevos).

Su singularidad se deriva de la importancia que la metalurgia tuvo en el poblado, donde ocupaba una buena parte de la superficie (dos tercios), lo que permite interpretar el poblado como una importante factoría fortificada de producción de dos tipos de bronce con dos utilidades diferentes: una, dedicada a objetos de uso funcional, con registro de bronce al estaño; y otra, a un uso ornamental o votivo-religioso, con registro de bronce ternario de cobre, estaño y plomo. La excavación integral del yacimiento, autorizada por la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales del Ministerio de Cultura, se efectuó siguiendo la secuencia de ocupación del mismo y, una vez alcanzados todos los niveles arqueológicos, se procedió a desmontar las distintas estructuras, reservando una serie de ellas para su posterior reubicación en el futuro centro multiusos para la interpretación y salvaguarda de la herencia arqueológica recogida en el castro de Cociñadoiro y de la riqueza ambiental del entorno del puerto exterior. **ROP**

## RECONOCIMIENTO INTERNACIONAL

La ejecución de las obras de Punta Langosteira y su proyecto han sido objeto de un gran interés, tanto por la Comunidad científica y universitaria, como por la técnica dedicada a la obra marítimo-portuaria. Así, ha sido objeto de las siguientes publicaciones y presentaciones en Congresos nacionales e internacionales:

### Artículos publicados

-“The project of the new outer port of La Coruña”, PIANC Yearbook 2011, Edita PIANC, Permanent International Association of Navigation Congresses, ISBN 978-2-87223-194-2, 2012.

- “El puerto exterior de La Coruña, una visión transversal”, Edita Aguamarina Editoria, ISBN 978-84-614-1951-7, 2010

-“El puerto exterior de La Coruña”, Revista Cauce, Edita Colegio de Caminos, Canales y Puertos, Madrid 2008, ISSN 0212-761X

-“New port facilities at Punta Langosteira”, IAHR, 2007.

### Presentaciones en congresos internacionales

-II Congreso de Urbanismo, Ciudad y Territorio, “De la planificación estratégica a la gestión portuaria. El papel de las actuaciones de seguimiento y de la planificación de desarrollo (aplicación al puerto de La Coruña)”, ISBN978-84380-0448-7, Madrid, 2011

-II Congreso de Urbanismo, Ciudad y Territorio, “La necesidad de planificación de suelos industriales vinculados a la actividad portuaria. Aplicación al puerto de La Coruña”, ISBN 978-84380-0448-7, Madrid, 2011

- 32º Congreso Mundial del PIANC “Breakwater construction at Punta Langosteira, La Coruña, Spain”, Liverpool, 2010

-Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, “Actuaciones de integración puerto ciudad en el puerto de La Coruña”, ISBN978-84-380-0430-2. Málaga 2010.

-Internacional Conference on coast, marine structures and breakwaters, “Construction of a new port in Punta Langosteira, La Coruña, Spain”, ISBN978-0-7277-4130-1, Edimburgo, 2009

-I Congreso del Litoral, “La planificación portuaria en el entorno litoral. El caso del puerto de La Coruña”, Vigo 2008

-Internacional Conference on Coastal Engineering, “Construction of a new port in Punta Langosteira, La Coruña, Spain”, ISBN-13-978-981-4277-40-2, Hamburgo 2008

-Internacional Conference on Coastal Engineering, 2008, “Spatial Damage Distribution over a cube armoured roundhead”, ISBN-13-978-981-4277-40-2, Hamburgo 2008

-VII Congreso Español de Ingeniería del Transporte, “La accesibilidad al puerto exterior de La Coruña como factor de competitividad”, La Coruña 2008.

- I Congreso de Urbanismo, Ciudad y Territorio, “La planificación territorial en el entorno del nuevo puerto de La Coruña, La dársena de Punta Langosteira”, ISBN978-84-380-0385-05, Bilbao 2008.

-I Congreso de Urbanismo, Ciudad y Territorio, “La ordenación de los espacios portuarios de la dársena interior del puerto de La Coruña”, ISBN978-84-380-0385-05, Bilbao 2008.

-Coastal Structures Congress, 2007, “New formula for stability of cube armoured roundheads”, ISBN-13-978-981-4280-99-0, Venecia 2007.

-Coastal Structures Congress, 2007, “Breakwater for the new port of La Coruña at Punta Langosteira”, ISBN88-8940505-8, Venecia 2007.

-II Congreso Nacional de la Asociación Técnica de Puertos y Costas, “Procesos Constructivos en diques en talud a gran profundidad. El caso del dique de Punta Langosteira”, ISBN84-88975-62-7, Algeciras 2006

-31º Congreso Mundial del PIANC “On the choice of structure and layout of rubble mound breakwater heads”, Lisboa 2006.

-Coastal Structures, “Stability of roundheads armoured with cubes”, ISBN-978-7844-0733-2, Oregon 2003

-28th International Conference on Coastal Engineering, “The use of numerical modelling in the planning of physical model tests in a multidirectional wave basin”, ISBN981-238-986-5, Cardiff 2002.

-28th International Conference on Coastal Engineering, “Model testing and reliability evaluation of the new deepwater breakwater at La Coruña, Spain”, ISBN981-238-985-7, Cardiff 2002.

-Waves 2001, “Wave transformation over a soil: experimental results and comparison with numerical model”, California 2001.

-VI Jornadas Españolas de Ingeniería de Puertos y Costas, “Nuevas instalaciones portuarias en Punta Langosteira II”, Palma de Mallorca, 2001

-V Jornadas Españolas de Ingeniería de Puertos y Costas, “Nuevas instalaciones portuarias en Punta Langosteira”, ISBN84-7721-953-2, La Coruña, 1.999.

### Visitas

Las obras han sido visitadas por más de 2.000 profesionales de distintas Organizaciones y Compañías nacionales e internacionales, en más de 80 visitas, en los 5 años de construcción



## Acta del Jurado del Premio Acueducto de Segovia

Por sexta edición, el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos concedió el Premio Acueducto de Segovia. El objetivo fundamental de este Premio es destacar públicamente la importancia que las consideraciones ambientales tienen sobre el proyecto, la ejecución y la explotación de las obras públicas.

El pasado 28 de enero se reunió el Jurado encargado de otorgar el Premio Acueducto de Segovia, en su sexta edición, organizado por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Este Jurado estaba formado por:

- Pedro Arahuetes, alcalde de Segovia.
- Liana Ardiles, directora general del Agua.
- Andrés Ayala, presidente de la comisión Nacional de Infraestructuras y Transportes del Partido Popular.
- Juan Guillamón, vocal de la Junta de Gobierno del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Santiago Hernández, ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
- José Manuel Loureda, vicepresidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Javier Rui-Wamba, presidente de la Fundación Esteyco.
- Juan Antonio Santamera, presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Íñigo de la Serna, presidente de la FEMP y alcalde de Santander.
- Jorge Urrecho, director general de Carreteras, en representación de Manuel Niño, secretario general de Infraestructuras.



Foto de los premiados



Miembros del Jurado

Actuó como secretario José Javier Díez Roncero, secretario general del Colegio de Ingenieros de Caminos.

En dicha reunión se acordó por unanimidad, reconociendo la calidad de todas las obras presentadas, conceder el Premio Acueducto de Segovia a la obra 'Autovía del Sur A-4. Tramo: Venta de Cárdenas-Santa Elena', promovida por el Ministerio de Fomento, y una mención de honor a la obra 'Variante Sur del Área Metropolitana de Bilbao', de la Diputación Foral de Bizkaia.

De esta manera, el Premio Acueducto de Segovia 2013 se otorgó a una obra, construida por FCC que proporciona una solución definitiva a la principal vía de comunicación entre Castilla-La Mancha y Andalucía. El tramo de autopista, de tres carriles en cada sentido, tiene once viaductos y cinco nuevos túneles, con "brillante diseño y unos procedimientos constructivos avanzados", según se recoge en el acta del Jurado.



**Pedro Arahuetes, alcalde de Segovia, entrega el Premio Acueducto de Segovia de este año a Jorge Urrecho, director general de Carreteras, en nombre de los promotores de la autovía A-4, tramo Venta de Cárdenas-Santa Elena**



**Enrique Rodríguez Álvarez, director del proyecto, recoge el Premio en nombre de los proyectistas: Tyspa (proyecto inicial), Acciona Ingeniería (proyecto modificado) y otros**



**Juan A. Santamera, presidente del Colegio, entrega el Premio Acueducto de Segovia a Fernando Moreno, presidente de FCC Construcción, en nombre de los constructores**



**Mikel Iriondo, director general de Infraestructuras Viarias de la Diputación Foral de Bizkaia, recoge la Mención de Honor a la variante sur del área metropolitana Bilbao en nombre de los promotores Interbiak**



**José Alberto Fuldain Rodríguez, responsable del Área Técnica de IDOM, recoge la Mención de Honor en nombre de los proyectistas de manos de Manuel Niño, secretario general de Infraestructuras**



**Humberto Perea Añibarro, Gerente de Excavaciones Cantábricas, recoge la Mención de Honor en nombre de los constructores de manos de José Manuel Loureda, vicepresidente del Colegio**

Esta realización, consensuada con el Parque Natural de Despeñaperros, salva uno de los grandes escollos viales de nuestra compleja orografía. Más de la mitad del nuevo trazado, con las dos calzadas unidas, corresponde a sección viaducto o túnel para facilitar la permeabilidad faunística y aumentar las zonas de paso y en el que se han previsto una gran cantidad de medidas destinadas a la reducción y corrección del impacto ambiental.

En cuanto a la mención de honor, el Jurado consideró que la puesta en servicio de la Fase I de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao ha materializado una alternativa viaria funcional, segura y sostenible al tramo más congestionado de la auto-

pista A-8, entre el enlace del Puerto de Bilbao a la autopista A-68. Como se recoge en el acta, “un magnífico equipo multidisciplinar, con más de 120 ingenieros de Caminos, ha conseguido realizar una obra de gran magnitud, con más de 15 kilómetros de desarrollo mayoritariamente en túnel, plenamente integrada en los espacios naturales, que atraviesa manteniendo su valor ecológico y paisajístico. Ello ha sido posible gracias al alto grado de desarrollo tecnológico de los proyectos y de los procedimientos constructivos”.

La entrega de estos galardones se realizó el pasado 18 de febrero en la sede del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. **ROP**



CUANDO LOS TÚNELES ESTÁN  
IMPERMEABILIZADOS DE FORMA  
PERMANENTE:  
THAT'S BUILDING TRUST.



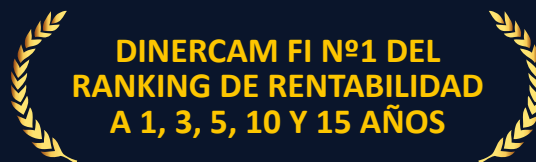




**Los Fondos de Inversión Foncam FI y Dinercam FI de nuevo en lo más alto gracias a la confianza y apoyo de nuestros clientes que siempre han mostrado.**



Foncam FI (Nº REG. CNMV 659), el Fondo de Renta Fija de Gestifonsa más galardonado, recibe 5 estrellas de Morningstar, la categoría más alta que concede la firma de calificación y que sólo 7 Fondos españoles más han recibido este curso 2013. Morningstar es un proveedor líder de análisis independiente para la inversión, una fuente reconocida de información exhaustiva a través de una amplia gama de disciplinas de inversión que opera en 27 países.



Dinercam FI (Nº REG. CNMV 3449), el Fondo monetario de Gestifonsa, se encuentra en el número 1 del ranking de rentabilidad a 1, 3, 5, 10 y 15 años, según Informe de Inverco primer semestre de 2013.

Disclaimer: IMPORTANTE: para invertir en estos productos es necesario tener conocimientos y experiencia en los Mercados conforme a la Normativa MiFID. Existe riesgo de pérdida de capital invertido. Rentabilidades pasadas no aseguran rentabilidades futuras. Las cifras y datos contenidos en este anuncio no constituyen recomendación de compra o venta de una inversión y tienen estricto contenido publicitario. Los Fondos de Inversión disponen de un folleto informativo y documento con los datos fundamentales para el inversor (DFI) que pueden consultarse en las oficinas de GESTIFONSA SGIC, S.A.U., Nº Registro Administrativo CNMV-123, C/ Almagro 8 planta 5ª, 28010 Madrid, en la página web de la Entidad ([www.gestifonsa.es](http://www.gestifonsa.es)) y en la página web de la Comisión Nacional del Mercado de Valores ([www.cnmv.es](http://www.cnmv.es)). La Entidad Depositaria de los Fondos de Inversión es Banco Caminos S.A., Entidad de Crédito registrada en el Banco de España con el código de Entidad 0234.