

Revista del Ministerio de

Fomento

Julio-Agosto 2013 • N° 630 • 6 €



VIADUCTOS SINGULARES DEL SIGLO XXI (CARRETERAS)



LAS CARRETERAS HECHAS
CON BETUNES **ELASTER** AÚN ESTARÁN AHÍ
CUANDO YA NO SEAN NECESARIAS.



PROAS PRESENTA **ELASTER**, SU NUEVA GAMA DE
BETUNES MODIFICADOS CON POLÍMERO.

Tecnología punta aplicada al Betón para que tus carreteras
sean más seguras, ecológicas y longevas.

www.proas.es

PROAS

Innovando para ti

Fecunda madurez



Pocas obras como los viaductos ponen de relieve el alto grado de madurez alcanzado por la ingeniería española en este inicio de siglo. Si el sentido primero de estas construcciones es dar continuidad al camino allí donde los accidentes de la orografía o de la física lo hacen inviable, la diversidad y originalidad de las soluciones técnicas y formales aplicadas por nuestros ingenieros —o en este caso, más exactamente pontífices—, exhibe tal plenitud que se puede afirmar, sin miedo a incurrir en exageraciones, que estos tres últimos lustros han sido uno de los periodos más fértiles tanto en cantidad como en calidad de la obra ya realizada o todavía en curso.

Gracias a esa madurez se han resuelto en estos años algunos de los grandes nudos gordianos que el relieve oponía secularmente a la fluidez de las comunicaciones en suelo peninsular: Pedrafitas y Despeñaperros. Con los nuevos trazados para estos pasos cruciales, abiertos en 2002 y 2012 respectivamente, nuestra red de carreteras de gran capacidad ha entrado, esta vez sí, en una nueva etapa de modernidad sin que el tránsito por ellos comporte apenas renuncia a las velocidades máximas permitidas en cualquier otro tramo. Concebidas como una gran sucesión de viaductos tendidos entre túneles o trincheras, estas nuevas variantes aseguran a la vez unos ahorros de tiempo y consumos de combustible que compensan con creces las inversiones en ellas realizadas.

Ese buen saber hacer, contrastado internacionalmente, que comporta no solo dominio de las técnicas constructivas sino que integra también otros muchos conocimientos —desde geológicos y de mecánica de suelos, de estructuras y materiales, del paisaje, economía de costes, etc.—, ha permitido asimismo sal-

var otros obstáculos orográficos en cadena, cuya travesía hace apenas dos décadas se antojaba un reto inalcanzable. Así se ha podido avanzar, y en algunos casos casi completar, otros corredores viarios de gran valor estratégico pero enorme exigencia técnica, como los que unen la periferia peninsular por sendos bordes litorales —cantábrico y mediterráneo—, además del occidental por la autovía de La Plata, el eje pirenaico o el enlace de Cantabria y la meseta.

Algunos de los más emblemáticos viaductos emprendidos en estos últimos años han abierto también nuevas vías de salida y entrada en nuestras ciudades. Y gracias a sus valores prácticos y estéticos se han constituido en reconocidos iconos urbanos, formas que amplían los rasgos personales de la ciudad al tiempo que la conectan con otros contornos próximos pero a los que antes la interposición de un simple cauce hacía lejanos.

En este monográfico hemos escogido unas cuantas de esas realizaciones acometidas en nuestro país en estos últimos trece años. No son todas y quizá falten también algunas de entre las más destacadas, pero nuestra intención no ha sido la de añadir o restar méritos a ninguna sino que la selección aquí expuesta contribuya sin excepciones al aprecio de un legado cuyo valor seguirá creciendo en el tiempo. «Levantad puentes antes que muros», pedía a los hombres el poeta Walt Whitman, a quien la contemplación del puente de Brooklyn se antojaba también la mejor medicina para el alma. Si no tan cargado de propiedades curativas, que el tránsito por los viaductos de este monográfico no esté reñido para el lector con el disfrute del largo puente veraniego.

ANTONIO RECUERO

Director de la Revista: Antonio Recuero

Edición: Javier R. Ventosa. **Maquetación:** Aurelio García. **Secretaría de redacción:** Ana Herráiz. **Fotografía:** José Caballero. **Archivo fotográfico:** Vera Nosti. **Portada:** DCE Extremadura, DCE Asturias y MC2. **Elaboración página web:** www.fomento.gob.es/publicaciones. Concepción Tejedor.

Suscripciones: 91 597 72 61 (Esmeralda Rojo Mateos)

Colaboran en este número: Jaime Arruz, M^a del Carmen Heredia Campos, Pepa Martín, Beatriz Rodríguez López, Begoña Olabarrieta y Julia Sola Landero.

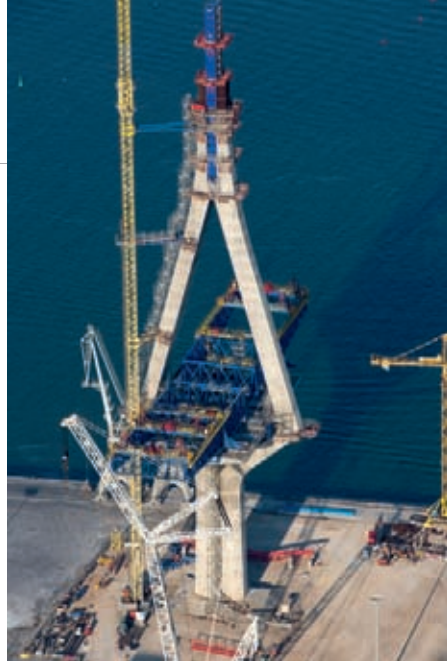
Comité de redacción: **Presidencia:** Mario Garcés Sanagustín (*Subsecretario de Fomento*). **Vicepresidencia:** Eugenio López Álvarez (*Secretario General Técnico*). **Vocales:** María García Capa (*Directora del Gabinete de Prensa*), Pilar Garrido Sánchez (*Directora del Gabinete de la Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda*), Eloísa Contín Trillo-Figueroa (*Jefa del Gabinete del Subsecretario*), Juan Antonio López Aragón (*Director del Gabinete Técnico de la Secretaría General de Infraestructuras*), M^a José Rallo del Olmo (*Jefa del Gabinete Técnico de la Secretaría General de Transportes*), Pedro Guillén Marina (*Director del Centro de Publicaciones*) y Antonio Recuero (*Director de la Revista*).

Dirección: Nuevos Ministerios. Paseo de la Castellana, 67. 28071 Madrid. Teléf.: 915 978 084. Fax: 915 978 470. Redacción: Teléf.: 915 977 264 / 65. **E-mail:** cpubic@fomento.es
Impresión y publicidad: Comunicación y Diseño. C/ O'Donnell, 18, 5^a H. 28009 Madrid. Teléf.: 91 432 43 18. Fax 91 432 43 19. **E-mail:** revistafomento@cydiseno.com www.cydiseno.com
Dep. Legal: M-666-1958. ISSN: 1577-4589. NIP0: 161-13-005-1

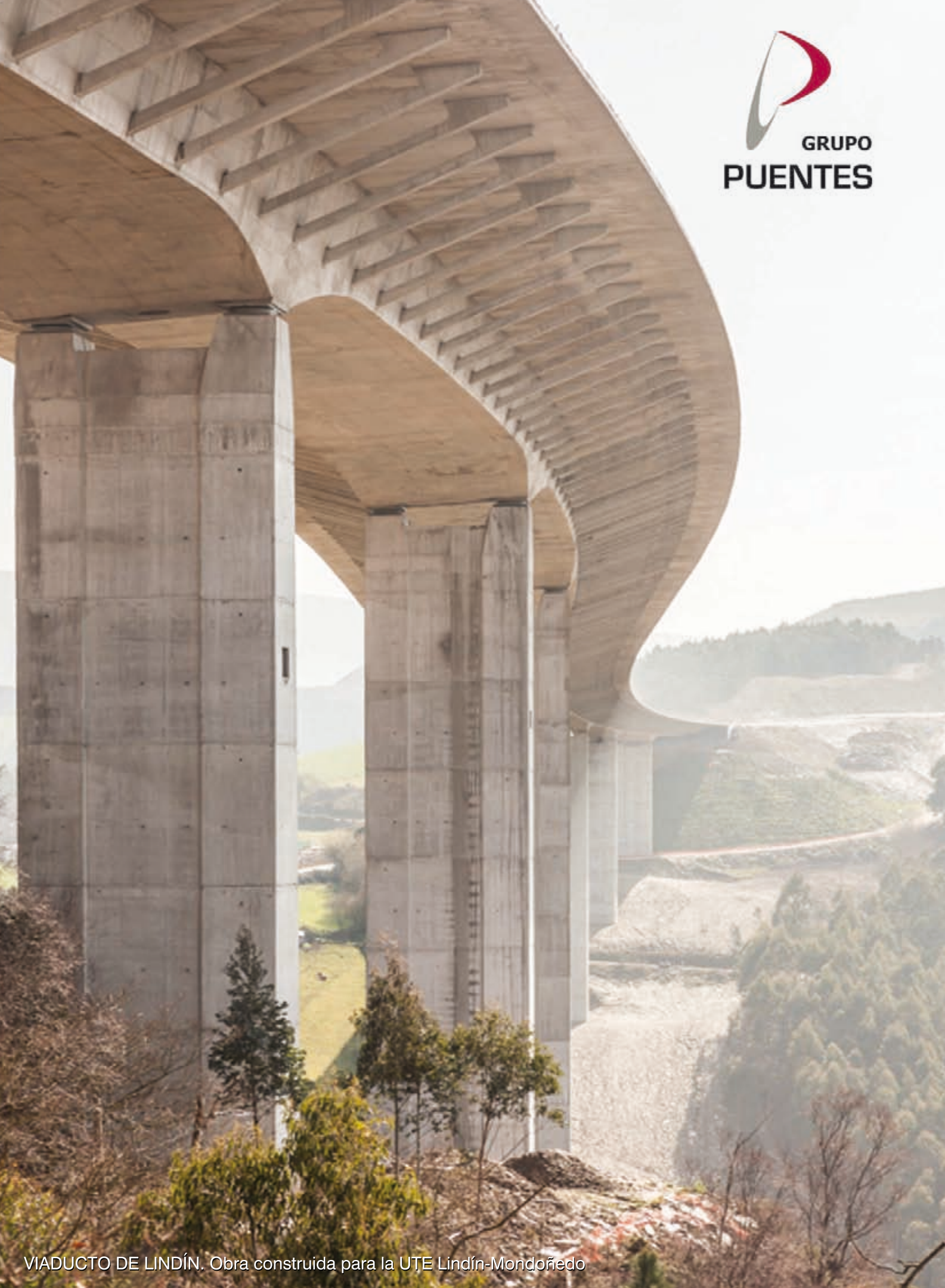
Edita:
Centro de Publicaciones.
Secretaría General Técnica
MINISTERIO DE FOMENTO



Esta publicación no se hace necesariamente solidaria con las opiniones expresadas en las colaboraciones firmadas
Esta revista se imprime en papel con un 60% de fibra reciclada postconsumo y un 40% de fibras vírgenes FSC.



- 4** **Puente basculante Porta d'Europa**
Récord en su tipología.
- 12** **Viaductos de Pedrafita**
La puerta hacia Galicia
- 22** **Viaductos de Cieza y Pedredo**
Innovación de altura.
- 28** **Puente de Arcos de Alconétar**
Haciendo historia.
- 36** **Viaducto del Nalón**
Memoria del río.
- 42** **Viaducto de Montabliz**
Grandiosa singularidad.
- 48** **Ampliación del puente de los Santos**
Sección duplicada.
- 54** **Puente del Tercer Milenio**
Escultura sobre el Ebro.
- 62** **Viaducto de Navia**
Arcos sobre la ría.
- 70** **Puente de Ibn Firnás**
Con arte y técnica.
- 76** **Puente atirantado de Talavera de la Reina**
Esbelta atalaya.
- 82** **Viaductos de Despeñaperros**
Paso histórico.
- 92** **Viaducto de la Concha de Artedo**
Grandes magnitudes.
- 100** **Viaducto de Tenoya**
Gigante grancanario.
- 110** **Puente de la Constitución de 1812**
El coloso se extiende.
- 120** **Bibliografía**





PUENTE BASCULANTE **PORTA D'EUROPA**

RÉCORD EN SU TIPOLOGÍA

► El puente basculante del puerto de Barcelona se construyó para conectar el muelle de Poniente con otro de nueva planta.

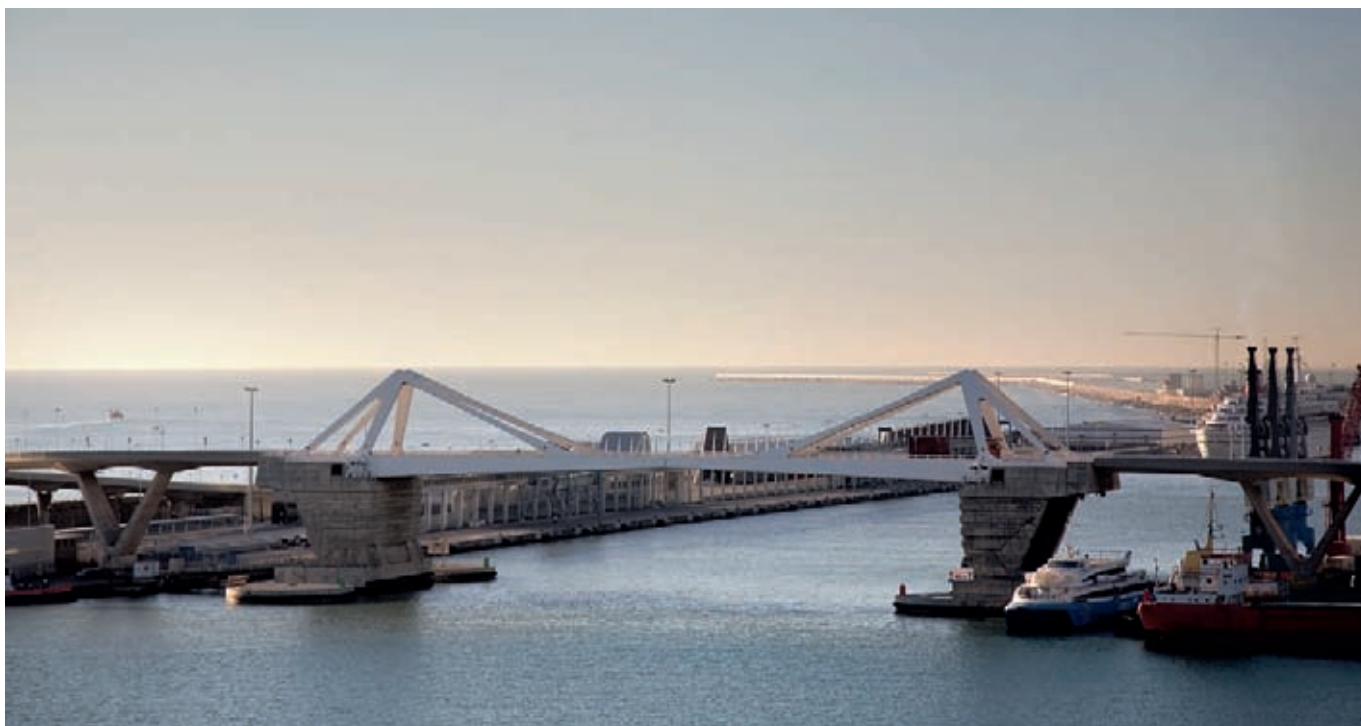


En junio de 2000, después de un año de trabajos, se inauguró el nuevo puente móvil del puerto del Barcelona, una obra de ingeniería novedosa por su estructura y cuyo diseño respondía a la necesidad de integrar los conceptos de funcionalidad y estética. El Porta d'Europa, como se le bautizó, nació para mejorar la competitividad de las dársenas barcelonesas y además pasó a ostentar un récord singular: es el mayor de su tipología en el mundo.

BEGOÑA OLABARRIETA
FOTOS: AUTORIDAD PORTUARIA DE BARCELONA



Al finales de los años 90 del pasado siglo, el puerto de Barcelona, que llevaba ya algunas décadas modernizando sus instalaciones, asistía a un importante crecimiento de sus tráfico, en algunos casos incluso por encima de las previsiones más optimistas.



Se hacía necesaria una revisión del Plan Director en vigor en aquel momento para conseguir, coincidiendo con la entrada del nuevo milenio, situar a las dársenas barcelonesas en el eje de los principales corredores de transporte de Europa.

Había que incrementar la productividad de las terminales, ampliar la oferta logística, dar paso a la ini-

ciativa privada, y reordenar los usos mejorando el tráfico de pesqueros, cruceros turísticos y embarcaciones deportivas, facilitando además la renovación de las aguas interiores al tiempo que se mejoraban las condiciones medioambientales.

Para ello se proyectó la construcción de una nueva bocana en el dique de abrigo que, sin embargo,

► *Imágenes que muestran el puente basculante con las hojas cerradas (arriba) y abiertas (página opuesta) para dar paso a una embarcación.*

Sistema atirantado

Cada una de las dos hojas que conforma el Porta d'Europa es una estructura atirantada con seis secciones cajón unidas en un nudo situado a 14,8 metros de altura sobre la rasante, con un sistema de atirantamiento externo que permite suspender cada nervio longitudinal de borde en sendos puntos situados a unos 12 metros de la sección del centro de luz.

Los tirantes se convierten así en uno de los elementos más característicos de toda la estructura. Cada borde lateral del puente dispone de uno a cada lado, lo que transforma el simple dintel continuo en un conjunto atirantado.

Además, nacen de sistemas de suspensión compuestos por un tornapuntas comprimido (con su eje orientado hacia la rótula de giro), mientras que otro tirante trasero de retención enlaza el nudo de origen del mismo con el borde dorsal del vano de contrapeso, una tipología que permite una importante reducción de los esfuerzos de flexión longitudinal y, consecuentemente, una disminución del canto.

Construidos en acero estructural, estos tirantes son capaces de trabajar como piezas comprimidas cuando sopla viento con el puente abierto, de forma que alivian sustancialmente las flexiones en los nervios principales del tablero.

El sistema de tirantes y tornapuntas, al igual que los nervios longitudinales de borde, está dispuesto en planos inclinados hacia el interior del puente, componiendo un pórtico transversal con alzado trapezoidal.

El ensamblaje de las piezas metálicas que componen cada una de las hojas del tramo móvil se realizó en una zona cercana a la obra, y para su posicionamiento sobre las pilas de dársena fue necesaria la intervención de una gran cabria, de las mayores del mundo, capaz de mover con la precisión suficiente las casi 2.000 toneladas de cada hoja. Una maniobra que se consiguió realizar en tan solo dos días.



El puente basculante se abre por la mitad en el plano vertical para permitir el paso de embarcaciones con una luz libre de 100 metros entre las dos pilas

quedaba aislada del resto de las instalaciones portuarias, por lo que fue imprescindible la construcción de un puente móvil que uniera el muelle de Poniente y el que quedaría adosado.

Nació así el puente Porta d'Europa, cuyo diseño fue adjudicado a Juan José Arenas, con la asistencia técnica de Walter Kaufmann, y que, después de un año de trabajos, fue finalmente inaugurado en junio de 2000.

► Integración

Para Juan José Arenas, curtido en la construcción de puentes, el encargo supuso un nuevo desafío. De su estudio de ingeniería habían salido otros como el de la Barqueta, realizado unos años antes para la Expo de Sevilla, o el de la Regenta en Asturias, pero este era especial. Respondía, según comentó poco después de su construcción el propio arquitecto, «a las exigencias de la sociedad moderna de integrar los conceptos de funcionalidad y estética en el diseño», y significó un reto por su novedosa estructura.

Algo en lo que coincidiría el propio Kaufmann ante el alumnado de la Universidad de Cantabria en un ciclo de conferencias sobre ingeniería civil: el Porta d'Europa «aseguró en esa ocasión» no es «una obra puramente ingenieril, sino que se ha cuidado mucho el diseño para integrarlo en el entorno y, además, de una forma original».

Básicamente, el puente se compone de una es-





estructura basculante en acero —a la que se llega a través de dos viaductos de acceso— formada por dos hojas, con una rasante a la cota +22,50 m, que se apoya sobre dos pilas ubicadas en la dársena y que se abre por la mitad en el plano vertical para permitir el paso de embarcaciones con una luz libre de canal de navegación de 100 metros entre pilas.

Además, el tablero es de sección en PI, con ner-

vios longitudinales de sección en C en ambos bordes, con un alma-paramento exterior liso coincidente con el plano externo del tirante y losa ortótropa descansando sobre ellos, disponiendo también de diafragmas transversales cada 4,2 metros.

Pero aunque el Porta d'Europa pueda parecer un ejemplo típico de estas construcciones, los 109 metros que mide la luz de su tramo móvil, es decir, la distan-

► *Imagen del conjunto del puente, con el tramo basculante en la parte central y los viaductos de acceso en los laterales.*

Complejidad de movimiento

Todos los elementos móviles (cilindros y enclavamientos) del puente basculante son de funcionamiento hidráulico, con una central compuesta por cuatro bombas en cada una de las hojas que producen la presión del sistema.

En posición cerrada, cada hoja queda apoyada en tres ejes: el intermedio, formado por las rótulas de giro; el dorsal de enclavamiento en la parte trasera de cada pila, y el frontal, que enclava una contra la otra garantizando continuidad en la rodadura.

Las rótulas que permiten el giro del puente se instalan sobre rebordes de la pila de dársena, a una distancia de 18,7 metros entre ellas, funcionando como articuladas sobre rodamientos, lo que garantiza que la reacción vertical, equilibrando el peso y las cargas del tablero móvil, se sitúe en ese eje.

El movimiento de apertura y cierre se realiza mediante dos cilindros por hoja, con una longitud aproximada de 8 metros en posición cerrada y 14 metros en abierta, y con una capacidad de carga de 484 toneladas cada uno.

Por su parte, el contrapeso, que se encuentra situado en el tramo dorsal de la hoja basculante, se realizó en hormigón y está conectado a unas chapas de acero que limitan su volumen. Este elemento se definió de forma que la resultante de las fuerzas de peso propio y superestructura de la hoja del semitablero coincidieran con el centro de la rótula.

Todo ello supone que a lo largo del proceso de giro de la hoja basculante la reacción sigue pasando por el eje de rótulas, de modo que los hidráulicos sólo tienen que hacer frente a las fuerzas de viento y a las de rozamiento interno.

En posición abierta, cada hoja del puente pasa a estar apoyada únicamente en dos ejes, el de las rótulas de giro y el dorsal. En este caso, los mismos cerrojos que han facilitado el enclavamiento dorsal con el puente en posición cerrada permiten, introduciéndose en unos elementos complementarios ubicados en el fondo de la pila, enclavar el gran voladizo en que se convierte el semitablero.



cia entre las rótulas de giro de cada una de sus hojas, le permiten ostentar el récord del mundo en su tipología.

Además, la singularidad de su tablero y de las pilas principales da a este conjunto un aire casi escultórico, armónico y cargado de fuerza visual para una obra de una longitud total de 1.150 metros.

► El puente basculante, en servicio desde el año 2000, integra en su diseño los conceptos de funcionalidad y estética.

► Diseño abierto

Así, estética y funcionalidad se conjugan en todos elementos constructivos, como por ejemplo, en el tablero, que se concibe atirantado, con tirantes que ayudan a soportar las fuerzas y colaboran en la re-

sistencia de los esfuerzos debidos al viento cuando el puente está abierto.

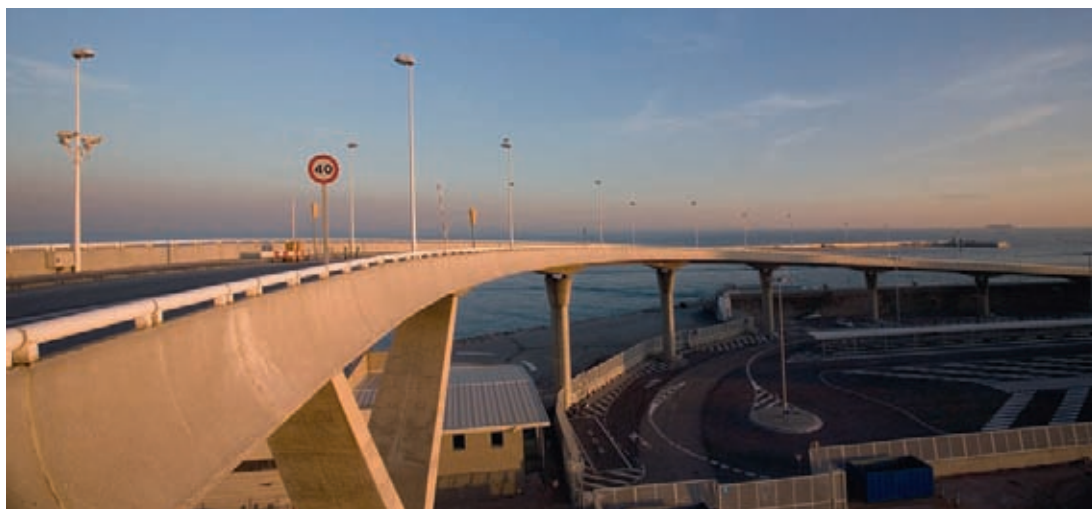
También las pilas contribuyen a ese sentido estético, cimentadas sobre pilotes y constituidas por cajas abiertas de hormigón, confiriéndoles dinamismo. Todo con un diseño abierto que deja ver la rotación de las hojas móviles, incluyendo los volúmenes de contrapeso, de tal modo que quien lo observa ve claramente cómo la estructura gira cuando se abre y cierra el puente.

Igualmente se aprecia una fuerte inclinación lateral de los planos de suspensión, tirantes y nervios de borde del tablero, que dan una sensación de integración visual al resolver con claridad su enlace, al tiempo que incrementa la rigidez transversal de la estructura. Además, contribuye a dar más luminosidad a las superficies externas de acero.

Otra característica que determina la complejidad de la estructura del Porta d'Europa es la unión de la técnica habitual de la obra civil, con estructura de hormigón en pilas y metálica en tablero, con la de los mecanismos, en los que las tolerancias de construcción son muy estrictas.

Por su parte, los dos viaductos de acceso elevados 22 metros sobre el nivel del mar, que configuran otro de sus elementos singulares, se realizaron como tableros continuos de hormigón preten-





► Vista lateral de uno de los dos viaductos de acceso (izquierda) y de la calzada inclinada hasta alcanzar el tramo basculante (debajo).

sado, sobre soportes sencillos y esbeltos, dando una sensación visual en la que colaboran las pilas con forma de V mayúscula que permiten la transición hacia el puente móvil, ayudando al tablero a dar el salto a las estructuras de anclaje principales situadas en el agua.

► Paso de embarcaciones

En su aspecto funcional se pensó para dar paso a embarcaciones de gran envergadura y para que las más pequeñas pudieran traspasarlo sin problema, ya que su altura hace posible que pesqueros, barcos recreativos y remolcadores de menos de 19 metros lo atraviesen sin necesidad de abrir el tramo móvil.

Para naves mayores las hojas del puente deben abrirse, una operación que se realiza desde un centro de control ubicado en el interior de recinto portuario. Aproximadamente el tiempo empleado en cada una de las maniobras del puente (apertura o cierre), en condiciones normales, es de tres minutos, sumando los tiempos de desenclavamiento, del propio movimiento y del enclavamiento para retornar a su posición definitiva.

En superficie esta operación supone una espera media de 20 minutos para los vehículos terrestres que atraviesan el puente si coinciden con el paso de barcos de gran envergadura. Por otro lado, para facilitar la circulación de los coches, se dispone de una sección transversal tipo de 12 metros de anchura compuesta por dos carriles de 3,5 metros cada uno, a los que se suman arcenes de 1 metro y aceras de 1,5 metros.

Toda una conjunción de estética, funcionalidad y complejidad que hacen del puente Porta d'Europa uno de los elementos arquitectónicos que mayor expectación y curiosidad suscitan en el puerto de Barcelona. ◀



17º CONGRESO MUNDIAL DE LA IRF

Líder del sector viario internacional en 2013

Sede: Arabia Saudita



La Asociación Española de la Carretera coordina la participación técnica y comercial española



- **Presentación de resúmenes hasta el 15 de abril**
- **Pabellón español de 400 m²**

**Riad, Arabia Saudita
9 - 13 de Noviembre de 2013**

**España, de nuevo referente mundial
en el ámbito de las carreteras**

Más información: 91 577 99 72 o mrodrigo@aecarretera.com





VIADUCTOS DE **PEDRAFITA**

Viajeros y peregrinos ya daban fe hace siglos de la dificultad de acceder a tierras gallegas atravesando los tramos de Pedrafita. Un largo tramo de 54 kilómetros de puertos de montaña y valles encajonados que hicieron necesaria la construcción de 41 nuevos viaductos en la autovía A-6 para conseguir acabar con el tradicional aislamiento por carretera y abrir una vía rápida a Galicia. Soluciones adaptadas a terrenos difíciles y flexibilidad fueron imprescindibles para conseguir un paso ágil y seguro, acorde con las necesidades de comunicación del siglo XXI.

LA PUERTA HACIA GALICIA



► Izquierda, viaductos de Navia y La Porteliña. Sobre estas líneas, viaductos de Samprón, Ruitelán y Herrerías.

BEGOÑA OLABARRIETA
FOTOS: DCE GALICIA



Seiscientos kilómetros separan la capital española de A Coruña. Un camino hacia el noroeste que durante años supuso un reto para los constructores de infraestructuras viarias debido a las dificultades orográficas que había que salvar para poder ofrecer una vía de comunicación rápida y con condiciones óptimas de seguridad.

Sierras, puertos de montaña, valles encajonados y kilómetros de obstáculos que llevaron durante décadas a hablar del «tradicional aislamiento» de las tierras gallegas a las que se accedía por carreteras

complicadas y sinuosas que no permitían grandes velocidades.

Un camino que se complicaba según se avanzaba hacia el norte y que tenía en los altos de Pedrafita uno de sus mayores escollos. Tan solo 53,5 kilómetros que, sin embargo, supusieron un auténtico reto para ingenieros y constructores debido a lo extremo del terreno al que debían enfrentarse, cumpliendo además con los compromisos de respeto medioambiental en una zona única.

► Límite natural

El protagonista de este desafío es la frontera natural entre León y Galicia, atravesando los valles de Burbia y Valcarce, y pasando parajes protegidos co-

mo las sierras de Os Ancares o O Caurel, la reserva botánica gallega de mayor entidad.

Para salvarlo fue necesarios varios años de trabajos, una inversión de algo más de 542 M€ —una media de 10 millones por kilómetro— y la construcción de siete túneles dobles, 10 enlaces, cinco pasos superiores, 224 pasos inferiores y 42 viaductos. De ellos 41 fueron de nueva construcción, a los que se sumó otro aprovechado del antiguo trazado y remodelado, y todos alzándose sobre paisajes de inmensa belleza y facilitando el viaje hacia el noroeste atravesando

sierras, valles y gargantas, con puentes que superan los 1.000 metros de altura.

Esta característica les hizo merecedores del premio internacional Puente de Alcántara a la mejor obra pública en 2002, año en el que fueron seleccionados de entre los 22 proyectos presentados por España e Iberoamérica por, según expresa el fallo del jurado, «la importancia social que supone para la vertebración y desarrollo de Galicia», y por las soluciones geotécnicas aplicadas, respetando el entorno.

Una infraestructura totalmente alejada del esquema de una autovía convencional que acabó con el serpenteante camino hacia Galicia, y cuya ejecución se dividió en cinco tramos debido a la complejidad de la obra. En total, hizo falta construir una longitud de viaductos de 10.726 metros, diseñados para tres carriles por sentido, con alturas de pila de más de 100 metros, luces de hasta 140 metros, y con un ahorro en el tiempo de tránsito por esa zona de 20 minutos.

► Atravesando El Bierzo

El primero de los cinco tramos del trazado para salvar Pedrafita de camino a Galicia es el Villafranca del Bierzo-Ambasmestas. Con apenas 17 kilómetros, alberga 18 viaductos, uno sobre el río Burbia y el resto a lo largo del encajonamiento del río Valcarce, cuyo valle conllevó un especial cuidado del entorno medioambiental, y en el que se observa cla-



ramente la coexistencia del antiguo Camino de Santiago, la vieja carretera nacional N-VI y la nueva autovía A-6, tres diferentes soluciones viarias para atravesar esta zona adaptadas a sus respectivas épocas.

El primer viaducto en sentido Galicia es el que salva el río Burbia, construido con dos tableros de 160 metros de longitud, con sección cajón de canto constante y ejecutados con cimbra autolanzable. Su luz máxima es de 50 metros, con dos pilas intermedias



► Izquierda, viaducto de Las Lamas (arriba) y ejecución del viaducto de Saá (debajo). Sobre estas líneas, viaducto del Narón.

1.- Tramo Villafranca del Bierzo-Ambasmestas

Longitud	16,7 km.
Situación	Comarca de El Bierzo (León)
Radio mínimo en planta	600 m.
Pendiente máxima	5%
Kilómetros de viaductos 2,45 km (14,7% de la longitud total del tramo)	

Viaductos

Río Burbia	160 m.
Río Valcarce	62 m.
Casar	121 m.
Villafranca del Bierzo	321 m.
Contadoira	200 m.
Cachicobos	141 m.
Coballón	121 m.
Pereje	91 m.
Canal	110 m.
Trabadelo	233 m.
Touceiro	90 m.
Trevecela	90 m.
Puente Tréveda	90 m.
Teso Mundín	90 m.
San Fiz do Seo	200 m.
El Fuerte	161 m.
La Portela	70 m.
Herrería	105 m.

en forma de A invertida cimentadas sobre un único encepado fuera del cauce.

A esta estructura le siguen, tras atravesar los túneles de Villafranca del Bierzo, otros 17 viaductos para cuya construcción hubo que enfrentarse a un entorno difícil con grandes movimientos de tierras, volúmenes de excavación de 7,4 millones de m³, de rellenos de 3,1 millones de m³ y grandes desmontes, con una altura máxima de 160 metros en la sierra de la Escrita.

Ya en este primer tramo de las obras se encontraron numerosos desafíos técnicos: el rango de las alturas de sus viaductos, las complicaciones para mantener los tráficos de la N-VI al interferir con los tajos en ejecución, o la dura climatología de la zona, unidos a las propias dificultades geotécnicas. Solo en el desmonte de la sierra de la Escrita hubo que hacer más de 100 kilómetros de perforaciones, incluidos anclajes y drenes californianos de gran dificultad constructiva.

► Samprón y Las Lamas

El segundo tramo, Ambasmestas-Castro/Lamas, alberga en sus 8,5 kilómetros dos de los viaductos más emblemáticos del conjunto: Samprón y Las Lamas. Salvando la vertiente sureste del puerto de Pedrafita se construyeron seis nuevos viaductos, tres diseñados para dos calzadas y otros tres para calzada



2.- Tramo Ambasmestas-Castro/Lamas

Longitud	8,5 km.
Situación	Vertiente sureste del puerto de Piedrafita (León)
Radio mínimo en planta	600 m.
Pendiente máxima	5%
Kilómetros de viaductos	2,73 km (21% de la longitud total del tramo)

Viaductos

Ambasmestas	240 m.
Vega de Valcarce	340 m.
Samprón	560 m., calzada sentido A Coruña
Herrerías	330 m., calzada sentido Madrid
Las Lamas	335 m., calzada sentido A Coruña
Laballós	242 m.
Ampliación del viaducto ya existente de Ruitelán	422 m.
Ampliación del viaducto ya existente de Las Lamas	260 m.

única. Pero también se rehabilitaron dos ya existentes en la carretera N-VI –Ruitelán y Las Lamas–, remodelados para responder a las necesidades de la nueva autovía. En ambos casos, pues en los años 80 se construyeron mediante el sistema de voladizos sucesivos, se amplió la anchura de sus tableros para adaptarlos al ancho de la nueva vía.

El primero de los seis viaductos de nueva construcción en este tramo es el de Ambasmestas, formado por dos tableros de 240 y 225 metros respectivamente. A continuación se sitúa el viaducto de Vega de Valcarce, de 340 metros de longitud, que alberga las dos calzadas de la autovía en tableros unidos por sus voladizos interiores pero estructuralmente independientes. Una solución constructiva que permite evitar la duplicación del número de apoyos y que conlleva ventajas visuales.

El tercer viaducto del recorrido, el de Samprón, es uno de los más espectaculares de los que conforman el paso por Piedrafita. Salva con 560 metros de longitud la vaguada del arroyo Real, para lo que la

► *Viaductos de Samprón (con una altura máxima de pilas de 124 metros, es uno de los más altos de España) y Ruitelán. Página opuesta, viaductos de Saá (arriba) y Lindín (debajo).*



antigua carretera N-VI utilizaba el viaducto existente de Ruitelán. Dividido en cinco vanos (70+140+140+140+70), su altura de pila oscila entre 26,8 y 124 metros, cifra que lo acredita como el más alto de todos los viaductos que conforman la autovía del Noroeste. La máxima cota de la rasante sobre el cauce alcanza los 150 metros, un punto desde el que se pueden divisar paisajes que hasta entonces eran imposibles de apreciar.

La ejecución de las pilas se realizó mediante enfrados trepantes, mientras que el tablero se construyó mediante el sistema de voladizos sucesivos, con carro de avance y dovelas que se hormigonaron *in situ* —empezando por la pila más próxima al estribo del lado Madrid—, realizándolas de forma simétrica. Para los estribos, de tipo abierto, se utilizaron dos pantallas que soportan el dintel sobre el que apoya

el tablero. Su cimentación, así como la de las pilas, se realizó de forma directa mediante zapatas superficiales. Por último, se contuvo el derrame de tierra entre los fustes con un muro de escollera con hormigón.

En la calzada sentido Madrid se alza el viaducto de Herrerías, de 330 metros de longitud, que salva una zona de curvas entrelazadas que definían este tramo al paso de la carretera N-VI.

A partir de ahí la, autovía del Noroeste sigue su camino por la ladera izquierda del río Lamas, en un tramo geológicamente muy complejo de composición kárstica y paleozoica, con una pendiente natural del 93% y con presencia de «sumios», sumideros naturales de aguas de escorrentía. Este hecho, combinado con las fuertes lluvias caídas en la zona durante la construcción, hizo necesario ejecutar drenajes californianos, así como una red de pequeños pozos, y otros drenantes por gravedad, ya que la subida de los niveles freáticos produjo movimientos en la ladera.

Más adelante se alzan los viaductos de Las Lamas, el reaprovechado del trazado de la N-VI para la calzada en sentido Madrid, y otro nuevo construido

para una segunda en sentido A Coruña, muy similar al de Samprón en estructura y proceso constructivo, con una longitud de 335 metros.

Y antes de entrar en el tercer tramo del recorrido por Piedrafita, el viaducto Laballós se levanta en la zona de reunión de las calzadas, sin aprovechar aquí la antigua infraestructura, con una altura máxima de pila de 40 metros.

▶ Entrando en Lugo

El paso a la provincia de Lugo se produce en el tramo Castro/Lamas-Noceda, de 8,1 kilómetros de longitud, que incluye cuatro viaductos. Ya antes de acceder a tierras gallegas, en los primeros 800 metros del tramo se encuentran los dos primeros viaductos: Río Lamas (599 metros) y El Castro (585 metros).

3.- Tramo Castro/Lamas-Noceda

Longitud	8,1 km.
Situación	Extremo oeste del Bierzo a extremo sureste de Lugo
Radio mínimo en planta	650 m.
Pendiente máxima	5%
Kilómetros de viaductos	1,97 km (24,5% de la longitud total del tramo)

Viaductos

Río Lamas	599 m.
El Castro	585 m.
Ferreiras	385 m.
Espiñeiro	405 m.

Pero es con el cambio de comunidad autónoma donde se ubica otra de las obras singulares de Pedrafita, el viaducto de Ferreiras. Con 385 metros de longitud y un vano máximo de 75 metros, se compone de un tablero único de canto constante que acoge las dos calzadas. Su pila más alta mide 89 metros.

Este viaducto es el primer caso en España en el que la construcción del tablero se ejecutó mediante el sistema de avance en voladizos sucesivos con dovelas prefabricadas conjugadas para ambas calzadas. En una primera fase se construyó el cajón mediante la ejecución de dovelas, de 2,5 metros de longitud y 10,70 metros de anchura, utilizando para ello una cimbra diseñada *ad hoc* para este viaducto. Posteriormente se amplió el tablero con un voladizo ejecutado *in situ* con un carro de encofrado también fabricado especialmente para este fin. Otro elemento distintivo de este viaducto es el capitel, de gran complejidad ya que debía garantizar no solo el apoyo del tablero, sino también el de la cimbra en las distintas fases.

El último viaducto del tramo Castro/Lamas-Noceda es el de Espiñeiro, de características similares al anterior, con una altura máxima de pilas de 86 metros.

► El cuarto tramo

En el cuarto segmento, Noceda-Agüeira, de 12,9 kilómetros de longitud, se sitúan ocho viaductos construidos para albergar tres carriles por sentido de la autovía A-6.

El primero es el de Silvela, que cruza la primera de las vaguadas que discurren perpendiculares al valle del río Navia. Está compuesto por un tablero fungiforme de hormigón con sección aligerada de 410



metros de longitud, divididos en 12 vanos. La altura máxima de sus pilas es de 103 metros.

Para llegar hasta el pueblo de Noceda, un tramo sinuoso si seguimos la carretera N-VI, hubo que construir tres viaductos que adoptan el nombre de la localidad, mejorando el trazado y las condiciones de conducción y seguridad. Los dos primeros, Noceda III y II, tienen longitudes totales de 170 y 122 metros, respectivamente, con alturas máximas de pilas que no superan los 38 metros. El tercero, Noceda I, tiene un tablero de 350 m.

As Nogais es el siguiente viaducto construido en este tramo y resuelve el paso de la autovía por el valle en el que se encuentra el pueblo del mismo nombre. Con una longitud total de 375 metros y una altura máxima de pilas de 81 metros, está formado por un tablero mixto de hormigón y acero estructural construido mediante un sistema de empuje desde los estribos. La elección de este método respondió a la necesidad de reducir los plazos de ejecución de las estructuras y de los volúmenes a ejecutar *in situ* dadas las bajas temperaturas de los meses de noviembre y febrero, cuando tuvieron lugar las obras.

► Sobre estas líneas, viaductos de Noceda y Silvela. Página opuesta, viaducto de Torallo.



También los problemas del terreno, con múltiples fallas y buzamientos del sustrato rocoso, llevaron a elegir esta solución de modo que se redujeron las cargas sobre las cimentaciones.

A continuación, siempre en sentido A Coruña, se sitúan los viaductos de San Andrés y Torallo, de menor entidad, para finalizar con el que salva el valle del río Navia, una estructura de tipología y sistema constructivo similares al de As Nogais.

► La Porteliña y Narón

Es en el quinto y último tramo que discurre por la zona de Pedrafita, Agüeira-Cereixal, donde se encuentran dos de las construcciones más emblemáticas de la autovía del Noroeste. Aunque son poco más de 7 kilómetros de longitud, la importante dificultad orográfica hizo necesaria la construcción de hasta cinco viaductos.

Entre ellos destaca La Porteliña, dentro del término municipal de Becerreá, en la margen izquierda del río Navia, formado por dos estructuras paralelas de longitud desigual, de 150 metros de longitud para la calzada sentido Madrid y 350 metros en el contrario. Se levantó en una zona compuesta por calizas, cuarcitas y pizarras que registra, además, cierta actividad neotectónica debido a una falla que está activa. A esta circunstancia se suma la considerable altura de la ladera por donde discurre el río Navia, con una fuerte inclinación que alcanza los 40 grados en algunos tramos. Todo ello hizo muy compli-

cada la construcción, que tuvo sus percances, pero que dio como resultado un viaducto singular precisamente por lo que no es apreciable a simple vista: su cimentación.

Nació como solución a los problemas de estabilidad que aparecieron mientras se ejecutaba un terraplén a media ladera. Con la obra ya en marcha y cuando el relleno alcanzaba ya unos 20 metros de altura, se detectó una grieta en la explanada, al principio milimétrica pero que con el tiempo llegó a superar un

4.- Tramo Noceda-Agüeira

Longitud	12,9 km.
Situación	Lugo
Radio mínimo en planta	600 m.
Pendiente máxima	5%
Kilómetros de viaductos	2,25 km (17,4% de la longitud total del tramo)

Viaductos

Silvela	410 m.
Noceda III	122 m.
Noceda II	170 m.
Noceda I	300 m.
As Nogais	375 m.
San Andrés	250 m.
Torallo	262 m.
Navia	360 m.

5.- Tramo Agüeira-Cereixal

Longitud	7,2 km.
Situación	Lugo
Radio mínimo en planta	700 m.
Pendiente máxima	5%
Kilómetros de viaductos	1,92 km (26,8% de la longitud total del tramo)

Viaductos

La Porteliña	350 m.
Narón	448m.
Aira	317m.
Becerreá	518 m.
Saá	296 m.

metro de desnivel. Hubo que paralizar la construcción y realizar un nuevo estudio de la zona, que constató el deslizamiento del coluvión por el peso.

Se plantearon entonces serias dudas sobre el comportamiento futuro de la montaña, por lo que se decidió sustituir el terraplen por un viaducto, aunque había que buscar una solución en su cimentación para evitar los problemas originados por los deslizamientos. Eso se consiguió empotrando los apoyos en roca *in situ*. Además, debido a las grietas en la roca y para evitar la apertura de los estratos por vuelco y absorber posibles desplazamientos horizontales, se decide anclar las cimentaciones laterales a la ladera.

El segundo viaducto singular de este tramo es el del Narón, que debe su singularidad al falso arco apuntado, que le confiere un aire gótico. Consta de dos tableros, con una altura máxima de pilas de 88 metros, con 106 metros de diferencia de cotas entre el punto medio del tablero y el cauce del río.

La luz del único vano es de 47,5 metros y la distancia entre los apoyos centrales es de 95 metros, por lo que el pilar correspondiente apoya sobre el falso arco apuntado, evitando así la cimentación sobre el río. Pero aparte de ese aire gótico, el del Narón es un viaducto también singular porque, dada su ubicación dispone, de una gran cantidad de puntos de observación desde la carretera antigua y desde las poblaciones vecina.

Finalmente, los viaductos construidos sobre el río Aria y los de Becerreá y Saá, que cruzan las vaguadas del Pazo de Oselle, ponen el punto final a esta importante conjunto de grandes estructuras de hormigón, ejecutadas sobre un terreno difícil que exigió de la adopción de soluciones constructivas diferentes y de adaptación a los imprevistos que iban surgiendo en el camino hacia Galicia. ◀



► Viaducto de Becerreá y ejecución mediante grúa del viaducto de Saá.

Distintas soluciones

Los 41 nuevos viaductos que se construyeron en el trazado de la A-6 en Piedrafita ofrecieron distintas soluciones adaptadas a las necesidades de cada tramo, resultando una mezcla de técnicas constructivas:

- Dos se construyeron por el sistema de voladizos sucesivos
- Dos con dovelas prefabricadas conjugadas para calzada única
- Dos con tablero fungiforme de hormigón armado
- Dos de tablero mixto empujado, planta curva
- Uno de pila fuste único para dos tableros
- 22 construidos con elementos autoportantes tipo artesa
- Uno de dovelas prefabricadas para cada calzada
- Seis con tablero viga cajón, canto constante hormigonado *in situ*
- Dos con tablero viga cajón, canto variable hormigonado *in situ*
- Uno con tablero vigas tipo cantilver sección cajón

Always Inspiring

El grupo Trelleborg cuenta con una experiencia de más de 100 años desarrollando y fabricando soluciones en productos elastoméricos. Mediante su división Expandite lleva más de 50 años suministrando e instalando juntas de expansión en todo el mundo. La probada durabilidad del diseño Transflex unida a las formulaciones exclusivas de nuestro laboratorio de I+D+i, hacen que el sistema Transflex sea el referente mundial en juntas de expansión para puentes de carretera.

TRANSFLEX

www.trelleborg.com/transflex



VIADUCTOS DE **CIEZA Y PEDREDO**

INNOVACIÓN DE ALTURA



► Vista general del viaducto de Pedredo, de 930 metros de longitud, y detalle de la finalización del tablero del viaducto de Cieza.



Más del 50% del tramo Los Corrales de Buelna-Molledo de la autovía de la Meseta (A-67) se tuvo que ejecutar mediante túneles y viaductos por las grandes dificultades orográficas del terreno. Entre estos últimos sobresalen los viaductos de Cieza y Pedredo, dos infraestructuras imprescindibles para salvar los cauces de los ríos Cieza y Llares que aúnan espectacularidad e innovación.

JAIME ARRUZ

FOTOS: DCE CANTABRIA

Los viaductos de Cieza y Pedredo se encuentran situados en el tramo Los Corrales de Buelna-Molledo, un recorrido de 10,6 kilómetros que se inserta en el tramo Torrelavega-Aguilar de Campóo de la autovía de la Meseta o Cantabria-Meseta (A-67), una vía de gran capacidad convertida desde su apertura en la gran infraestructura de comunicación entre las ciudades de Palencia y Santander, sustituyendo las funciones que realizaba la carretera N-611.



► El viaducto de Pedredo está formado por 17 vanos. Derecha, detalle de la ejecución del viaducto de Cieza.



El viaducto de Cieza cruza el barranco que forma el río del mismo nombre, afluente del Besaya. A la hora de proyectar esta estructura se optó por un viaducto con tipología de arco para preservar el alto valor ecológico del valle del río Cieza y las laderas que lo rodean. Esta estructura salva las dificultades orográficas de la zona mediante dos tableros, ya que fue necesario separar ambas calzadas, una por sentido de circulación, debido a la proximidad de los túneles de Gedo. Fue el primer viaducto completamente prefabricado que se construyó en España.

El viaducto tiene tipología de doble arco, con de 220 metros de longitud, 142 metros de luz de arco y flecha de 32 metros. La altura máxima es de 85 metros sobre el cauce del río. La planta es de curvatura variable y tiene una pendiente uniforme.

El arco del viaducto es un cajón rectangular hueco de hormigón HA-40, con canto variable de hasta 2,60 metros. Para su construcción se utilizaron elementos prefabricados en forma de 'U', cerrando la sección posteriormente mediante una losa hormigonada.



El tablero es una viga cajón prefabricada de 1,20 metros de canto, construida por fases, entre secciones distantes del apoyo 1/10 de la luz de dos vanos consecutivos. Sobre las vigas se apoya una losa de hormigón de espesor variable -0,20 a 0,35 metros- sobre las almas del cajón. Hay 13 vanos de luces en el lado izquierdo (13, 17, 17 y 10x 18,6 metros) y otros 14 vanos en el lado derecho (13, 17, 17, 8 x 18,6, 17, 17 y 10 metros). El ancho de plataforma es de 11,7 metros.

Premios

El viaducto de Cieza fue distinguido en 2005 con dos importantes galardones en el campo de la ingeniería, el premio José de Azas, que otorga el Colegio de Ingenieros de Caminos de Cantabria, y el premio Proyectos de la Ingeniería Civil, de la Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia. Los jurados

de ambos galardones valoraron tanto su innovación al ser el primer viaducto totalmente prefabricado que se realizó en España como su bajo impacto ambiental y perfecta adaptación al medio natural, así como su ejecución en un tiempo muy corto, poco más de un año.



► Vista del viaducto de Cieza, que comunica con un túnel. Derecha, ejecución del viaducto de Pedredo mediante cimbra autoportante.

El tablero se apoya mediante neoprenos zunchados sobre pilas de hormigón armado, salvo en las pilas de arranque del arco, en las que el apoyo se realiza mediante empotramiento. Para realzar la estética del puente, las pilas se remataron con una sección semicircular en los laterales, además de relieves en sus caras anterior y posterior.

El sistema constructivo empleado fue el de avance simultáneo en voladizo del arco, pilas y tablero. El arco se ejecutó mediante dovelas de hormigón prefabricadas en forma de 'U', para lo que fue necesario disponer de tres bancadas diferentes. Las pilas se ejecutaron *in situ* mediante un encofrado trepante. El tablero se construyó con elementos prefabricados de hormigón.

Para poner en carga el arco se procedió a su apertura mediante cuatro gatos de 10.000 toneladas, procediendo posteriormente a su hormigonado en dos fases.

El proceso constructivo empleado fue especialmente innovador en cuanto a la reducción de plazos



y equipos de trabajo. Las obras comenzaron en junio de 2003, finalizando el puente de la calzada izquierda en junio de 2004 y el de la derecha en noviembre de ese año. El ritmo de construcción fue de algo más de un mes por cada vano del semiarco gracias al empleo de vigas y dovelas prefabricadas.

Las obras del viaducto fueron ejecutadas por la UTE Corrales, formada por las constructoras Sacyr y Cavosa, ambas del Grupo Sacyr Vallehermoso. La subcontrata de estructuras recayó en la compañía coruñesa Estructuras y Montajes de Prefabricados, del Grupo Puentes, mientras que el diseño del proyecto corrió de la mano de la empresa Pondio Ingenieros, que dirige el ingeniero Juan Calvo. La asistencia técnica de los trabajos recayó en la UTE formada por las sociedades G.O.C., de Vigo, e Investigación y Control Calidad (Incosa), de Boecillo (Valladolid).

► Viaducto de Pedredo

El viaducto de Pedredo, que salva el cauce del río Llares, tiene una longitud de 930 metros de viga continua con tablero único. Fue proyectado y ejecutado como puente de viga continua de 8,1 metros de ancho, que se completa hasta los 23,8 metros con costillas prefabricadas en las que apoyan las losas laterales.

La estructura tiene una luz máxima de 35,2 metros y está formada por 17 vanos, en los extremos de 45 metros y en el centro de 56 metros. Se apoya en pilas de fuste único, cimentadas sobre pilotes de 1,80 metros de diámetro, a excepción de la pila 4, que cuenta con cimentación directa. Los fustes de las pilas son de sección constante, conformada por la maceta de un prisma de sección circular.

Para ejecutar el tablero se dispuso de una cimbra autoportante y así poder construir por fases el núcleo

► Los viaductos de Pedredo (sobre estas líneas) y Cieza (página opuesta) son las estructuras más singulares del tramo Los Corrales de Buelna-Molledo de la A-67.



El viaducto de Cieza fue el primero de España en ser construido mediante piezas prefabricadas

central de la viga. Cada fase comprende el tramo de viga entre las secciones del tablero de dos vanos consecutivos. Una vez hormigonado el cajón se procedió al tesado y al desplazamiento de la cimbra para la ejecución de la siguiente fase.

Tras ejecutar los tres primeros vanos se completó la sección del tablero con la ejecución de las alas, para lo que se montaron unos jabalcones, mediante car-

ros especiales, sobre los que se apoyaba un encofrado. Así se pudo hormigonar la losa y se ancló al tablero mediante barras 'DIWY-DAG', que tienen el acero como elemento resistente a la tracción, con tuercas y placas de

anclaje que distribuyen la carga aplicada sobre la estructura anclada. La junta con el cajón se trató con una resina epoxi. El hormigón utilizado en toda la obra, procedente de la planta que el Grupo Candesa tiene en Santiago de Cartes (Cantabria), es de calidad HA-40. El aditivo empleado para la construcción del viaducto, igual que sucedió en el de Cieza, fue el Glenium B-255, del que se emplearon un total de 100 toneladas.

El viaducto de Pedredo, finalizado en 2003, fue proyectado por Proes, consultora de ingeniería y arquitectura con experiencia de más de 40 años a nivel nacional e internacional. Las obras fueron ejecutadas por la UTE Corrales (Sacyr y Cavosa).

En febrero de 2013 se mejoró el drenaje del viaducto para evitar que pequeños residuos, desde agua o sal hasta piedras de pequeño tamaño, cayeran sobre la carretera autonómica CA-804. ◀



PUENTE DE **ARCOS DE ALCONÉTAR**

HACIENDO HISTORIA

La autovía Ruta de la Plata (A-66) sigue la huella de la calzada romana que unía Mérida y Astorga, y vertebraba de norte a sur el oeste peninsular, conectando Sevilla con Gijón. Uno de sus hitos se encuentra al norte de Cáceres, en el embalse de Alcántara, salvado mediante un puente arco, en servicio desde 2006, que debe su singularidad a un método constructivo prácticamente inédito para las dimensiones de la estructura. Debido a ello ha sido reconocido con la concesión de diversos premios de ingeniería.



JULIA SOLA LANDERO
FOTOS: DCE EXTREMADURA



A su paso por tierras extremeñas, al norte de la provincia de Cáceres, en el punto donde se encuentran los ríos Tajo y Almonte –en la cola del embalse de Alcántara–, hubo que salvar el complicado y sinuoso paso de agua para dar continuidad a la autovía. Y para ello se construyó el puente de Arcos de Alconétar. Un viaducto formado por dos estructuras gemelas de acero y hormigón de 400 metros de longitud y arcos metálicos de 220 metros de luz y 42 metros de altura, cuyo singular método cons-

tructivo hizo historia en la ingeniería española y consiguió un récord mundial en su categoría.

En servicio desde el 27 de julio de 2006, el viaducto fue proyectado por los ingenieros españoles Sergio Couto, José Antonio Llombart y Jordi Revoltós, y construido por OHL para el Ministerio de Fomento. El proyecto forma parte del tramo Cañaveral-Hinojal de la autovía Ruta de la Plata (A-66), un recorrido de 14,4 kilómetros que incluye dos enlaces, dos viaductos, cuatro pasos superiores y 13 pasos inferiores. Durante su construcción el objetivo prioritario era conseguir lo más rápidamente posible la continuidad con los tramos contiguos ya construidos, lo que suscitó la necesidad de acortar al máximo el plazo de ejecución del puente. El proyecto

nacía, por tanto, condicionado por la necesidad de agilizar su ejecución.

Un segundo condicionante venía dado por el propio entorno natural: por un lado, la gran anchura del desnivel del terreno a salvar obligaba a crear un tablero con gran luz; y por otro, la propia morfología del valle del río Tajo en esa zona ofrecía la posibilidad de apoyar los estribos del arco sobre las laderas de pizarra que bajaban hasta el embalse. Para acabar de cerrar el círculo, también se planteaba un tercer requisito: se buscaba un diseño sobrio y sin estridencias, de forma que el puente quedara integrado en el paisaje.

► Sistema constructivo

La realidad era que cualquier sistema constructivo convencional para levantar puentes con arco de

El abatimiento de semiarcos es un complejo procedimiento constructivo en los puentes arco de grandes luces del que existen pocos antecedentes en la ingeniería mundial

gran luz hubiera necesitado un plazo de ejecución muy superior a las necesidades que planteaba el Ministerio de Fomento. Por tanto, hubo que considerar todas las posibles alternativas para asumir aquel reto. Y después del minucioso análisis, la solución al dilema fue promover un procedimiento constructivo prácticamente inédito y de una extraordinaria dificultad para

las dimensiones que se pretendían: el método de abatimiento de semiarcos, que supone construir en taller los grandes elementos de la infraestructura —estribos, pilas, arcos y tableros— y montarlas posteriormente mediante sofisticados elementos auxiliares para mover grandes masas.

Y así se hizo. Tras la construcción de la infraestructura —cimentación, pilas, estribos y macizos de arranque de arcos—, y de los tableros en tierra firme, se produjo el empuje de estos, en una primera fase, hasta la vertical de los arranques del arco. A continuación, se realizó el transporte, basculamiento, descenso y anclaje de las cuatro piezas que formarían los arcos, de 60 metros de longitud y 200 toneladas de peso cada una. Estas piezas se ensamblaron formando dos mitades que se levantaron mediante un





► *Vista aérea del proceso de abatimiento de uno de los semiarcos metálicos y detalle de las pilas ejecutadas en una de las orillas.*

complejo sistema de grúas. Una vez puestas en vertical desde un pórtico metálico situado en ambas orillas, las enormes piezas se abatieron mediante gatos hidráulicos hasta su encuentro para cerrar la clave. Todo un ejercicio de precisión que, en opinión de muchos expertos, ha marcado un antes y un después en la ingeniería española.

El proceso continuó con el montaje de las pilas metálicas sobre el arco y la segunda fase de empuje de los tableros. En la zona cercana al embalse, la cimentación se realizó con zapatas de hormigón armado apoyado en micropilotes. Sobre las zapatas se alzan las pilas de las zonas de acceso, dos fustes de hormigón armado rematados por un dintel superior. Las mayores tienen 48 metros de altura. Cada arco

se apoya en sus extremos en un gran macizo de hormigón armado, en forma escalonada en la zona de contacto con el terreno, de 11 metros de anchura, 14 de longitud y 10 de altura. Una vez ejecutada esta infraestructura, se realizó al montaje de la totalidad del tablero en tierra firme, en las explanadas preparadas detrás de los estribos. Posteriormente, se deslizó cada mitad, mediante el sistema de empuje, hasta cubrir los tramos de acceso.

► **Récord mundial**

Para dar una idea de la extraordinaria dificultad del sistema empleado, basta repasar los escasísimos antecedentes de grandes puentes construidos mediante el abatimiento de semiarcos. Solo se encuentra un ejemplo en Alemania, el de Argentobel, que tiene un arco de 143 metros de luz; y dos en Japón: el puente Kobaru Keikoku, con un arco de 135 metros, y el puente Shimotabaru, de 125 metros. Por tanto, el puente de Arcos de Alconétar, con sus 220 metros de luz, alcanzó una longitud no lograda anteriormente y, sin pretenderlo, marcó un holgado récord mundial entre los puentes construidos con la misma técnica.

El doble viaducto español alberga tres carriles y está formado por un tramo continuo de estructura mixta de acero y hormigón, apoyada en un conjunto de pilares metálicos que descansan sobre el arco y las pilas de hormigón armado, pertenecientes a los tramos de acceso, y dispuestos de forma que se mantiene un ritmo uniforme en el conjunto de la obra. La luz de los vanos, de 26 metros, es idéntica tanto en los tramos de acceso con pilares de hormigón como en el tramo principal. Se calcula que el conjunto tiene un peso que supera las 4.350 toneladas.

► **Un fenómeno inesperado**

Pero antes de concluir su ejecución, se produjo un fenómeno inesperado en la estructura del puente durante su ejecución, que también ha marcado un interesante capítulo en la historia de la ingeniería.

La construcción del viaducto avanzaba según lo previsto. Ya habían sido unidos entre sí los dos semiarcos del primer arco, que se encontraba exento y estaba ya empotrado en sus arranques, a la espera de montar sobre él las pilas metálicas. El 10 de enero de 2006 el viento soplaba suave, a una velocidad constante de entre 20 y 30 km/h, cuando, súbitamente, se produjeron unas fuertes oscilaciones y el arco entró en resonancia durante una hora aproximadamente. es un fenómeno similar al que sufrió el puente colgante de Tacoma Narrows en Estados Unidos,

ejemplo recurrente y sobrecogedor de viaductos aquejados por problemas de resonancia: con rachas de solo 65 km/h, aquel puente de 1.600 metros de longitud, inaugurado en julio de 1940, se precipitó al río Narrows a las 11 de la mañana del 7 de noviembre del mismo año de su inauguración.

Dos semanas después del primer sobresalto de nuestro puente en construcción, los días 24, 25 y 26 de aquel mes de enero, el fantasma del puente de Tacoma volvió a aparecerse en Arcos de Alconétar. La estructura sufrió aquellos días una serie de oscilaciones verticales de tal magnitud que llegaron a comprometer la estabilidad del arco. Las mediciones demostraron que este se desplazaba hasta 80 centímetros respecto a su posición ideal, con un periodo de 1,4 segundos, fenómeno que esta vez duró varias horas.

En una revisión posterior, se detectó una fisura en su parte inferior que enseguida se trasladó a la parte superior y que hubo que reparar posteriormente. Sin embargo, el sistema constructivo del arco, con-

► *Los arcos metálicos son la característica más acusada de este puente, que debe su nombre a los mismos.*



El otro puente de Alconétar

El moderno viaducto de Arcos de Alconétar debe su nombre al puente romano de piedra sobre el Tajo, uno de los más antiguos del mundo con arcos segmentales, y cuyos restos aún se conservan en la cola del embalse de Alcántara.

Aquel puente formaba parte de la calzada que conectaba *Emérta Augusta* y *Asturi-ca Augusta*, y que Roma –sobre todo Trajano y Adriano– nutrió de infraestructuras para dar continuidad a un trazado que soportaba un abundante tránsito de caminantes y vehículos de tracción animal, y que debía salvar a su paso numerosos cauces fluviales. Prueba de ello es que solo en los terrenos que actualmente pertenecen a Extremadura, se levantaron doce puentes para salvar los ríos Albarregas, Aljucén, Ayuela, Salor, Almonte, Ambroz, Jerte y Tajo.

Pero de todos los ríos que la Vía de la Plata debía cruzar en su camino hacia las tierras del norte, el más difícil era el Tajo: ancho, profundo, encajonado entre sierras escarpadas y con una corriente fuerte y rápida a menudo sorprendida por riadas de sus afluentes, salvar sus aguas era problemático. Para evitar demasiadas dificultades, se decidió levantar el puente que

cruzara sus aguas en el encuentro con el río Almonte, una de las escasas zonas de baja profundidad y fácil acceso para carruajes y caminantes.

Allí se edificaría el que primeramente fue llamado puente de Manti-ble y renombrado después como Alconétar. Tenía una anchura de 6,60 metros, suficiente para el paso de dos carruajes al mismo tiempo, y una longitud que superaba los 290 metros, repartidos, según los diferentes estudiosos, entre 12 y 19 arcos. Estas dimensiones hicieron de aquel viaducto la obra más destacada de toda la Vía de la Plata, y uno de los puentes más relevantes de Lusitania junto al construido en *Emérta Augusta* sobre el Guadiana y el puente de Alcántara sobre el Tajo, aguas abajo.

No se conoce con exactitud ni su autoría ni la fecha de su construcción, pero las soluciones arquitectónicas empleadas, como

los arcos escarzanos, hacen pensar en la época de Trajano o Adriano. La mayoría de estudiosos apunta hacia la autoría de Apolodoro de Damasco, el gran arquitecto de origen sirio que ejecutó para Roma algunas de sus más emblemáticas obras de finales del siglo I y comienzos del siglo II, como el puente sobre el Danubio –el más largo de todo el imperio– o la singular Columna de Trajano.

Fabricado a base de sillares graníticos y pronunciado almohadillado, sus arcos y tajamares son sus elementos más característicos y originales. Los primeros están diseñados como arcos escarzanos o segmentales, cuya luz au-

mentaba al acercarse a los vanos centrales, alcanzando en ese momento los 15 metros de longitud. Los segundos destacan por su división en cuerpos rematados con cornisas, que comparten con el pilar al que pertenecen y van adosados.

El puente resistió al río Tajo más de diez siglos, hasta que sus restos se trasladaron en 1969 a su actual emplazamiento



formado por dos subarcos paralelos unidos por un resistente sistema de arriostramiento en forma de equis, aseguró la transmisión del esfuerzo axial del arco y conservó su integridad estructural.

Ante tan inesperado fenómeno, la investigación de las causas se puso en manos de la Universidad Politécnica de Madrid. Tras pasar por una serie de pruebas en el túnel de viento del Laboratorio de Aerodinámica del Instituto Universitario Ignacio de la Riva, se diagnosticó que el origen de la notable resonancia estaba en la presencia de vórtices de Von Karman, similares a los del puente de Tacoma Narrows.

El problema estaba provocado por torbellinos alternados de viento que movían la estructura sin mediar rachas especialmente potentes. En opinión de los especialistas, el fenómeno fue un caso excepcional en un puente arco, ya que tienen que coincidir una serie de factores ambientales y de parámetros físicos que raramente concurren en una construcción de este tipo. Las circunstancias que deben darse son: que haya viento uniforme y por debajo de los 30 km/h; geometría uniforme del objeto sobre el que incide el viento, lo que permite que se formen torbellinos de forma regular en todo su desarrollo; y

El puente de Alconétar estuvo en uso durante más de diez siglos, hasta que, durante la Reconquista, con la llegada de los reinos cristianos del norte peninsular a la orilla derecha del Tajo en el siglo XIII, y la decisión de Alfonso IX de continuar con el avance de sus tropas hacia el sur, los dirigentes andalusíes, para defender sus territorios, deciden destruir la parte del puente más cercana a la orilla izquierda

del río, donde aguardaban las tropas leonesas junto a la población que había surgido en su entorno, llamada Alconétar (en castellano, «puente pequeño»).

Tras la conquista el puente fue reparado, aunque las crecidas y riadas constantes del río dieron al traste no solo con la primera reparación realizada en el siglo XIII, sino con las que siguieron a aquella, realizadas en los siglos XVI, XVII y XVIII. Mien-

tras tanto, y hasta la construcción, en 1927, de un nuevo puente para cruzar el Tajo en esa zona, había que utilizar las llamadas barcas de Alconétar, un aventurado medio de transporte muy peligroso en algunas épocas del año en que el río llevaba aguas más caudalosas, y en las que hubo naufragios incluso de comitivas reales como la de Juan II o la infanta Catalina. Esta peligrosidad hizo que surgieran caminos alternativos a la Vía de la Plata entre Cáceres y Plasencia, como el que cruzaba el puente de Alcántara, al que se llegaba desde Cáceres, o el puente de Almaraz, después de pasar Trujillo.

En 1969, ante la previsible crecida del nivel de las aguas del Tajo, encajonadas por el embalse de Alcántara, los restos del puente de Alconétar fueron desmontados piedra a piedra para que las aguas del embalse no lo cubrieran, y desplazados seis kilómetros al norte de su enclave original, junto al trazado de la carretera nacional N-630, en la margen derecha del río. Declarado Monumento Histórico en 1931 y actual Bien de Interés Cultural, los restos del puente romano de Alconétar –cuatro arcos, cinco pilares y dos rampas de espesor–, son ahora mudo testimonio de esta singular obra de ingeniería.





la coincidencia entre el periodo de alternancia de los torbellinos con el periodo propio de uno de los modos de vibración principales de la estructura.

Sin embargo, y a pesar de lo aparatoso del fenómeno, la solución fue sencilla, rápida y económica. Los expertos que analizaron el conjunto de la estructura y sus circunstancias propusieron tres tipos de soluciones: reforzar la rigidez de la estructura, implantar sistemas de amortiguación o instalar dispositivos aerodinámicos.

La opción elegida fue la tercera. Se optó por soldar a lo largo de la zona superior de los arcos un sistema de solapas metálicas o deflectores, que canalizaran la trayectoria del aire y evitaran la formación de torbellinos. Esta solución redujo drásticamente –de 80 a 3 centímetros–, la resonancia durante los trabajos de construcción.

► Reconocimientos

Tras su puesta en servicio, el puente de Arcos de Alconétar ha obtenido diversos reconocimientos en el mundo de la ingeniería española. «Por sus dimensiones, la dificultad de su emplazamiento y el novedoso procedimiento constructivo, propio de una empresa española, con una gran precisión y detalle de ensambladura», el jurado de la XII edición de los premios Construmat 2007 de Ingeniería Civil, concedió un galardón a este original puente en reco-



nocimiento por la innovación tecnológica aportada con su construcción.

Su singularidad técnica también le valió la concesión del premio Caminos de Extremadura 2008, otorgado por el Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos–Demarcación de Extremadura. En esa ocasión, el jurado valoró «la importancia tecnológica, funcional, social, cultural y estética de la obra, así como la espectacularidad y eficacia en la resolución de las incidencias surgidas durante la construcción». ◀

► Vista aérea del puente y detalle del mismo desde una de las orillas.



**MÁS DE 25 AÑOS APORTANDO
SOLUCIONES INNOVADORAS**



Revista del Ministerio de
Fomento

TARJETA DE SUSCRIPCIÓN

NOMBRE Y APELLIDOS/EMPRESA N.I.F.
DOMICILIO N°
LOCALIDAD PROVINCIA C. P.
PAÍS TELÉFONO CORREO ELECTRÓNICO

MODALIDAD DE SUSCRIPCIÓN

	ESPAÑA	EXTRANJERO
☐ 1 año (11 números)	25 €	35 €
☐ 2 años (22 números)	40 €	50 €

Envíenme gratis la el n° extraordinario "Alta velocidad en España 1992-2011" que regalan por una suscripción de dos años*
*(Hasta agotar existencias)

FORMA DE PAGO ☐ Envío cheque adjunto ☐ Envío giro postal n° ☐ Domiciliación bancaria (sólo suscriptores)

De conformidad con lo establecido en la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal, usted tiene derecho al acceso, cancelación, rectificación y oposición de los datos facilitados mediante solicitud por escrito a : Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento. Paseo de la Castellana, 67. 28071 Madrid. E-mail: cpublic@fomento.es

Enviar a: **Revista del Ministerio de Fomento**

Pº de la Castellana, 67. 28071 Madrid.

Información y suscripciones: 91 597 64 49.

Correo electrónico: cpublic@fomento.es



DOMICILIACIÓN BANCARIA

Entidad bancaria
Domicilio entidad N°
C.P. Localidad Provincia

Muy Sres. míos:

Ruego que, con cargo a mi cuenta y hasta nuevo aviso, atiendan el pago de los recibos correspondientes a mi suscripción que les presentará al cobro la Revista del Ministerio de Fomento, editada por el Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento.

Les saluda atentamente
(firma)

CÓDIGO CUENTA CLIENTE			
Entidad	Oficina	D.C.	Núm. de cuenta

....., de de 201

EL TITULAR, Fdo.



VIADUCTO DEL **NALÓN**

MEMORIA DEL RÍO



► *Vista del tramo curvo del viaducto del Nalón y de las pilas tipo que lo sustentan.*

PEPA MARTÍN

FOTOS: MC2 Y DCE ASTURIAS



El viaducto del Nalón es la principal estructura de ingeniería del tramo Soto del Barco-Muros del Nalón de la A-8, siendo el de mayor longitud de esta vía de gran capacidad hasta la apertura en marzo pasado del tramo contiguo Muros del Nalón-Las Dueñas, donde se inserta el viaducto de la Concha de Artedo, de 1.190 metros de longitud.

La complejidad de esta obra de ingeniería construida al inicio del estuario del Nalón dificultó en su día la entrada en servicio de este tramo de autovía, con el que se eliminó el paso del tráfico de largo recorrido por la rotonda de Soto del Barco, denominada *el semáforo del Cantábrico* por los atascos kilométricos que allí se producían, sobre todo en verano. La rotonda queda ahora al costado de la autovía, con lo que los automovilistas ahorran tiempo y ganan en seguridad cuando transitan por esta zona.

Las obras del tramo Soto del Barco-Muros del Nalón se iniciaron en julio de 2002, con un plazo de 28 meses. Sin embargo, los problemas técnicos surgidos durante la construcción del viaducto del Nalón obligaron a ampliar los plazos, poniéndose finalmente en servicio en mayo de 2007.

El viaducto del Nalón fue proyectado por Julio Martínez Calzón y su equipo de MC2 Estudio de Ingeniería SL, y construido por Ferrovial-Agromán. La estructura elevó la inversión de este tramo de autovía a 97 M€, un presupuesto que incluía tres puentes sobre la vaguada del arroyo Pontigo y sendos viaductos sobre los arroyos Riomayor y Remolinos, entre otros.

► Características

El viaducto sobre el río Nalón es una estructura de 1.100,85 metros de longitud y un tablero único de 27 metros de anchura, con un singular juego de luces (13x60+76+124+76+44), correspondiendo el vano principal al salto sobre el cauce fluvial. La estructura se apoya sobre 16 pilas, de alturas que oscilan entre 15 y 29 metros, y en dos estribos, del tipo convencional de aletas, que surgen de los laterales del muro central. Las características geológicas del

Una estructura, muy cuidada en el aspecto formal, de 1.100 metros de longitud sobre el Nalón, emblema de los ríos asturianos, salva este importante cauce fluvial donde se inicia su estuario, formando parte de la autovía del Cantábrico (A-8). El criterio básico de esta compleja obra fue singularizar el río, prolongando el viaducto hacia las laderas de una manera sencilla que armonizara con el fondo del valle.



terreno, con presencia de gravas y bolos, hicieron necesaria una cimentación profunda mediante pilotes de gran diámetro, siendo el encepado de tipo rígido para optimizar la resistencia de todas las estructuras.

Longitudinalmente, el viaducto se articula en dos tramos separados por una junta de dilatación. El primero, de 660 metros, se asienta sobre la vega del río y es propiamente de acceso, con planta circular y 11 vanos de 60 metros de luz, con sección transversal de canto constante de 3 metros. El segundo es un tramo recto de 440,8 metros de longitud, cuyo vano principal une las dos riberas configurando un pórtico de carácter mixto integrado por el cajón metálico del tablero y dos pilas de hormigón pretensado que refuerzan su poderoso empaque escultórico. Una sucesión de vanos de menos luz y canto constante flanquean el principal por ambos lados, contribuyendo a diluir armónicamente la perspectiva del viaducto en el paisaje de la ría.

► Tablero

El tablero del viaducto está constituido por un cajón estricto mixto, tipología ampliamente ex-

plorada y desarrollada en España por Julio Martínez Calzón, quien, desde los primeros años 90, suma una larga serie de realizaciones en nuestro país basadas en ese concepto, como el paso superior de Vilobí d' Onyar sobre la A-7, el puente de La Roca (Barcelona), o los puentes sobre los ríos Tremor y Cabriel. A juicio de Martínez Calzón, la so-





► *Vista lateral del viaducto, que se apoya en 16 pilas. Debajo, detalles del lanzamiento del cajón metálico y vista inferior del tablero.*

lución de cajón estricto mixto «permite integrar en una sola todas las ventajas de las soluciones cajón y de las soluciones bñácena, o de doble viga principal armada», con un excelente aprovechamiento en el rendimiento de ambos materiales: hormigón y acero.

La estructura del cajón sobre la que se arma el

tablero del viaducto del Nalón es de sección trapezoidal y canto variable. Sus proporciones varían desde los 3 metros de su eje longitudinal central, en la zona de canto constante, hasta los 5 metros sobre el eje de las pilas principales. En cuanto a su anchura, por su cara superior, el cajón mantiene 11,50 metros de modo uniforme a lo largo de todo el viaducto, mientras que por el fondo oscila desde 9,40 metros en la zona de ancho constante hasta reducirse a 7,20 metros sobre las pilas principales.

Para resistir las distorsiones y las tensiones propias de las zonas en curva, la estructura metálica del cajón a ellas destinada incorpora en su fondo montantes de refuerzo y diagonales. En las zonas rectas, por su parte, fue suficiente con los montantes transversales. Y es que, en las zonas centrales de los vanos, el sistema cajón del tablero se mantiene cerrado en su parte inferior gracias a unas chapas de escaso grosor; mientras que en las zonas de transición entre los apoyos en pila y las transiciones centrales coexisten la chapa metálica inferior y la losa de hormigón de fondo, elementos suficientes para asegurar la resistencia a la torsión en esas zonas.



► Montaje

La estructura metálica del viaducto se conformó a partir de dovelas prefabricadas y fue realizada por la empresa Tecade, que también llevó a cabo su transporte a la obra sobre vehículos especiales para ensamblarlas allí mismo. En este proceso se combinó el lanzamiento de tramos ensamblados en carro de montaje con el izado de dovelas hasta una altura de 30 metros sobre el nivel del suelo, mientras que para lanzar el cajón se requirió el apoyo de torres y otras estructuras auxiliares.

El lanzamiento del cajón metálico se llevó a cabo por empuje acompasado desde los dos estribos: una parte, correspondiente al tramo curvo de canto constante, desde el estribo 1 hasta la pila 10, que se realizó en vuelo, y otra parte, efectuada con nariz de lanzamiento y torre de atirantamiento provisional sobre el cauce, desde el estribo 2 hasta la pila 11, siendo el vano 11 izado una vez finalizados los dos empujes. Este sistema permitió la simultaneidad de lanzamiento desde los dos estribos.

Una vez montado el tablero, se ejecutó la plataforma de rodadura, constituida por una losa de hormigón armado de canto constante de 0,25 metros de espesor y 27 metros de anchura total. La ejecución de la losa del tablero presenta dos zonas bien diferenciadas: por un lado, la central, ejecutada *in situ*, que utiliza como encofrado perdido una chapa plegada de 1,5 milímetros de espesor apoyada en las celosías interiores y en perfiles intermedios, con los que se logra una luz de 2 me-



Pórtico escultural

Río mítico como pocos en el imaginario colectivo astur, el más largo y caudaloso de todos los asturianos, matriz de su historia más antigua y también reciente, que es la del desarrollo de su rica cuenca minera, el viaducto del Nalón pretende desde sus cuidadas formas ser un homenaje a todo ello y a la propia belleza indómita del río, ya serena en sus tramos finales. Desde su cuidado perfil en planta, tendido en suave perspectiva y uniendo las dos orillas del valle de manera casi tan imperceptible como perfectamente integrada en el paisaje, al pórtico de su vano principal, el que salva el cauce, el viaducto busca condensar en cada uno de sus elementos toda la carga mítica y simbólica del río. De manera especial, sus autores han buscado dotar al hormigón de las pilas centrales y adyacentes de una potente expresividad escultórica, configurando el tramo principal del viaducto como puerta de doble sentido: de salida, de todo lo que el río entrega al mar, y de llegada, de todo lo que el mar entrega en

tierra a través del propio río. Así, las dos pilas del vano principal, de 32 metros de altura, además de desempeñar un papel estructural importante, se configuran también como elementos destacados del diseño del viaducto. La altura de estas dos pilas se divide en sentido longitudinal en dos zonas: un fuste inferior, de 9 metros de altura, constituido por una sección en cajón formada por dos grandes lamas; y una zona de bielas por encima de la zona macizada, con una sección que se abre suavemente en dos bielas levemente inclinadas formando una V muy cerrada pero proporcionada, de sección inicial en T y luego rectangular, como resultado de la continuidad de las alas de la sección del fuste. El resto de pilas, constituidas por un único elemento tipo de alturas diferentes, hasta un máximo de 29 metros, presenta una sección transversal en forma de T, parecida a la de las principales, aunque dispuesta en dirección longitudinal. El ancho del fuste en su nivel superior es de 10,40 metros.

► Vista del vano principal del viaducto, un pórtico escultural apoyado en pilas de 32 metros de altura que salva el cauce del río.



► *Dos imágenes del viaducto, durante el lanzamiento del tablero desde ambos estribos (arriba) y una vez acabado (debajo).*

tros; y por otra, la zona de los laterales, constituidos mediante placas prefabricadas semirresistentes armadas nervadas.

Por último y para facilitar la colocación y el movimiento de placas prefabricadas sobre el viaducto, el proceso de construcción de la losa superior se realizó en dos fases. En la primera se colocó la chapa plegada central y su armadura, y se hormigonó esta zona, incluyendo, según el tramo, los conectadores para considerar en ciertos casos una sección parcial mix-

ta. En la segunda fase, con la plataforma central ya hormigonada, se procedió a la colocación de las placas prefabricadas laterales para efectuar después su hormigonado y completar la losa de estas zonas.

Una vez construido el tablero se colocaron las barreras laterales y central, y del pavimento, para ejecutar los distintos acabados posteriormente. El viaducto quedó finalizado una vez superada la prueba de carga, entrando en servicio en mayo de 2007 junto al resto del tramo. ◀

La construcción del viaducto se realizó mediante lanzamiento del cajón metálico con sus piezas laterales, por empuje acompasado desde ambos estribos





VIADUCTO DE MONTABLIZ

La autovía de la Meseta (A-67) cuenta con una singular obra de ingeniería, el viaducto de Montabliz, una infraestructura que permite salvar el profundo valle del río Bisueña, en la comunidad autónoma de Cantabria. Enclavado en el tramo Molledo-Pesquera de la autovía, facilita la conexión entre Santander y Palencia con una perfecta integración en el paisaje.

GRANDIOSA SINGULARIDAD

JAIME ARRUIZ

FOTOS: DCE CANTABRIA

Este viaducto, inaugurado el 31 de enero de 2008, se sitúa entre las localidades cántabras de Bárcena de Pie de Concha y Pesquera. Con los elementos típicos de los valles de la zona, con un valle fluvial en 'V', pendientes muy abruptas, pocos terrenos llanos y vaguadas estrechas, el del río Bisueña presentaba una gran dificultad técnica a la hora de poder salvarlo, todo un reto para los ingenieros encargados de prolongar la A-67 y permitir así la conexión entre Castilla y León y Cantabria.

El de Montabliz es un viaducto construido mediante una viga continua de hormigón pretensado, que utiliza la flexión longitudinal como mecanismo fundamental para resistir el peso de los vehículos que transitan en sus calzadas, un total de cinco carriles. Fue proyectado por la consultora de ingeniería Apia XXI, en concreto por el equipo que formaban Marcos Pantaleón, Patricia Olazábal y Roberto Revilla, y construido por Ferrovial-Agromán entre 2002 y 2008. La asistencia técnica corrió a cargo de Ur-



baconsult-Torroja. El presupuesto de ejecución ascendió a 26 M€.

El viaducto se encuentra a la salida del túnel de Somaconcha, que horada una ladera para comunicar los valles de los ríos Bisueña y Besaya, con dos tubos paralelos, uno por sentido, de 1.594 y 1.532 metros, el primero correspondiente al sentido Santander y el segundo al sentido Palencia.

El viaducto de Montabliz, que queda perfectamente integrado en el paisaje, tiene una longitud de 721 metros, con una pendiente máxima del 5,5%. Es posible cruzarlo en 12,6 segundos a 120 km/h, límite de velocidad en ese tramo de la A-67. Con un peso de unas 75.000 toneladas, se desarrolla en cinco largos vanos –luz central de 175 metros, luces contiguas de 155 metros y luces laterales de 110 y 126 metros–, con una planta curva de 700 metros de radio y peralte del 8%. Las pilas se encuentran empotradas al tablero y están resueltas mediante secciones transversales de tipo rectangular huecas, de paredes delgadas y aristas redondeadas.

Entre sus elementos singulares sobresale su pila central, de 128,6 metros de altura, la más alta de España y la sexta de Europa. Esto eleva la rasante de la calzada hasta los 145 metros. También destacan sus 175 metros de luz en el vano central, igualmente récord a nivel nacional, así como el diseño de su

sección transversal. Esta fue ejecutada en un cajón único para las dos calzadas, con una anchura de plataforma de 26,1 metros en los que se da cabida a cinco carriles. Esta magnitud hace de Montabliz el viaducto de mayor anchura de calzada de España.

► Proceso constructivo

La construcción del viaducto de Montabliz se inició en 2002 con la excavación y el hormigonado de las cimentaciones, sobre las que más adelante se levantarían las pilas y los estribos. El sustrato rocoso

► *Fases iniciales de la construcción del tablero mediante el sistema de avance en voladizos sucesivos.*





► *Dos imágenes del viaducto de Montabiz a punto de colocar la dovela de cierre.*

sobre el que se cimenta el viaducto está constituido por materiales calcáreos, arcillas, areniscas y lutitas (roca sedimentaria detrítica o clástica de textura pelítica).

Los cuatro pilares del viaducto se alzaron mediante una cimbra autoportante, una novedad en la época en lo que a ejecución de pilas de puentes en España se refiere. El proceso consiste en la construcción de trepas de 4 metros de longitud, una a continuación de la otra, que fueron creciendo en voladizos verticales mediante el empleo de la cimbra autoportante y la ayuda de una grúa-torre.



La sección transversal de las pilas –rectangular hueca de paredes delgadas– es la que mejor resiste los esfuerzos de flexión, originados por las cargas horizontales aplicadas en la cabeza de la pila y a lo largo de su fuste y que se producen cuando se da una gran compresión, como es el caso del peso propio del viaducto. La pila es una ménsula libre en construcción y está empotrada en el tablero en servicio, en una cuantía menor o mayor en función de la forma del valle y de la rigidez de las pilas y del dintel.

El tablero, de tipo continuo, tiene una sección formada por un cajón monocelular de hormigón pretensado de canto variable –de forma parabólica en todos los vanos–, de entre 4,30 y 11 metros. La sección cajón del tablero, con sus grandes cabezas superiores e inferiores, es capaz de soportar grandes momentos flectores, tanto positivos como negativos. Su condición de sección cerrada le confiere una gran rigidez a torsión, alabeos pequeños y distorsión reducida, lo que le permite minimizar el espesor de sus paredes y soportar cargas descentradas, de forma mucho más satisfactoria que con una sección abierta, muy importante para la estabilidad estática y dinámica del tablero durante su construcción.

El proceso constructivo del tablero, mediante el sistema de avance en voladizos sucesivos, se inició con la ejecución de las dovelas 0, de 7 metros de lon-



gitud, sobre la coronación de cada una de las cuatro pilas. Tras finalizar la ejecución de las fases laterales mediante cimbra aporticada, y una vez terminada la construcción de las cuatro T del tablero, las ménsulas se unieron entre sí mediante la ejecución de las dovelas de cierre, asegurando la unión de los voladizos y reestableciendo la continuidad de toda la estructura.

Los estribos del viaducto, de tipología cerrada, fueron cimentados de forma superficial mediante zapatas escalonadas, minimizando la altura de sus alzados y optimizando el dimensionamiento de los mismos. Estas grandes piezas de hormigón armado permiten establecer la transición entre el tablero del puente y el terreno. Son las estructuras de contención que soportan el empuje de las tierras que constituyen el terraplén de acceso y controlan el derrame de las mismas mediante su cara frontal y sendas aletas laterales.

Como apoyos extremos del dintel, los estribos permiten movimientos relativos con el tablero, provocados por las deformaciones impuestas de temperatura, fluencia y retracción, así como los producidos por las acciones directas que actúan sobre la es-

trutura, como el viento longitudinal o la sobrecarga uniforme. Al igual que en otros dos estructuras singulares de la autovía de la Meseta, como los de Cieza y Pedredo, el viaducto de Montabliz fue construido con hormigón de calidad HA-40 procedente de la planta que el Grupo Candesa tiene en Santiago de Cartes (Cantabria).

► *Proceso de ampliación del tablero, que con 26,1 metros de anchura es de los de mayores dimensiones de España.*

Estructura premiada

El viaducto de Montabliz fue galardonado en el año 2010 con el IV Premio Acueducto de Segovia, con el que el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de España reconoce las obras civiles que destacan por su consideración medioambiental durante las fases de proyecto, ejecución y explotación. Aquel año recibió otro premio al ser distinguido con la nominación como estructura singular en el III Congreso de la Fédération Internationale du Béton (FIB) –Federa-

ción Internacional de Hormigón Estructural–.

Además, Roberto Revilla, el coautor del proyecto del viaducto, como responsable del departamento de Estructuras de APIA XXI, fue premiado con el IABSE 2010 de la International Association for Bridge and Structural Engineering –Asociación Internacional de Puente e Ingeniería Estructural–, el equivalente al premio Nobel de la ingeniería de puentes.



► El viaducto de Montabliz se desarrolla a lo largo de 721 metros y tiene una luz máxima de 175 metros en su vano principal.

► Ensayos con túnel de viento

Valorando la altura y las luces del viaducto de Montabliz, los ingenieros optaron por desarrollar una red de sensores controlados en tiempo real por un ordenador para medir la respuesta estructural de esta gran estructura, tanto a lo largo del periodo de construcción como durante toda su vida útil. Las características de este viaducto, así como del valle en el que se encuadra, determinaron la necesidad de llevar a cabo una serie de estudios de la acción del viento sobre la estructura, para lo que se realizaron dos ensayos con túnel de viento, a cargo de la empresa danesa Force Technology, especializada en este tipo de análisis.

El primero tenía como objetivo establecer los coeficientes aerodinámicos del viento relativos a empuje horizontal, fuerza vertical y momento torsor del tablero del viaducto,

así como estudiar la posibilidad de aparición de vórtices o remolinos en el mismo. El segundo estudió las velocidades principales del viento y la intensidad de la turbulencia transversal y longitudinal al valle y al viaducto. Para ello se construyó una maqueta en 3D a escala 1:1.600 que reproducía la orografía real de la zona en un área de unos 65 km².

Permitió medir las velocidades en un punto de referencia —la estación meteorológica— y en 12 puntos representativos del viaducto —cuatro en la pila 2, la más alta de la estructura, y los ocho restantes en centros de vano y secciones de pila del tablero—. Además, se llevaron a cabo ensayos de anclajes para las cimentaciones de las pilas 2 y 3, las centrales, que se cimentaron mediante pilotes sobre terreno de naturaleza arcillosa.

Desde el año 2011, el viaducto de Montabliz, al igual que ocurre con otras construcciones de similares características próximas a Reinosa (Cantabria), está equipado con una red de aspersores automáticos para evitar la formación de placas de hielo sobre su calzada debido a que, en los meses de invierno, son los primeros puntos de la autovía de la Meseta donde comienza a helar. ◀

La rasante de la calzada sobre el viaducto de Montabliz está situada a una altura de 145 metros



AMPLIACIÓN DEL PUENTE DE **Los Santos**

DUPLICACIÓN EN LA RÍA

La construcción de la autovía del Cantábrico (A-8) en Asturias ha exigido soluciones de ingeniería complejas para desdoblarse el trazado de la carretera nacional N-634, sobre todo en el caso de los puentes y viaductos. En casi media docena de casos se ha optado por duplicar la sección de las estructuras existentes en lugar de construir

otras nuevas. El más singular, por la técnica constructiva empleada y por su emplazamiento sobre la ría que divide geográficamente Asturias de Galicia, es el puente de los Santos, que desde finales de 2008, tras ensanchar su tablero de 12 a 24,60 metros, alberga cuatro carriles de circulación donde antes solo cabían dos.



► *Vista del puente de los Santos ampliado durante la prueba de carga. Derecha, superficie inferior de la ampliación de la losa.*

BEATRIZ RODRÍGUEZ LÓPEZ

FOTOS: DCE ASTURIAS

El puente de los Santos sobre la ría del Eo ha marcado durante dos décadas el límite de la carretera N-634 entre Asturias y Galicia. Su apertura en julio de 1987 representó un paso de gigante en las comunicaciones viarias entre ambas comunidades, enlazadas desde entonces por esta estructura de hormigón pretensado y canto variable de 600 metros de longitud dividida en cinco vanos ($75 + 3 \times 150 + 75$, más uno extremo de 12 metros), construida por avance en voladizo, que, con el paso de los años y, sobre todo, con el proyecto de

construcción de la autovía del Cantábrico (A-8), se quedó pequeña.

Para cruzar la ría, la nueva infraestructura de gran capacidad demandaba una sección de autovía de 24 metros de anchura, capaz de albergar cuatro carriles de 3,5 metros de ancho cada uno y sus correspondientes acera y arcones, mientras que el tablero del puente existente solo tenía 12 metros de ancho, los que alojaban los dos carriles de la carretera nacional. Cuando los ingenieros de la Demarcación de Carreteras de Asturias (a la que correspondía el proyecto del tramo Barres-Ribadeo de la A-8, que incluye el viaducto) comenzaron a estudiar cómo salvar la ría se plantearon dos alternativas: construir una estructura independiente o ampliar el puente existente.



► Proyecto

En los primeros meses de 2005 se desestimó la construcción de una nueva estructura, desaconsejada por la declaración de impacto ambiental del tramo, y se optó por la ampliación. Esta opción era más económica y medioambientalmente menos lesiva para la ría. Por el contrario, suponía todo un reto para la ingeniería estructural, ya que se trataba de la primera vez que se ampliaba un viaducto de canto variable. Era, por lo tanto, una obra pionera.

Para acometer la ampliación se realizaron análisis exhaustivos de la durabilidad y la capacidad resistente del puente, que concluyeron que no tenía la holgura suficiente para soportar las nuevas cargas de una ampliación. También se estudió el estado de conservación de todos los elementos de la estructura: las pilas (cuatro sobre el agua, formadas por dos pantallas cada una de sección rectangular rematadas por bisel triangulares, de 7 metros de ancho por 2 metros de canto), la cimentación (realizada sobre encepados de 12 pilotes de 2 metros de diámetro en el caso de las dos laterales y mediante zapatas en el caso de las dos pilas laterales), el tablero (una sección transversal formada por un cajón monocelular de 6,50 metros de ancho y canto variable) y el pretensado (de tres tipos: de construcción, de continuidad y de refuerzo).

Una vez analizadas todas las variables, la empresa Ginprosa Ingeniería, autora del proyecto de ampliación, diseñó una solución consistente en aplicar una serie de refuerzos para garantizar la estabilidad estructural del puente ante la demanda de las nuevas tensiones y cargas derivadas de la duplicación de los carriles de circulación. Se proyectaron cuatro tipos de refuerzos: una tercera alma de hormigón armado en el eje de simetría del interior del cajón; un refuerzo con estructura mixta de viga metálica rellena de hormigón y extendida a lo largo de la losa inferior en todos los vanos; un pretensado vertical en las pilas y otro exterior longitudinal en el in-

Unidades de obra

Taladros en estructura original	4.900 m
Demolición de voladizos	1.320 m ²
Acero estructural	1.350.000 kg
Acero pretensado exterior	251.000 kg
Acero pasivo B-500S	1.901.674 kg
Soldadura ejecutada en obra	850 m
Encofrado	18.360 m ²
Hormigón	11.000 m ³
Pintura en estructura metálica	14.500 m ²
Fresado del tablero	6.000 m ²



► *Dos imágenes del proceso de ampliación del puente, con un primer plano del carro para instalación de jabalones y hormigonado de la losa.*

terior del cajón del puente existente; y el refuerzo de las cimentaciones. Para ampliar el tablero desde 12 hasta 24,60 metros se proyectó la colocación de losas de canto variable, de geometría similar a la losa superior existente, apoyadas en jabalones que transmitirían la carga al cajón del puente.

► **Proceso constructivo**

En febrero de 2008, después de dos años de análisis y estudios, la empresa Dragados, adjudicataria del tramo Barres-Ribadeo de la A-8, inició los trabajos de ampliación del puente, con la colaboración de Apia XXI como asistencia técnica de la obra. El proceso constructivo tenía dos grandes condicionantes: no debía afectar ambientalmente a la ría del Eo y se debía mantener el tráfico de vehículos sobre el puente durante las obras, ya que su cierre obligaría a los automovilistas a dar un rodeo de 30 kilómetros. Asimismo, se debía seguir una secuencia de actuaciones muy rígida en su orden de ejecución.

El mantenimiento del tráfico y la no afección a la ría del Eo fueron los dos grandes condicionantes durante el proceso de ampliación del puente de los Santos

Entre junio y septiembre de 2007 se realizaron los trabajos marítimos de cimentación. Las prospecciones geotécnicas habían revelado la suficiente capacidad del subsuelo para absorber las cargas adicionales debidas a la ampliación del puente, pero también la necesidad de reforzar las zapatas y los encepados debido a que su capacidad resultaba estricta para la condición de carga previa a la ampliación. La solución elegida fue un recrecido de más de 500 m³ de hormigón armado en forma de tronco de pirámide en las pilas situadas en el centro de la ría, mientras que en las dos cercanas a la costa se aplicó además un pretensado. En esta fase participaron personal y medios marítimos, entre ellos submarinistas, un recinto estanco anclado a las pilas para trabajar en seco y una pontona con grúa para su traslado.

Los trabajos en el tablero habían comenzado previamente con la demolición del espacio ocupado por las aceras peatonales para permitir el paso de vehículos por los voladizos de la estructura, preservando de esta forma una zona de 4 metros de anchura

en el centro del tablero para acometer de forma segura los trabajos de ejecución de la tercera alma del puente. Se trataba de construir un nuevo cajón monocelular que encerrara en su interior al existente, al cual se transferirían las nuevas cargas. Esta tercera alma incorporaba una armadura metálica formada por barras de acero de refuerzo que debían enhebrarse entre las losas superior e inferior del cajón, para lo cual se realizó un meticuloso trabajo de más de 2.000 taladros verticales. El encofrado y hormigonado de la nueva alma culminó estos trabajos, ejecutados en el primer semestre de 2007.

Una vez acabada esta fase arrancó el proceso de pretensado exterior longitudinal, a realizar sobre 177.000 metros de acero que recorren el interior del cajón distribuidos en ocho tendones, una actuación destinada a absorber los esfuerzos de flexión. Previamente, para reforzar la unión entre pilas y tablero, se dispuso un pretensado vertical adherente formado por 18 tendones de 19 cordones, trabajo que requirió el empleo de alpinistas especializados anclados al tablero. Una vez enfilados los 296 cables que forman el pretensado longitudinal y anclados a las riostras de estribos y pilas respectivamente, el proceso de tesado de los tendones se realizó mediante un gato cable a cable y tensando en dos fases según tramos correspondientes a cada vano. Este proceso concluyó en marzo de 2008.

► Ensanchamiento del tablero

Entre diciembre de 2007 y agosto de 2008 se llevó a cabo la ampliación de la losa, la fase más espectacular de toda la actuación porque permitía apreciar el ensanchamiento progresivo del tablero, que creció 6,25 metros por cada lado. En esta fase se dispuso una viga longitudinal metálica de sección trapezoidal adosada a la losa inferior del cajón y sujeta mediante las barras de cuelgue dispuestas anteriormente en el interior del alma central. Cada uno de estos tramos llegó a la obra premontado en tramos de 5 metros de longitud y contenía, además del cajón, una traviesa transversal a la que posteriormente se unirían los jabalones metálicos, un binomio estructural destinado a soportar la nueva losa ampliada.

En esta fase trabajaron simultáneamente tres carros metálicos en el tablero, cada uno con una función distinta, aunque todos ellos de grandes magnitudes. El primero, construido *ex profeso* y provisto de una plataforma hidráulica, ensambló los tramos metálicos desplazándose a lo largo del tablero. Una vez concluido el montaje y soldadura de la estructura metálica de cada vano, se procedió al hormigonado de la viga cajón, para lo cual se realizaron



► La ampliación generó una nueva sección de autovía, con dos carriles por sentido. Página opuesta, los tres carros metálicos trabajando en el tablero.



taladros cada 10 metros en la parte central inferior del tablero existente, replanteados topográficamente para no dañar al pretensado del puente original. Un segundo carro metálico dotado de tolvas

se encargó de recoger el hormigón demolido a cada lado del tablero para descubrir la armadura transversal de la vieja estructura y poder solaparla con la de la nueva losa. El tercer carro metálico automático estaba provisto de un encofrado batiente para permitir la instalación de los jabalcones metálicos y su posterior avance en sentido longitudinal.

El gran condicionante en esta fase fue la fabricación del hormigón con el que se ejecutó la ampliación de los voladizos, que debía ser de tipo ligero, de una densidad y resistencia determinadas. Sin embargo, el ritmo de trabajo de la obra, que debía acabar en un plazo determinado, no permitió emplear el hormigón previsto para conseguir las resistencias iniciales exigidas. Por ello se recurrió a un sistema de curado térmico acelerado del hormigón, complementado con un sistema de control que permitía monitorizar con precisión la evolución de la resistencia real de la losa de hormigón durante las primeras horas.

El proceso constructivo concluyó en septiembre de 2008 tras la disposición de un nuevo refuerzo, consistente en el fresado de la parte central del tablero original y la distribución de una nueva capa de armadura transversal, con su posterior hormigonado. En esta fase se desvió previamente el tráfico por los nuevos voladizos. La instalación de barreras de seguridad, aceras peatonales, barandillas, iluminación, pintado y señalización, labores precedidas por la prueba de carga (realizada por 32 camiones con un peso total de 1.216 toneladas), culminó los trabajos de ampliación tras 18 meses, con una antelación de tres meses sobre el plazo previsto.

El 1 de octubre de 2008, cuando fue abierto al tráfico, el puente de los Santos lucía una nueva sección de autovía formada por cuatro carriles. Su misión sigue siendo la misma que cuando se construyó un cuarto de siglo atrás, canalizar los tráficos entre Galicia y Asturias sobre la ría del Eo, pero con unas nuevas dimensiones en su tablero que dan respuesta a los requerimientos de la autovía del Cantábrico. ◀

Otras ampliaciones en la A-8

La ampliación de sección del puente de los Santos es, por su singularidad, el ejemplo más visible de este tipo de actuación de ingeniería durante la construcción de la autovía del Cantábrico (A-8), pero no el único. Al menos otros cuatro puentes y viaductos insertados en esta vía de gran capacidad vieron ensanchado su tablero en la primera década del siglo XXI

para acoger cuatro carriles de circulación en vez de dos. La técnica empleada en todos los casos era prácticamente la misma: la ampliación de la sección mediante voladizos apoyados sobre jabalcones, soldados a su vez en vigas transversales que nacen de un cajón dispuesto bajo la sección de hormigón ya existente, que sirven de soporte a la nueva losa de hormigón construida mediante carro de encofrado. Las estructuras donde se llevó a cabo esta ampliación son los viaductos del Pintor Fierros o arco de la Regenta (tramo Ballota-Cadavedo), de 381 metros de longitud, y de San Pedro de la Ribera (tramo Las Dueñas-Novellana), de 750 metros, que ampliaron sus secciones de 12 a 22 metros; y los viaductos de San Timoteo y Canero (tramo Querúas-Otur), ambos de 540 metros de longitud, en los que se amplió la sección de 12,60 a 22,60 metros.





PUENTE DEL
TERCER
MILENIO

ESCULTURA SOBRE



EL EBRO

► *Vista del puente del Tercer Milenio sobre el río Ebro y del vecino pabellón- puente.*

El 7 de junio de 2008 se abrió al tráfico el puente del Tercer Milenio, una infraestructura que sirvió como puerta de acceso rodado sobre el río Ebro a la Exposición Universal de Zaragoza. El joven puente tiene en su haber un récord mundial: el de ser el mayor viaducto de arco atirantado en hormigón del mundo. Su osado diseño hace honor a la tradición que avala a las muestras internacionales como palestras de innovación y oportunidad para hacer realidad proyectos singulares.

JULIA SOLA LANDERO

FOTOS: DANIEL MARCOS Y FÉLIX BERNAT/AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA

Su diseño es escultural sin renunciar a la funcionalidad: concentra lo mejor de la arquitectura y utiliza las herramientas más punteras de la ingeniería para llevar su tamaño y esbeltez hasta el límite.

Situado al oeste de la ciudad, este puente es el séptimo con el que cuenta Zaragoza para cruzar el río más caudaloso de España. Después de haber sido noble pórtico de entrada de vehículos al recinto ferial, hoy da respuesta a la imperiosa necesidad de comunicar los barrios de Las Delicias y La Almozara con el de Actur, y se ha convertido en el tramo principal del tercer cinturón que circunvala la ciudad. Su amplísima estructura abre paso a los vehículos a través de seis carriles —tres para cada sentido—, además de contar con dos carriles bici y dos paseos peatonales, uno a cada lado, formando envolventes galerías de vidrio que permiten cruzar a pie el río a salvo de eventuales y heladoras rachas de cierzo.

El puente está firmado por el equipo del ingeniero oscense Juan José Arenas, autor, entre muchos otros, del emblemático puente de la Barqueta, construido para la Expo de Sevilla 92 y todo un símbolo de la modernidad que inundó la capital andaluza veinte años atrás.

El puente del Tercer Milenio fue realizado por encargo de la sociedad pública Zaragoza Alta Velocidad, con la participación del Ministerio de Fomento. Ejecutado por la empresa Dragados S.A., con él se terminó el mencionado tercer cinturón —autovía Z-30—, que comenzó su andadura en los años se-



senta del año pasado y que ha ido sumando tramos a lo largo de 2003 y 2006 hasta que finalmente, en 2008, con la inauguración del puente, alcanzó los 13,8 kilómetros que tiene en la actualidad.

Con ocasión de la Exposición Universal de Zaragoza, fueron 18 los puentes y pasarelas que se programaron en la región, dentro del Plan de Acompañamiento del Consorcio de la Expo Zaragoza 2008, para salvar los ríos Ebro, Gállego y Huerva, así como el Canal Imperial. De ellos, el del Tercer Milenio es el más estratégico, dado que es un nexo de comunicación vital para la ciudad, y uno de los referentes arquitectónicos de la capital aragonesa. Y no sólo por su indiscutible funcionalidad, sino también gracias a un poderoso diseño que justifica el nombre del puente –tiene 270 metros de longitud, 48 de anchura, 36 de altura entre el tablero y la clave del arco, y 216 metros de luz– en donde cobra protagonismo el uso puntero del hormigón blanco de alta resistencia.

► Sistema constructivo

Para decidir el sistema constructivo, hubo que tener muy en cuenta las condiciones del terreno. En el tramo donde se ubica, el curso natural del Ebro zigzaguea sinuoso formando el llamado meandro de Ranillas. Sobre este meandro se imaginó un puente-puerta –así lo llama su autor–, que cruzara sus aguas a través de una estructura que salvara el caudal de un solo salto y que asegurara, con su gran luz entre ejes de pilas, un importante desagüe ante las imprevisibles crecidas del caudaloso Ebro.

La tipología elegida, la de arco atirantado por el tablero o *bowstring*, permite compensar la falta de solidez del terreno para responder a las cargas. Según este sistema constructivo, bajo dichas cargas de gravedad, y gracias a su forma curvada, el arco intenta abrirse y el tablero opone resistencia actuando como un gran tirante y transmitiendo al arco en cada extremo la fuerza que este necesita para funcionar

► El puente del Tercer Milenio permitió cerrar en el año 2008 el tercer cinturón metropolitano de Zaragoza, la autovía Z-30.



como tal. Este juego de tensiones sustituye a la perfección el apoyo que podría encontrar si sus arranques estuvieran en tierra firme. El arco no es en este caso un elemento estético ajeno a la estructura, sino que es la pieza clave por la que viajan las cargas del tablero hasta los apoyos. Funciona como una

gran viga de canto variable, apoyada en sus dos extremos sobre placas de apoyo que le dan la necesaria movilidad en sentido longitudinal. Necesita, por lo tanto, placas de apoyo horizontales y la reacción que transmite al terreno es vertical.

Una elección lógica: las condiciones de un terreno que convive con las poderosas aguas del Ebro eran pésimas para la fijación de la estructura, puesto que no había modo de hallar la solidez de una roca. El lecho del río a su paso por Zaragoza está formado por mantos de gravas y arcillas sobre roca de yeso. La posibilidad de construir un gran puente sobre esa base era imposible, dado que, si bien la carga vertical se puede transmitir a la roca de yeso a través de pilotes de hormigón de gran profundidad, no hay manera de que ese suelo acepte la suficiente fuerza horizontal. La técnica de arco atirantado solventa los problemas de cimentación en terrenos inestables, ya que el arco minimiza la flexión del tablero y sus fuerzas horizontales son transmitidas por la tensión de los tirantes en lugar de incidir sobre el suelo.

Otro de los aspectos que condicionaron el proyecto fueron las bajas cotas a las que se encontraban los dos barrios que conecta el viaducto, y que obligaron a proyectar una rasante muy baja en el mismo. Además, se quería una rasante próxima al agua, de forma que fuera fácil conectar las aceras del puente con los paseos fluviales que se proyectaban en las

márgenes del río.

Pero también se quería —las exposiciones universales son una oportunidad para la innovación— una moderna estructura adaptada al paisaje urbano y que estuviera a la altura del evento internacional que iba a tener lugar.



► El puente incorpora en sus costados sendas galerías de vidrio para los peatones. Página opuesta, puente del Tercer Milenio y pabellón-puente, construidos con ocasión de la Expo de Zaragoza.

► Tecnología punta

El autor del puente ha construido otros con similar tipología: Oblatas (Pamplona), La Regenta (Asturias), El Barrial (Madrid), Morlans (San Sebastián), Hoznayo-Villaverde (Cantabria), sobre el Ebro en Logroño (La Rioja), del Congreso sobre el Tiber (Roma, Italia) o sobre el Coega (Port Elizabeth, Sud-

áfrica). Pero el puente del Tercer Milenio es el mayor y más complejo de todos.

Con respecto al más renombrado, La Barqueta de Sevilla, una de las diferencias más relevantes es el material, construido en acero el sevillano y en hormigón el de Zaragoza. El material utilizado para el aragonés fue elegido por la superior capacidad del hormigón para amortiguar la estructura ante posi-

El puente más longevo de la ciudad

El Ebro, vía de comunicación y también barrera difícil de franquear, ha obligado durante siglos a la ciudad de Zaragoza a tender varios puentes sobre sus impetuosas aguas. Ya desde un remoto siglo I, cuando Zaragoza aún era la *Caesaraugusta* romana, existía un puente de madera frente a una de las puertas de la ciudad y alineado con su calle principal, y que también hacía las veces de acueducto para suministrar agua a la ciudad.

Aquel puente se incardinaba en la vía romana que recorría tierras aragonesas desde la Castilla y abría paso hacia los Pirineos y las Galias. Era el único puente sobre el Ebro existente en muchos kilómetros a la redonda y el que cruzó Alfonso I para conquistar la ciudad.

Su endeble estructura frente a las acometidas del Ebro hizo que tuviera que ser reconstruido en varias ocasiones. Roturas y reparaciones, no solo de aquel puente sino de los numerosos pontones y puentes de

madera que se construían constantemente para salvar el río, hicieron que fuera generalizado, ya desde el siglo XII, el empeño colectivo para que se construyera un puente que garantizara permanentemente el paso del río Ebro.

La construcción del Puente de Piedra, levantado en el mismo lugar que ocupó el romano, entre los años 1401 y 1440, culminaba aquel viejo deseo. De estilo gótico y porte extraordinario, cuenta con siete arcos, más de 200 metros de longitud y esbeltos tajamares. En su momento, fue una infraestructura clave para las comunicaciones del valle medio del Ebro. Y no solo a nivel regional; también tenía una enorme importancia estratégica a nivel nacional

para asegurar las comunicaciones de todo el noreste de la Península.

En su proyecto participaron maestros de obras mudéjares, artesanos y obreros cristianos, un arquitecto alemán y un maestro italiano. El reto de salvar las aguas del Ebro era complicado para la época y se necesitaba mucha pericia técnica, y también abundantes medios materiales. Tanto es así, que en el transcurso de la construcción, incluso llegó a intervenir el Papa, el aragonés Benedicto XIII, facilitando permisos para la extracción de la piedra necesaria de las canteras de su propiedad situadas en Fréscano, y el aporte, mediante cesiones de las primicias de las iglesias de la diócesis, recursos económicos para la obra.

El Puente de Piedra, varias veces reconstruido, fue el primero levantado sobre el Ebro para enlazar ambas orillas de la ciudad



bles vibraciones producidas por el viento o el tráfico, por su alta resistencia, por la disminución del volumen y peso del mismo, por su ahorro económico, y también, y muy significativamente, por su estético color blanco, ideal para un puente que nace con vocación de poderosa escultura pétrea alzándose sobre el Ebro, sin costuras ni planos de corte.

El autor, según él mismo confiesa, a la hora de de-

cidir el uso de este material, contempló los paisajes áridos y terrosos de la depresión del Ebro, y también «los sillares del Puente de Piedra y las severas fachadas de ladrillo ocre oscuro que dan una personalidad paisajística tan definida a la capital de Aragón», y decidió respetar lo que él llama, rememorando a los antiguos, el *genius loci*, el genio del lugar. Y no lo quiso contrariar.

El proyecto fue concebido como un elemento de prestigio y alto valor simbólico para la ciudad y vertebrador del espacio urbano. Se quería un porte extraordinario y una fortaleza a prueba de crecidas. De la importancia que se concedió a la construcción del puente da cuenta el inequí-

voco apoyo de los reyes desde que Alfonso I conquistara Zaragoza. Se concedieron privilegios, se donaron rentas y bienes, se autorizó a la ciudad el cobro de impuestos de paso en beneficio de la obra, y varias localidades, como Longares, destinaban sus rentas al mantenimiento del

puente. Hasta la propia Iglesia concedió indulgencias para las donaciones y limosnas hechas por los fieles con destino al Puente de Piedra.

Durante su longeva vida, tanto el ímpetu de la corriente del agua y las riadas del Ebro, como los daños sufridos durante la Guerra de la Independencia, han obligado en numerosas ocasiones a realizar reparaciones tanto en arcos como en pilas y tajamares. Una de las crecidas, que en 1643 destruyó las arcadas centrales del puente, ha quedado inmortalizada en *Vista de Zaragoza* (foto contigua), cuadro atribuido a Juan Bautista Martínez del Mazo, en colaboración con su suegro y maestro, Velázquez.

En el año 1789, el arquitecto Agustín Sanz construyó el pretil de San Lázaro, que protegía a la ciudad de las crecidas del Ebro a lo largo de la margen izquierda, desde el Puente de Piedra hasta el convento de San Lázaro. Tanto la maciza muralla como el puente están declarados Bien de Interés Cultural.



Museo del Prado



en Vuelo

El puente aragonés tiene mayores dimensiones también que el sevillano –216 x 48 metros, frente a los 168 x 30 metros de La Barqueta– y por lo tanto, al contar con un tablero mucho más grande ha precisado un sistema de apoyo más complejo –el tablero descansa sobre cuatro puntos de apoyo, dos a cada lado, en lugar de uno a cada lado–.

Y otra diferencia: los pies o pórticos triangulares diseñados con una visible curvatura, a diferencia de los del puente de la Barqueta, cuyos pies son rectos debido a que en su caso no sustentan péndolas de cuelgue y su estructura de acero reduce considerablemente el peso.

► Flexibilidad

El generoso arco central, que marca su impronta singular, es flexible y consta de un ancho de 5,4 metros; su canto mide 1,8 metros en el eje y 1,2 en los laterales. Esta elección logra que el arco acoja las cargas sin que se flexione demasiado, consiguiendo así una menor inercia que el tablero, lo que proporciona rigidez a la estructura. La sucesión de los tirantes, situados en planos transversales y verticales al eje, sacrifican la rigidez torsional a favor del dinamismo de la estructura.

El puente cuenta con cuatro apoyos principales tipo POT y de libre desplazamiento en todas las direcciones bajo los pies inclinados, con capacidad para recibir una reacción vertical de hasta 82 500 kN en cada uno de ellos. El elevadísimo valor de esta re-

acción hizo necesaria la fabricación de apoyos específicos, que fueron ensayados en Suiza hasta su carga máxima para eliminar las deformaciones producidas por holguras entre elementos y definir su curva real de tensión-deformación.

En cuanto al cuidado por los detalles, se llevó al extremo en todo el conjunto, y son muy visibles en el diseño de las zonas peatonales que vuelan acristaladas sobre costillas de acero desde los laterales de la sección de hormigón del tablero; en el diseño del nudo de transición del arco y los pies inclinados, y hasta en la previsión y diseño de un carrito móvil para la limpieza de la galería acristalada y de su estructura metálica.

► *Vista del meandro de Ranillas durante la ejecución del puente del tercer Milenio. Debajo, un detalle del arco y de los tirantes.*





► *El generoso arco del puente no es solo un elemento estético, sino también la pieza clave por la que viajan las cargas del tablero hacia los apoyos.*

► Ejecución

El proceso constructivo, de una gran complejidad, se organizó, por una parte, ejecutando el tablero del puente mediante empuje desde una de las márgenes apoyándose en pilas provisionales; por otro lado, se construyó el arco mediante cimbra apoyada sobre el

propio tablero empujado; y en tercer lugar, y tras haber posicionado los tirantes que sustentan al tablero, y una vez tensados, fue posible el desprendimiento del esqueleto metálico que sujetaba el arco y los anclajes provisionales ubicados en el agua, y la puesta en carga del sistema que hasta ese momento des-

El puente del Tercer Milenio es un eje de conexión vital para Zaragoza y uno de sus referentes arquitectónicos

cansaba en apoyos provisionales.

El empuje del tablero resultó especialmente complicado, debido a la anchura excepcional de la sección de hormigón (alrededor de 35 metros, a los que hay que añadir posteriormente 10 metros más de voladizos peatonales), en dovelas de 24 metros y además con curvatura tanto en dirección longitudinal como transversal.

Una vez que el tablero fue totalmente ejecutado, y reposaba en los estribos y pilas definitivas, la superficie que posteriormente irá destinada al tráfico se utilizó para montar sobre ella una cimbra que sirvió para el soporte del encofrado que daría forma al arco. El ferrallado y hormigonado del arco se realizó también por dovelas, avanzando desde sus dos extremos hasta encontrarse en la clave.

Una vez hormigonado el arco y vinculado al tablero mediante las péndolas o tirantes, el sistema arco-tablero entró en carga mediante el sistema denominado apertura en clave. Para llevarlo a cabo fue preciso introducir, en una operación sin precedentes por su magnitud, una carga de 120.000 kN mediante seis gatos hidráulicos.

► Legado

El puente del Tercer Milenio es parte del legado de la Expo de Zaragoza —hace muchos años que las exposiciones universales no se conciben como acontecimientos efímeros—. Cinco años después de aquel evento internacional, la imponente estructura acompaña en su posteridad a la casi decena de puentes que salvan el Ebro a su paso por Zaragoza, una ciudad que nunca ha dejado de observar el ímpetu de su río y que ha tenido que construir y reconstruir —en madera, en piedra, en hierro— numerosos puentes y pontones a lo largo de su dilatada historia para conectar sus dos orillas. ◀



VIADUCTO DE **NAVIA**

ARCOS SOBRE LA RÍA



► *Vista del viaducto y de las pilas que lo sustentan desde una de las márgenes de la ría de Navia.*

BEATRIZ RODRÍGUEZ LÓPEZ

FOTOS: DCE ASTURIAS

El viaducto de Navia, situado en la variante de la A-8 a su paso por esta localidad asturiana, es una estructura singular de 907 metros de longitud, integrada por un puente principal en arco de tablero inferior con

dos vanos de 160 metros de luz y unido a sendos viaductos de acceso para salvar la ría de Navia en su confluencia con las marismas del río Anleo, una zona de gran valor ecológico cuya preservación impuso unas exigentes condiciones al proyecto y durante las fases de ejecución de obra.



Tras barajar distintas opciones y tras considerar las características geológicas y ambientales de la zona, el equipo de ingenieros de FCC Construcción, S.A., la empresa adjudicataria del tramo

Variante Sur de Navia de la A-8, último de esta autovía en el occidente asturiano, se decantó finalmente por una estructura integrada por un puente en arco de tablero inferior con dos vanos principales de 160 metros de luz cada uno y unido mediante juntas estructurales en el tablero a sendos viaductos de acceso de 341 metros y 244 metros.

Como la Declaración de Impacto Ambiental imponía importantes restricciones en el número de pilas de apoyo y a los movimientos de maquinaria pesada en la zona, para la construcción del tablero se optó por desarrollar un sistema exclusivo basado en el montaje, mediante cimbra superior autolanzable y voladizos sucesivos, de las dovelas prefabricadas, tanto en los viaductos de acceso con vanos de 75 metros de luz, como en los vanos de 160 metros del

puente principal. Al dar continuidad estructural a todo el tablero y poder utilizar los mismos elementos en el conjunto del viaducto, se establecieron protocolos industrializados en los procesos de fabricación y montaje de las piezas que comportaron unas importantes reducciones en los plazos de ejecución de obra así como en sus costes.

► Minuciosa planificación

Así, mientras se ejecutaban las cimentaciones y pilares del viaducto, se avanzaba en la fabricación de las dovelas que integrarían el tablero en una planta próxima. Aunque en nuestro país ya se habían construido algunos viaductos de grandes luces con tableros prefabricados, las dovelas utilizadas habían tenido en todos los casos patrones propios, mientras que las utilizadas en Navia tuvieron un único molde común que también se aprovechó para la construcción simultánea del cercano viaducto de Meiro, en el mismo tramo de la A-8. Todas esas ventajas exigieron una exigente planificación, tanto en los pro-

► Arriba, vista de la infraestructura completa, con el viaducto principal y los dos de acceso en sus extremos. Página opuesta, los arcos que singularizan al viaducto tienen estructura mixta de metal y hormigón.



cesos de fabricación de las dovelas como en las distintas fases de obra, que culminó con la finalización del viaducto en un plazo de apenas 17 meses.

Con una longitud total de 907 metros, el viaduc-

to consta de 11 vanos, distribuidos en cinco vanos con luces de 46,3, 70 y 3x75,0 metros en el viaducto de acceso por la margen derecha en las marismas del Anleo, otros dos vanos idénticos de 160 metros de luz en el puente de arco principal, y otros cuatro vanos más de 75, 67,5, 60

y 41,5 metros en el viaducto de acceso por la margen izquierda. Para las pilas de los viaductos de acceso se proyectó una sección cajón constante de 7x3,5 metros y 40 centímetros de espesor. En el puente principal las pilas mantienen también esa sección en

coronación aunque varía en dirección longitudinal y su espesor alcanza los 70 centímetros. Debido a la diversidad geológica de los terrenos en los que se asientan, que exigían una cimentación profunda, los pilotes presentan también diversas longitudes, entre los 16 y 44 metros, para permitir su empotramiento en el sustrato rocoso.

► Tablero

Todo el viaducto sigue un trazado en curva de 1.540 metros de radio, siendo el dintel continuo con juntas en los estribos. El tablero, de 23,1 metros de ancho, que acoge dos calzadas con dos carriles por sentido cada una y dos arcenes exteriores y otro interior, está constituido por un cajón central de 8,1 metros de ancho y 3,7 metros de canto con voladizos transversales que descansan en puntales de hormigón prefabricado y distribuidos cada 4,3 metros. El eje central del tablero, de 10,7 metros de ancho, se construyó con dovelas prefabricadas, luego colocadas mediante cimbra superior autolanzable por el

Para que las dovelas del tablero tuvieran un perfecto encaje al ser montadas, fueron fabricadas de modo que cada unidad servía de molde a la siguiente



► El viaducto forma parte de la Variante de Navia, tramo de la A-8 que entró en servicio a mediados de 2006.

Viaducto de Navia

Inauguración:	Julio de 2006
Longitud	907 m
Ancho del tablero	23,1 / 27,0 m
Luz máxima	2 x 160 m
Flecha de los arcos	35,43 m
Luz tipo de los viaductos de acceso	75 m
Canto del tablero	3,70 m
Pilotes	2.013 m
Hormigón en infraestructura	13.358 m³
Hormigón en tablero	16.821 m³

método de avance en voladizo. La cimbra, de 137 metros de longitud, tenía una capacidad de carga de 1.000 kN y el cabrestante de su cordón superior servía tanto para sus desplazamientos como para colocar las dovelas en sus posiciones de encaje. En la junta de las dovelas se aplicó resina epoxi y luego cada dovela se fijaba de manera provisional al tablero con barras postesadas antes de unir las con pretensado longitudinal en las losas superior e inferior.

El tablero del viaducto principal se fraccionó en total en cuatro tramos de 80 metros, que se fueron uniendo a los de los viaductos de acceso y luego entre sí con dovelas de cierre hormigonadas *in situ*.



► *Vistas aérea y nocturna del proceso de construcción de los arcos metálicos del viaducto.*

Para el montaje, el tablero se apoyó en cuatro equipos de gatos que permitían fijar su posición definitiva antes de proceder a la colocación y hormigonado de la dovela de cierre en cada tramo. A continuación se efectuaba el tesado del tramo anterior y, una vez ya asentado en los apoyos definitivos, se llevaba a cabo la retirada de los gatos hidráulicos.

En total, en los 907 metros de longitud del viaducto se utilizaron 425 dovelas que se prefabricaron en una planta provisional de hormigonado anexa a la estructura y de la que también se abasteció al contiguo viaducto de Meiro. Para que las dovelas tuvieran un perfecto encaje al ser montadas, se siguió un

cuidadoso proceso de fabricación, de modo que cada dovela servía de molde a la siguiente, garantizando así que las caras en contacto tenían exactamente las mismas dimensiones. Aunque las dovelas de los viaductos de acceso y principal se fabricaron con un patrón común, en las empleadas en este último se introdujeron algunas modificaciones, principalmente regruessamientos en sus losas superiores e inferiores, para poder acoger los anclajes de las péndolas y el tirante de pretensado de los vanos con arco, lo que se consiguió con encofrados reversibles.

Una vez finalizado el montaje de las dovelas se realizaba la construcción de los voladizos laterales, en cuyo hormigonado se utilizó un carro de alas, en realidad una celosía metálica diseñada especialmente para desplazarse por el tablero, permitir el paso del carro de abastecimiento de dovelas y servir eventualmente de apoyo a los puntales.

► Arcos

Finalizado el tablero, se procedió al montaje de los dos arcos en la mediana con estructura mixta de metal y hormigón. Su composición es la de un cajón de acero de sección triangular y vértices truncados, cuyo interior va relleno de hormigón autocompactante. Cada arco tiene una flecha de 35,4 metros respecto a la horizontal del tablero y un ángulo de 4



► Vista de una de las estructuras de la variante que conducen al viaducto de Navia.

grados de inclinación sobre la vertical y hacia el interior de la curva para compensar las tensiones de curvatura del tablero. Para poder soportar las presiones de carga, los macizos de arranque de los arcos se construyeron en hormigón de alta resistencia. Cada macizo se ancló a su correspondiente riostra en el tablero mediante tres tendones de 31 cordones de acero de 15,2 milímetros de espesor por el lado interior de la curva y otros dos tendones de 19 cordones de igual espesor en el borde externo de la curva a fin de contrarrestar la flexión transversal y el peso del arco durante su construcción.

Para compensar la tracción horizontal de los arcos, en el interior del tablero y sobre su mismo centro de gravedad, se tendió un tirante pretensado, anclado a las riostras de las pilas 5 y 7 y capaz de soportar fuerzas de tesado de 100.300 kN.

A fin de facilitar su montaje, cada arco se dividió en once elementos de unas 600 kN de peso y 18 metros de longitud que se fueron situando sobre apoyos provisionales con ayuda de varias grúas móviles. Tras acoplarlo en su posición definitiva cada elemento metálico se soldaba al anterior y, una vez mon-

tados todos, se realizó el hormigonado a través de unos orificios habilitados al efecto cada 4 metros. El hormigonado, para el que se trazó un riguroso plan de control de tiempos de llenado y temperaturas a fin de asegurar su absoluta homogeneidad, se efectuó de manera simétrica partiendo de los arranques y de forma independiente en cada arco.

El tablero se suspendió finalmente de los arcos mediante un sistema de 34 parejas de péndolas distribuidas cada cuatro dovelas –8,64 metros–. Cada par de péndolas está a su vez integrado por dos tendones paralelos anclados al eje del tablero, en sus losas superiores, a intervalos de 2 metros. Para el tesado de las péndolas mediante gatos hidráulicos se siguió un meticuloso proceso con controles de temperatura del hormigón en arcos y tablero y del acero de los tendones. Los datos se procesaban mediante ordenador hasta obtener las fuerzas idóneas a aplicar en cada gato.

En 2010, el viaducto de Navia mereció una de las menciones especiales en la categoría de Estructuras de Ingeniería Civil que entrega la Federación del Hormigón Estructural en reconocimiento a sus numerosas aportaciones al proceso constructivo. ◀

BUILDING BETTER CITIES

© Lafarge Media Library. Photographes: Veronique Toussaint

Líderes mundiales del sector de los materiales de construcción y con una posición puntera en las actividades de cemento, áridos, hormigón, contribuimos a la construcción de las ciudades de todo el mundo. Nuestras soluciones innovadoras hacen posible que las ciudades sean más acogedoras, más compactas, más duraderas y más estéticas y, además, que estén mejor conectas.

Presente en 64 países, el Grupo emplea a 65.000 personas. En 2012, obtuvo unas ventas de 15.800 millones de euros.

LAFARGE
Construir
mejores ciudades™



PUENTE DE **IBN FÍRNÁS**

CON ARTE Y TÉCNICA

Ya contaba el río Guadalquivir, a su paso por la ciudad de Córdoba, con seis puentes para atravesarlo, pero para completar la construcción del tramo de autovía, de 5,94 kilómetros, que discurre por el oeste de Córdoba, con sus tres enlaces que conectan con el sur de la ciudad, se hacía necesario un nuevo cruce del río para dar acceso a la salida de vehículos hacia esos lugares. El puente de Ibn Fírnás es una estructura capital de la variante Oeste de Córdoba, inaugurada el 14 de enero de 2011, que abre una vía directa hacia Málaga y en la que se conjugan arte y técnica de manera muy singular.



► *Vista aérea del puente sobre el río Guadalquivir y uno de los arcos metálicos que lo coronan.*

M^º DEL CARMEN HEREDIA CAMPOS
FOTOS: DCE ANDALUCÍA OCCIDENTAL

El puente de Abbás Ibn Firnás se yergue junto al llamado «vado de Casillas», antiguo paso del Guadalquivir en un meandro del río situado a 4 kilómetros del centro geográfico del núcleo urbano de Córdoba en dirección sudoeste. Zona de antiguas almunías en época califal e incluso de una gran noria que citan las crónicas, desaparecida, que también dio nombre al paso como «vado de la noria». A unos metros del puente, aún se mantiene en pie el antiguo molino de Casillas, unido a la orilla derecha del río por su gran azud artificial, donde se instaló en el siglo XIX una central eléctrica para el alumbrado de la ciudad, al contar con un importante salto de

agua que, con avanzada maquinaria instalada, podía llegar a producir del orden de 258.000 Wh. Abandonado e impasible ante el paso del tiempo y la gran obra de ingeniería próxima a él, el molino espera, tal vez, su restauración para usos culturales.

► Nueva imagen

Arte y técnica se funden en el puente de Ibn Firnás, formando parte de los llamados hoy día puentes-escultura o puentes de autor. La redacción del proyecto se encargó a la consultora andaluza Ayesa, siendo su autor, José Luis Manzanares Japón, ingeniero y humanista al mismo tiempo, que no podía por menos que dar una imagen al nuevo paso del río que trascendiera el puro diseño industrial y utilitario para ofrecer un puente que, calcando lo que debió ser la imagen del ingeniero y científico cordobés



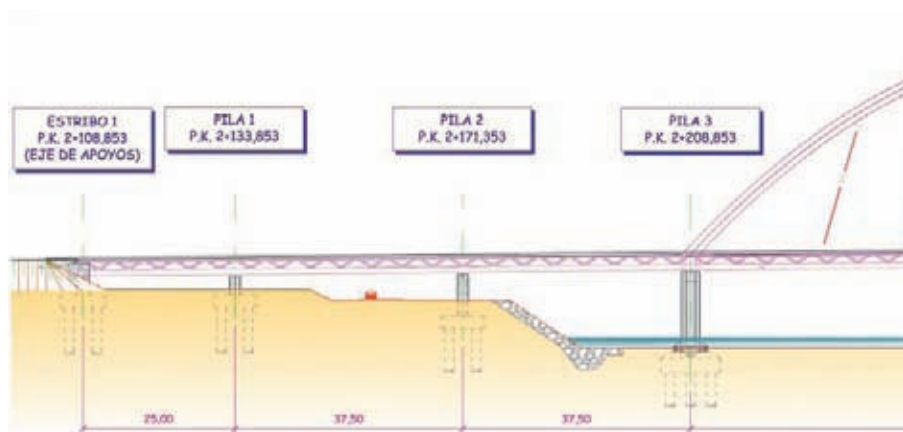
Abu al-Qásim Abbás Ibn Firnás ibn Wirdas

Abbas Ibn Firnás, erudito, científico, químico e inventor (810-887), llamado a Córdoba, capital de Al-andalus en los siglos IX y X, por Abderramán II, no llega a los estudiosos de su figura la adaptación local que pudo tener su nombre en su época como era habitual en los nombres árabes, aunque pudo ser Armen Firnás, pero puede que en este siglo XXI y debido al puente, la fuerza popular acabe acomodando el nombre con que recordar al inventor cordobés. Fueron muchos e innovadores sus estudios e inventos, pero el que se rememora con la elección de su figura para este puente fue el vuelo que realizó, con casi 70 años, desde un alto de la Arruzafa, simplemente con sus grandes alas de madera y tela cubiertas de plumas de ave y consiguió volar por espacio, se dice, de 10 minutos, aunque aterrizando violentamente y rompiéndose varios elementos de su cuerpo, para llegar a la conclusión, tan importante, de que para volar no bastaba con que la armadura tuviese alas, como los pájaros, sino también cola para aterrizar con éxito.

Abbás Ibn Firnás, allá por el año 875, planeando sobre Córdoba, muestra su figura posándose suavemente con sus gigantescas alas artificiales sobre las aguas del Guadalquivir. La aparente liviandad de su imagen recortada sobre el cielo azul hace volar, asimismo, la imaginación del que la contempla.

Su alzado es el de un puente de tablero atirantado desde dos arcos rebajados superiores que parten

► Vista lateral del puente y de sus pilas. Página opuesta, el puente es el elemento más singular de la variante Oeste de la Córdoba.

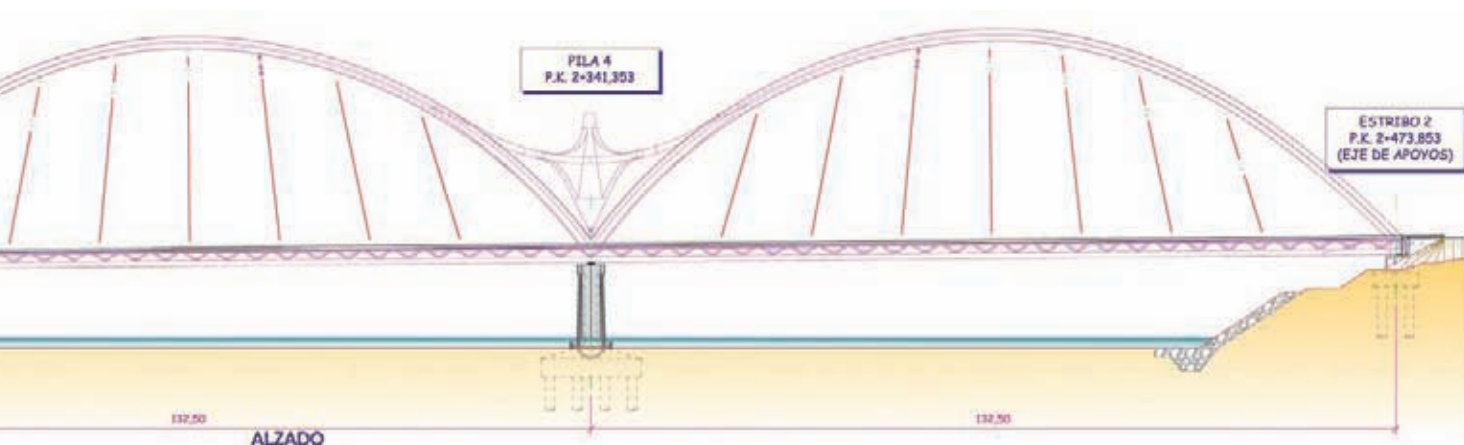




desdoblados desde los estribos y se van acercando entre sí dirigiéndose a la pila central, donde se enlazan por un contra-arco del que cuelga una escultura abstracta metálica que simboliza la figura del ingeniero Firnás. El puente no permite el acceso de los peatones; sin embargo, para contemplarlo se ha acondicionado una zona peatonal en el estribo de la margen derecha del río con un punto de interpretación del mismo.

En el plano técnico, debido a la anchura del cauce del río en esta zona (270 metros), el puente se ha construido con una longitud total de 365 metros y 30,40 metros de ancho, con dos vanos principales más otros tres de acceso en la margen derecha del río. Soporta dos calzadas de tres carriles cada una, de 3,50 metros en cada sentido, más los correspondientes arcenes de un metro de ancho, todo lo cual permite una velocidad de circulación de 100 km/h. Se reserva una banda de 4,40 metros de ancho, entre los bordes de los arcenes interiores, en la que están situadas las barreras rígidas de mediana y, entre ellas, los elementos estructurales del sistema de atirantamiento del puente.

Los arcos tienen 132,50 metros de luz y 35 de flecha o altura, cada uno de ellos, y están formados por piezas de sección hexagonal que se unen entre sí mediante un sistema de machihembrado. Van rellenos con 2.040 m³ de hormigón y sustentan el tablero mediante siete tirantes cada arco, en forma de "Y", por cuyo pie están anclados en el eje central del tablero. La viga metálica es de 2,50 metros de canto y está dividida en dos partes diferenciadas. Sobre ella descansa la losa de hormigón que forma el tablero, que, a su vez, está dividida en dos. Este tablero está calculado para resistir tanto los esfuerzos de flexión como, en los vanos principales, los de tracción que le transmiten los arcos.





José Luís Manzanares: la defensa de la importancia de la imagen

José Luís Manzanares Japón (1942), ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, se integra en el grupo de ingenieros andaluces, diseñadores de estructuras funcionales a la vez que singulares, que compiten entre ellos por alcanzar el mayor grado de belleza al mismo tiempo que de utilidad para las que sus obras primordialmente son construidas: para favorecer la comunicación en el ámbito social así como en el comercial. Sostiene Manzanares que, al construir los ingenieros grandes obras y muy visibles, no es suficiente con que apliquen la técnica apropiada para que funcionen bien, algo que se les supone, sino que deben integrar e incorporar en sus obras signos de identidad e imagen del entorno.

Teniendo muy presente en sus diseños el valor de esta imagen y lo que ella puede transmitir en cuanto a emociones y sensaciones a aquellos que utilizan el medio o simplemente lo admiran, le distingue su gran afán por proyectar los puentes con lo que él denomina una «estructura épica», es decir, que tengan como referente una historia o leyenda «encardinada con el lugar donde esté la obra». Es por lo que Manzanares no podía diseñar un puente para Córdoba que no reflejase una

historia de la época de esplendor medieval de la ciudad, sin menoscabo de que el puente cumpliera con su obligación natural de funcionar bien y ser lo menos costoso posible. Eligió así a Abbás ibn Firnás –desconocido en Occidente, no así en Oriente–, importantísimo e innovador científico cordobés, de estirpe bereber y origen rondeño, del siglo IX, al que recupera del olvido y nos entrega con sus grandes alas –esta vez de acero en vez de plumas–, desplegadas sobre el puente del Guadalquivir.

Obra de Manzanares, también en Andalucía, muy arriesgada en su diseño y muy distinta del puente de Ibn Firnás, es el puente del Guardián del Castillo, o «puente del Dragón», sobre el río Guadaira, en Alcalá de Guadaira (Sevilla), inaugurado en 2007. Acorde con su idea de los puentes épicos, en esta ocasión el motivo figurativo del puente es un gran dragón con cabeza de cerámica vidriada cuyo diseño, aunque controvertido, cuenta con la inusitada particularidad de que fue elegido por los propios vecinos de la localidad, entre las propuestas presentadas, por reflejar la imagen de un dragón guardando el hermoso castillo almohade alcalaíno próximo al puente.

► Los dos arcos metálicos –con 132 metros de luz– y la escultura central evocan un ave posándose con sus dos grandes alas sobre el río.



► *Detalle de una de las piezas de uno de los arcos y vista del puente Ibn Firnás desde la calzada.*

Los vanos de acceso se han resuelto mediante la prolongación de la viga sobre tres pilas más, desde el estribo del puente en la margen derecha del río, con una altura de 3,125 metros en la primera, 7 metros la segunda, 13,06 metros la tercera y 13,45 metros la cuarta, que coincide con el centro de los dos arcos y la figura de Ibn Firnás, y producen tres vanos de luz de 2,5, 37,50 y 37,50 metros respectivamente. A ambos lados del puente, en los estribos, se han instalado unas aletas verticales para impedir el derrumbe de tierras.

► **Proceso constructivo**

En primer lugar hubo que canalizar el río para cimentar los estribos, las cuatro pilas y los pilares provisionales, todos de hormigón, sobre los que iba a descansar el tablero. El segundo paso fue el montaje del tablero metálico, excepto los voladizos de la losa, para a continuación cubrir de hormigón dicha losa central y montar las celosías laterales. Se siguió con el montaje de los arcos para terminar con la colocación de los tirantes de estos, la instalación de la figura central de Ibn Firnás y el hormigonado definitivo.

Para la ejecución del tablero se comenzó por el montaje del cajón metálico central mediante la utilización de 15 tramos longitudinales, el mayor de ellos de 45 metros, que se construyeron en las instalaciones de Tecade en Utrera, se transportaron en camiones y se armaron en su lugar definitivo apoyándose en el estribo, en la pila o en otro tramo ya colocado. Además, se tuvieron que montar ocho apeos provisionales para tender aquellos tramos que no contaban con pila. Sobre el cajón se colocó una prelosa de hormigón, de 13 metros de ancho, para dar seguridad personal durante las obras así como para que pudiesen circular los vehículos auxiliares.

Para la construcción de los arcos se instalaron unas torres auxiliares de celosía que actuaban a modo de cimbra sobre las que se fueron aparejando, soldando y rellenando con hormigón las piezas del arco, desde los estribos hacia el centro, para

terminar extendiendo los siete tirantes de cable de cada uno de ellos, ofreciendo, en planta, la imagen de un abanico desde la línea de arranque del arco hasta su borde superior. Este proceso finalizó con la retirada de las torres auxiliares.

Para terminar la obra se completó el hormigonado de la losa, se impermeabilizó y pavimentó el tablero y se realizaron las pruebas de carga con el paso de unos 64 camiones de 38 toneladas. Para la construcción de este puente se emplearon 5,5 millones de kilos de acero, 40.000 kilos de acero en tirantes y 10.000 m³ de hormigón.

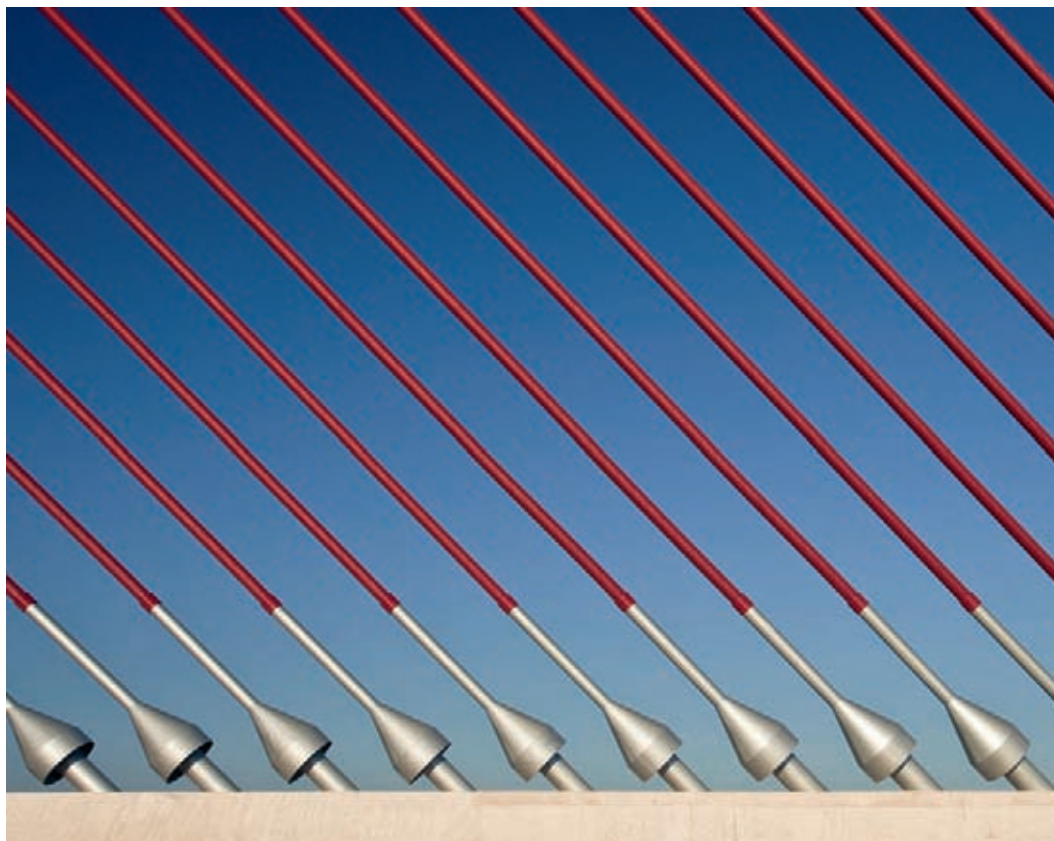
► **Adecuación ambiental**

Cualquier obra importante que se emprenda hoy día demanda el restablecimiento del entorno deteriorado durante las obras. En este caso, en los bordes de la autopista que acoge al puente se plantaron especies autóctonas y se crearon caminos y áreas de recreo. Y por la margen derecha discurre un paseo para bicicletas y peatones donde, a su vez, se ha ubicado una placa de hierro oxidado con información sobre Abbás ibn Firnás. ◀

*La obra
arrancó con la
canalización
del río
Guadalquivir
para cimentar
los estribos,
las pilas y los
pilares
provisionales*

PUENTE ATIRANTADO DE **TALAVERA DE LA REINA****ESBELTA ATALAYA**

El nuevo puente atirantado de Talavera de la Reina es un singular hito de la ingeniería moderna en nuestro país que concentra en su esbelta silueta algunos récords a nivel nacional y europeo. Para su construcción se han seguido unos cuidadosos estudios previos y un riguroso control en obra, especialmente en su estilizado pilono inclinado y en el tesado de su sistema de atirantamiento.



R.F. FOTOS: ESTUDIO AIA

Las expectativas de crecimiento de Talavera de la Reina (Toledo) en los primeros años de la pasada década llevan a proyectar una circunvalación que retire el tráfico de paso de la ciudad y mejore sus accesos por el sur y el este. Se comienza así la construcción de la llamada Ronda Sur o del Tajo, cuya declaración de impacto ambiental impone como principal condicionante salvar el brazo principal del río mediante un único paso sin apoyos en esa zona de su cauce. La propuesta finalmente elegida es la de los ingenieros Ramón Sánchez de León y Christian Bernal Pérez, del estudio AIA (Arquitectos e Ingenieros Asociados, SA) que, junto al arquitecto Fran-

cisco Sánchez de León, proyectan un puente atirantado de gran luz en el vano principal –318 metros–, cuyo tablero se sustenta con tirantes a un único pilono inclinado de gran altura: 185 metros sobre cimentación. Con este nuevo puente la ciudad suma ya cuatro pasos para salvar las aguas del Tajo, siendo el más antiguo el llamado puente de Santa Catalina, conocido también como puente Viejo, cuya fábrica data del siglo XV aunque sus orígenes se remontan a tiempos romanos.

► **Referente urbano**

La singularidad de diseño del nuevo puente de Castilla-La Mancha, además de satisfacer los requisitos medioambientales, busca hacer de la estructura un nuevo referente urbano, un vial más ágil pa-

► *El tablero del puente está sostenido por un sistema de atirantamiento cuidadosamente estudiado e integrado por 38 pares de cables de anclaje al pilono.*



ra el tráfico rodado pero también compatible, seguro e integrado para otros posibles usos ciudadanos, especialmente en el tejido conectivo entre el casco antiguo y los futuros desarrollos de la ciudad.

A partir de esas premisas, algunos de los elementos más característicos del puente empiezan a concentrar récords que lo convierten en un singular hito estructural de la ingeniería española de estos últimos años: pilono inclinado de mayor altura en Europa, puente atirantado de un único pilono y tablero de hormigón con más luz del mundo, segunda mayor longitud de tirante en Europa –405 metros–.

Todas esas características hicieron necesarios unos exigentes estudios previos, tanto de los condicionantes

geológicos como del comportamiento de estructuras y materiales utilizados, que se ampliaron además posteriormente *in situ* durante las fases de construcción y tesado.

Las obras dieron comienzo en el mes de mayo de 2007 y el puente fue finalmente abierto al tráfico el 17 de octubre de 2011.

La estructura más poderosa del puente, y la que lo dota también de su

La estructura más poderosa del puente, y la que lo dota de su gran potencia estética, es su pilono inclinado, que, con 192 metros de altura, es el más alto de España

gran potencia estética, es su esbelto pilono inclinado, que, con 192 metros de altura y un ángulo de inclinación de 22°, es el más alto de España. A él se sujeta el tablero de 320 metros de largo y 36 metros de ancho, dimensiones que lo convierten también en uno de los de más anchura de cuantos atirantados de un solo vano se han construido en nuestro país.

El tablero se prolonga en un viaducto curvo de acceso de 408 metros de longitud, con nueve vanos y dos únicos cajones de hormigón blanco gemelos. Tiene una capacidad de dos carriles por sentido para circulación de vehículos, con posibilidad de ampliación para un tercero, además de sendas aceras peatonales y un carril bici.

Con un canto de solo 2,75 metros, el tablero acentúa la impresión de ligereza y armonía de toda la obra. El material elegido para la construcción fue básicamente hormigón blanco de alta resistencia, desde los 80 MPa (megapascas) en los puntos más críticos, como el empotramiento del estribo, hasta



Los récords

- ▶ Pila inclinada más alta de Europa (192 metros).
- ▶ Pila más esbelta, con una anchura de 4 metros para los 192 de altura.
- ▶ Tirantes más largos de España, con una longitud de 405 metros entre anclajes.
- ▶ Puente atirantado con tablero más ancho (36,00 metros).
- ▶ Puente atirantado de un solo pilono con más luz de España (vano de 318 metros).
- ▶ Puente atirantado de un solo pilono y tablero de hormigón con mayor luz del mundo.



► *Por indicación de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), el puente salva el brazo principal del río Tago sin apoyarse en el cauce fluvial.*

los 45 MPa en tramos sometidos a escasa flexión. Por el contrario, en el último tercio del tablero (135 metros) donde anclan los tirantes de mayor longitud e inclinación, se procedió al refuerzo con un pretensado interno adherente, mientras que el resto se hizo solo en armado.

► Sistema de anclaje

El tablero está sostenido por un sistema de atirantamiento cuidadosamente estudiado e integrado finalmente por 38 pares de cables de anclaje al pylon, con una separación transversal de 28 metros y longitudinal de 7 metros sobre tablero. Los otros 38 pares de tirantes de retenida están fijados a dos muertos de anclaje de hormigón postesado que refuerzan la estabilidad del puente al actuar como sendos contrapesos de 40.000 toneladas. Los dos muer-

tos de anclaje se fijaron a su vez al pylon mediante puntales de hormigón para contrarrestar las tensiones horizontales.

Debido a su proximidad al río y a su colocación subterránea, el diseño de los dos muertos de anclaje se realizó con especial meticulosidad a fin de asegurar la estabilidad de toda la estructura incluso bajo el supuesto de máximas avenidas que cubrieran de agua la zona. Unas pantallas perimetrales a cada muerto reducen el riesgo de filtraciones y refuerzan la estabilidad de los suelos en la zona. Cada muerto, de 65 metros de largo, 19,40 metros de ancho y 9,50 metros de profundidad, dispone de dos galerías laterales rellenas de hormigón pobre y de otra galería central donde se aloja el anclaje de los tirantes de retenida, que también se pueden admirar sobre el techo de una galería subterránea abierta al efecto.

En todo el sistema de atirantamiento se utilizaron 1.785 toneladas de cable de acero. Los tirantes están compuestos por un número variable de cordones de acero que oscila desde un mínimo de 11 hasta un máximo de 97, con una tensión de rotura de 1.860 MPa y 0,62 pulgadas de diámetro. Cada cable, alguno de más de 400 metros de longitud, además del galvanizado aplicado en cada uno de los cordones, está protegido con una vaina de polietileno de alta densidad individual y una cobertura de grasa entre la vaina y el propio cordón. Para reforzar su integridad frente a fenómenos meteorológicos adversos como viento y lluvia, todos los tirantes se protegieron con una vaina exterior de color rojo y relieve helicoidal, y en los cables se dispusieron amortiguadores para contrarrestar las vibraciones a causa de esos mismos agentes.

► Equilibrio

El pilono inclinado, su esbelta y estilizada silueta, es el elemento estructural que da al puente su más acusada personalidad. Está erigido sobre un encepado rígido, construido a gran profundidad en hormigón gris, con un volumen de 6.912 m³ y con una superficie de 36x32 metros en planta y canto de 6 metros. Para el encepado se proyectaron 56 pilotes de 29 metros de profundidad y 2,5 metros de diámetro. El cálculo de la distribución de cargas entre pilotes se realizó a partir de simulación mediante mode-



Doble plano de tirantes

La gran luz del tablero del puente de Talavera, su perfil aerodinámico y su elasticidad requirieron de una exigente fase de cálculo previo para establecer un protocolo pormenorizado en la construcción de cada uno de sus elementos y sincronizarlo con un no menos riguroso protocolo de tesado para los 152 cables que integran su sistema de atirantamiento. Entre otros estudios y análisis previos, se realizaron ensayos de módulos elásticos de los hormigones y aceros utilizados; cálculos de los pesos exactos de cada elemento; análisis de los tiempos de ejecución y edades de puesta en carga de cada elemento; cálculos de las temperaturas en cada fase de obra, o la determinación de las fases de tesado en función de los condicionantes de instalación de tirantes. Todo ello dio como resultado un modelo evolutivo que permitió conocer en detalle los requerimientos en cada fase y definir un protocolo de tesado con grandes márgenes de control en todas sus posibles variables. Se procedió así a la construcción del tablero sobre pilas provisionales y a la del pilono mediante encofrado trepante. A

medida que se avanzó en la elevación del pilono y se alojaron en él los tirantes se procedió al tesado en dos fases: primero al 85% de la carga final, con retirada gradual de las pilas provisionales conforme a la instalación de los cables, y posteriormente, con cargas muertas, se efectuó el reteado hasta alcanzar el 100% de la carga definitiva en cada cable.

Para garantizar el máximo control durante todo el proceso se instaló un completo sistema de instrumentación del puente compuesto por células de carga en cables, bandas extensométricas en tablero y pilono, clinómetros y termómetros en hormigón y acero de tirantes. Se practicaron asimismo seguimientos de las cargas en tirantes mediante pesajes y seguimientos topográficos en diversos puntos de control de tablero y pilono. También se procedió a un estricto control térmico en todas las fases del tesado para adaptar las cargas en cada momento a los requerimientos de obra. Los cables se instalaron con sistema de isotensión, tesando uno a uno los cordones de cada tirante con gato monocordón.

► Arriba, en el sistema de atirantamiento se han utilizado 1.785 toneladas de cables de acero. Página opuesta, detalle de la construcción del tablero y el pilono y una vista bajo el tablero del puente.



lo de elementos finitos, estimándose una carga máxima en cabeza de pilotes en torno 1.000.000 kN en estado límite de servicio.

El pilono ayuda a equilibrar con su peso una parte del peso del tablero y mantiene un ángulo de inclinación de 22° sobre la vertical. Mantiene también una anchura constante de 4 metros que acentúa la rotunda esbeltez de su perfil. Para su construcción se utilizó hormigón blanco autocompactante de 70 MPa.



Para acoger los anclajes de los tirantes, a partir de los 62 metros de altura el pilono incorpora una célula interior de acero S- 355 cortén de 3x3 metros y 753 toneladas. La célula metálica, con una longitud total de 131,50 metros, fue utilizada como encofrado perdido, aprovechándose como apoyo en la construcción de los encofrados trepantes levantados en tramos de 3 metros de altura. Los paneles laterales de la célula son de mayor grosor (40 milímetros) que los frontales (30 milímetros) para aliviar las tensiones de trabajo del acero por equilibrio de cargas de los tirantes del tablero y retenida y prevenir posibles deformaciones del metal que puedan repercutir en el hormigón.

El diseño de las placas de anclaje de los tirantes que se alojan en el interior de la célula fue asimismo resultado de un largo proceso de análisis y estudio de su comportamiento mediante modelización. Su estructura se estudió meticulosamente para transmitir las cargas de la manera más idónea hacia los paneles superiores e inferiores de la célula y desde estos, mediante mecanismos de flexión cortante, hasta las paredes, donde se compensan con los tirantes contrarios y el recubrimiento de hormigón. ◀

Ficha técnica

- ▶ Autores: Ramón Sánchez de León, Francisco Sánchez de León y Christian Bernal Pérez (Estudio AIA, S.A.)
- ▶ Volumen de hormigón: 72.108 m³
- ▶ Acero pasivo B-500 S: 7.800 tn
- ▶ Acero en tirantes: 1.785 tn
- ▶ Acero estructural S-355: 753 tn



VIADUCTOS DE **DESPEÑAPERROS**

PASO HISTÓRICO



M^a DEL CARMEN HEREDIA CAMPOS

FOTOS: DCE ANDALUCÍA ORIENTAL



En el siglo XVIII, con intención de asegurar los caminos de postas, se toma plena conciencia de la necesidad de adecuar una comunicación más directa entre Madrid y una ciudad tan importante como Cádiz, cabecera del comercio con las colonias americanas, que la que se venía utilizando por el «camino abierto por Olavide» para Andalucía, que partía de Santa Cruz de Mudela, atravesaba Sierra Morena, se desviaba hacia Aldeaquemada, al este de Despeñaperros, y retrocedía hacia el oeste para llegar a Santa Elena, todo ello por camino de herradura, rodeando así el montañoso paso de Despeñaperros. En 1772, el ingeniero español Joaquín Iturbide, Administrador General del Correo de Madrid, recomienda la ejecución de un nuevo trazado por el desfiladero, por ser «el más llano, el más corto y el más permanente, porque con él se evitan las subidas y bajadas de los puertos que se encuentran en los otros caminos, la distancia se reduce en seis leguas para la misma comunicación y el terreno es de buena calidad».

Con su consejo y el proyecto para un «camino de ruedas» por la orilla del río Magaña evitando toda cuesta y particularmente las del puerto del Rey del insigne ingeniero de origen francés, Carlos Lemaury (españolizado su apellido, Le Maux), se inician las obras en Despeñaperros en 1778, siendo Florida-Blanca responsable de las comunicaciones, y las dirigen Lemaury y sus hijos. Finalizan en 1780 estableciendo un camino para diligencias de 34 kilómetros de longitud, 11 metros de anchura y un coste de 2 millones de reales (una fanega de trigo podía valer en este periodo de 20 a 60 reales de vellón según el lugar). Por primera vez se vence esta barrera natural, que infundía respeto tanto por su dificultad montañosa como por ser territorio de bandoleros bien asentados entre sus riscos que, incluso, legaron a la posteridad sus nombres asociados a la toponimia del lugar, como la cueva de José María el Tempranillo, al oeste del desfiladero.

► Historial caminero

Esta vía, al ser un paso crucial, por el que siempre ha ido aumentando su circulación, se ha venido modificando desde su creación hasta hoy. En 1866 se construye en ella el único viaducto entre la meseta y Andalucía, para el ferrocarril Manzanares-Córdo-

El paso de Despeñaperros, nudo gordiano histórico en las comunicaciones entre la meseta y Andalucía, en plena Sierra Morena, ha sido una preocupación de los planificadores de caminos españoles desde el Siglo de Oro, cuando se proyectaron los caminos reales. En 2012 se abrió al completo una nueva variante de tres carriles por sentido, una sucesión de túneles y viaductos de pendientes imperceptibles, que garantiza velocidades medias de 100 km/h y permite un sensible ahorro de tiempo en la travesía del tramo.



ba; en 1877, el Plan General de Carreteras fija el trazado de la N-IV de una sola calzada con doble vía; en 1926 se modifica algo el trazado; con el Plan de Modernización de Carreteras, de 1950, se abre el túnel de Despeñaperros acortando camino; y entre 1981 y 1984 se desdobra la N-IV, con un coste de 2.200 millones de pesetas, adecuando la calzada existente solo para ir a Andalucía y construyendo una nueva para ir de Andalucía a Madrid; se eliminan muchas curvas, se hacen dos nuevos túneles en el Mirador (178 m) y en Los Órganos (473 m) y se rodea Santa Elena mediante una variante. Por entonces, el tráfico en este lugar era de 8.000 vehículos diarios, con un 30 por ciento de camiones. Al construirse la autovía del Sur (A-4), que parte de Madrid y finaliza en Cádiz, resurge el problema de Despeñaperros y cómo integrarlo en la nueva infraestructura.

Con el último trazado de Despeñaperros entre Venta de Cárdenas (Ciudad Real) y Santa Elena (Jaén), formando parte de la nueva autovía del Sur, se acorta el tiempo de circulación por la zona más complicada del trayecto en casi 10 minutos, a la vez que se hacen prácticamente imperceptibles los cam-

bios de nivel y curvaturas del terreno, agilizando considerablemente el tráfico que debía circular con lentitud y gran precaución por este paraje. Actualmente se calculan unos 24.000 vehículos diarios (31% de ellos camiones) pasando por la nueva variante y se prevé que puedan aumentar hasta más de 55.000 en el año 2030.

► Proyecto e inauguración

Teniendo buen conocimiento de la complicada orografía del entorno donde se iba a construir la nueva variante de Despeñaperros, el proyecto obligaba a la inclusión de túneles, viaductos y pasos para que, tanto durante las obras como con la circulación posterior, el parque natural soportase el menor impacto ambiental posible al mismo tiempo que el trazado, como autovía, cumpliera con los requisitos exigidos para una construcción moderna así como con los impuestos por la declaración de impacto ambiental (septiembre de 2007). Por tanto, se proyectó este tramo de la autovía con el cuidado de que respetase el entorno natural orográfico, floral y

► *Viaductos de El Manantial y Las Tinajuelas, pretensado de cables e izado de viga en el viaducto de Venta de Cárdenas.*



► Viaducto del río Despeñaperos (arriba) y detalle de la ejecución de dovelas de uno de los viaducto de la variante.

faunístico, así como para que absorbiese tanto el tráfico actual como los probables aumentos circulatorios futuros para así minorar lo más posible nuevas intervenciones en un paraje tan sensible a las obras.

La nueva variante de Despeñaperos, de gran magnitud, se empieza a delinear en 2001, a iniciativa del

Ministerio de Fomento. El proyecto fue de Acciona Ingeniería y la construcción se adjudicó en 2004 a la empresa FCC Construcción S.A. por 79,1 M€ para el trayecto totalmente nuevo de Andalucía hacia Madrid, entre Venta de Cárdenas y Santa Elena, de 8,8 kilómetros, para una velocidad máxima de 80 km/h. Para el trayecto de Madrid hacia Andalucía se decide aprovechar la calzada existente de los años 80, uniendo sus dos mitades más modernas, dejando otras actuaciones de mayor envergadura y coste para el futuro. Sin embargo, en 2007, ya en avanzada construcción el trazado entre Santa Elena y Venta de Cárdenas en sentido Andalucía-Madrid, se decide modificar el proyecto con la inclusión de una nueva calzada también para la vía Madrid-Andalucía, entre Santa Elena y el túnel del Corzo, desde donde sí se aprovecharía y remodelaría el antiguo trazado de la carretera hasta Venta de Cárdenas, aunque cambiando su sentido hacia el norte por el sentido hacia el sur. El proyecto se adjudicó en septiembre de 2008 con un presupuesto de 97 M€, aumentando la longitud del trazado hasta 9,4 kilómetros y la velocidad máxima hasta 100 km/h. De esta



manera, el paso de Despeñaperros contaría con dos calzadas nuevas de tres carriles cada una y un trazado casi rectilíneo.

Finalmente, la primera fase se inauguró en septiembre de 2011, con la realización completa de la vía en dirección Madrid, desde el enlace de Santa Elena hasta el enlace de Venta de Cárdenas, de 9,4 kilómetros, y casi el 50% de la vía en dirección Andalucía, entre Santa Elena y el enlace de Aldeaquemada. El coste de esta fase alcanzó los 190 M€. La segunda fase, la del tramo restante, de 4,8 kilómetros, entre el enlace de Aldeaquemada y Venta de Cárdenas en dirección Andalucía, se inauguró en junio de 2012 completando así el proyecto, con un presupuesto final de 245 M€. Por su parte, la expropiación de terrenos sumó 211,6 M€ (185 M€ en Andalucía y 26,6 M€ en Castilla-la Mancha).

En un trayecto de 18,5 kilómetros de recorrido, sumando los dos sentidos de esta variante de Despeñaperros, se sortean las carreteras de 1984, el río Despeñaperros, la línea de ferrocarril Madrid-Córdoba y barrancos, arroyos, vaguadas y pasos de fauna mediante 11 viaductos, con sus accesos y salidas, seis túneles y otros pasos; se ha remodelado también la margen este del enlace de Santa Elena y se ha construido un nuevo acceso a la carretera de Aldeaquemada. Se han completado las obras con la iluminación de los túneles, la señalización del recorrido y la adecuación paisajística y faunística del entorno. La dirección de las obras ha corrido a cargo de José Lorente Gutiérrez, ingeniero del Ministerio de Fomento.

La variante incluye una serie de siete viaductos nuevos

► Prueba de carga con camiones en el viaducto de Despeñaperros.

Viaductos de tipología variada

Los viaductos se diseñaron con una tipología flexible, de vanos isostáticos de luces variables entre los vanos, de forma que las cimentaciones de las pilas no afectaran ni a las antiguas calzadas de la autovía, que seguían manteniendo el tráfico durante las obras, ni al discurrir de los principales cauces del parque. En los tres grandes viaductos del tramo de Santa Elena, las pilas y los soportes para las vigas se construyeron sobre el terreno y, sobre ellos, se fueron colocando las grandes dovelas de hormigón armado prefabricadas, en una planta de la empresa Delta de Prefabricados montada próxima a la obra, y transportadas hasta ésta mediante camiones góndola, o «camiones elefante», adecuados para el transporte de maquinaria pesada. Allí, para formar el tablero, se izaban y colocaban con una grúa pórtico que se desplazaba sobre neu-

máticos inflados para no perjudicar las dovelas ya instaladas y, mediante una viga autolanzable de celosía metálica y con la ayuda del cabrestante, se recogía e instalaba cada dovela junto a la anterior, a la que se unía mediante postesado. Esta construcción del tablero en altura no perjudicaba el terreno a la vez que reducía el plazo de construcción. En cuanto a los otros viaductos del tramo norte de la autovía, son de tipología variada; los hay de vigas prefabricadas de doble T, de vigas artesa y el de Cuchareros, de arco metálico. Respecto a los cinco nuevos túneles, se han construido por excavación en mina, por el llamado nuevo método austriaco, y su posterior iluminación la ha calculado e instalado la empresa Indal, con 2.140 proyectores y 72 luminarias entre Corzo sentidos norte y sur, Despeñaperros norte y sur y Cantera norte y sur.



► **Viaducto y túneles de El Corzo.** Debajo, planta de dovelas para la ejecución de los viaductos de El Manantial, Las Tinajuelas y Despeñaperros.

► Descripción del recorrido

Las dos calzadas de la variante de Despeñaperros, independientemente de su sentido, se empiezan a construir en el p.k. 257, 5, al oeste de Santa Elena, y discurren unidas desde Santa Elena hasta pasado el enlace con la carretera de Aldeaquemada, donde ambas vías se bifurcan para volver a encontrarse próximas a Venta de Cárdenas.

El recorrido desde Santa Elena hacia Ciudad Real comienza con un descenso del terreno, del 5% de pendiente, desde el p.k. 256 hasta el p.k. 250, donde se hallan el fondo del valle del río Despeñaperros

y el enlace con la carretera de Aldeaquemada, y desde este punto comienza a ascender con una pendiente del 3% hasta entrar en la provincia de Ciudad Real. Este primer tramo de descenso a salvar por la nueva calzada inicia su recorrido de grandes obras por el viaducto de Santa Elena (160 m), sobre el barranco y el arroyo de las Canteras, continúa por el cerro de las Lomas y, a 253 m del viaducto de Santa Elena, se encuentra con el viaducto del Manantial (550 m), sobre el arroyo del Tomizo. Este es el viaducto más singular del recorrido y está formado por vanos isostáticos de 45 y 39 metros, con pilas de hasta 80 metros de altura. Sigue la calzada unos 171 metros y atraviesa el viaducto de Las Tinajuelas (580 m) sobre la vaguada del arroyo del Rey y las dos calzadas construidas en los años 80, para, a su salida, iniciar una amplia curva hacia el oeste en cuyo punto final se encuentra con el enlace con la carretera de Aldeaquemada, en el p.k. 251, en el que se ha construido, bajo la calzada, un paso de fauna de 40 metros de luz, en el entorno del arroyo de Piedras Blancas, principal foco de fauna de la zona. Poco después, se inicia la bifurcación de la autovía antes de entrar en el viaducto de Despeñaperros (380 m), de nueve vanos y altura de pilas de 39 metros, bajo el que pasa el río Despeñaperros, el ferrocarril Madrid-Córdoba y la N-IV existente sentido norte; sigue la calzada unos 32 metros hacia el paraje conocido como Los Órganos, de especial protección ambiental, y lo atraviesa mediante dos túneles: el de la Cantera (275 m), próximo a la cantera de Renfe



existente en el lugar, y, a 250 metros, el túnel más largo y excepcional del recorrido, el de Despeñaperros, de 1.925 metros, que atraviesa el cerro del Castillo en el collado de los Jardines, lugar que alberga la «cueva de los Muñecos», donde se encontró a principios del siglo XX un santuario de exvotos de figuritas guerreras ibéricas de gran importancia. A tan solo unos 20 metros de su salida, la calzada toma el viaducto de Cuchareros, sobre el arroyo del mismo nombre, con un tablero de 72 metros sobre arco metálico de 53 metros de vano, que lo diferencia de los otros viaductos, proyectado por la consultora Typsa. A 212 metros de su salida, la vía se adentra en el túnel de El Corzo (420 m), en el p.k. 246, con el que se comunican La Mancha y Andalucía, para finalizar el recorrido al entrar, 220 m más adelante, en el viaducto de Venta de Cárdenas (151 m) sobre el río Magaña y, a su salida, incorporarse a la autovía del Sur en dirección Madrid.

La variante de Despeñaperros en sentido Madrid-Andalucía, que sustituye al anterior camino de ma-



► *Ejecución del viaducto de arco metálico de Cuchareros y vista inferior del tablero del viaducto de Venta de Cárdenas.*

yor número de curvas de todo el paso de Despeñaperros, comienza a la salida de Venta de Cárdenas y el primer paso importante que encuentra hacia el sur es el túnel de El Corzo (140 m), rehabilitado sobre el ya existente en la antigua carretera, al que sigue muy próximo el viaducto de El Corzo (451 m), de nueva construcción, aunque habiéndose demolido el antes existente, de igual nombre, para la ejecución del nuevo. A tan solo 17 metros, el trayecto se adentra en el túnel de Despeñaperros (1.922 m), que se comunica con su gemelo, en la vía hacia el

norte, mediante cuatro galerías transversales y un apartadero en su parte central, y a su salida, a unos 251 m, continúa por el túnel de La Cantera (265 m), y a 32 metros, por el viaducto de Despeñaperros (425 m), donde ya se empareja con la calzada que corre en dirección Madrid y continúa unido a ella hasta Santa Elena, completando su recorrido con los tres viaductos prácticamente gemelos a los descritos en la vía sentido Madrid y de iguales nombres: Tinajuelas (560 m), Manantial (580 m) y Santa Elena (155 m), tras





► *Secuencia de la ejecución mediante viga autolanzable del viaducto de Despeñaperros.*

el que finaliza el trayecto Madrid-Andalucía de esta variante incorporándose a la autovía del Sur en dirección sur. Las estructuras, por tanto, salvo las próximas al enlace de Venta de Cárdenas, se presentan por parejas en todo el recorrido con ligeras variaciones en su longitud.

► Orografía complicada

En palabras del ingeniero director de las obras: «La nueva variante fue una obra larga y complicada. Durante la obra tuvimos muchos condicionantes, tanto técnicos como funcionales y ambientales. La obra se hizo en un entorno con una orografía muy complicada, atravesando el parque natural de Despeñaperros, y esto obligó a proyectar múltiples túneles y viaductos, de forma que se pudiera atravesar la zona con la menor afección posible al parque, aunque con un trazado de autovía conforme a los estándares del siglo XXI».

La construcción, llevada a cabo entre 2004 y 2012, ha requerido un importante contingente humano especializado, tanto para las obras como para la fabricación de los importantes elementos que las componen, así como maquinaria pesada de última línea y métodos modernos y muy avanzados para la fabricación de las estructuras, su transporte y colocación en el terreno, así como para la iluminación de los túneles. A ello hay que sumar otras actuaciones como grandes movimientos de tierras y reposición y adecuación del entorno paisajístico, sin olvidar la regulación del tráfico cuando era requerido o la ralentización de las

obras para no entorpecer los periodos de cría de los animales del parque. En el ámbito de la seguridad vial, en Santa Elena se ha construido un centro de control del comportamiento de los túneles, con dotación personal permanente, y en 2013 se han organizado cursos de formación especializada en emergencias en estos túneles para los bomberos más próximos, los de Linares y La Carolina (Jaén).

► **Impacto ambiental**

En un mundo tan sensibilizado como el actual ante cualquier agresión al entorno natural de cualquier obra de envergadura, máxime si el escenario es un parque natural como lo es Despeñaperros, no podía



desatenderse el capítulo de su protección ambiental. De hecho, la profusión de túneles y viaductos se proyectó con la intención de que su construcción lograra amplia capacidad tanto para el tráfico actual como para los previsibles futuros incrementos de éste sin necesidad de tener que actuar de nuevo en esta zona protegida. El paraje de Los Órganos, la parte más afectable del trayecto, en la que se localizan varios viaductos y los mayores túneles, se trató con sumo cuidado procurando que la perturbación vital del parque fuese la mínima. Asimismo, se mantuvo durante todas las obras un sistema de vigilancia ambiental ante cualquier anomalía e, incluso, una vez puesta en servicio la carretera, se restauraron zonas deterioradas de la calzada antigua para devolver al parque natural su imagen original.

Un tramo especialmente tratado, tanto en el aspecto faunístico como en el floral, ha sido el próximo a Santa Elena, entre los p.k. 256,7 y 252,3, donde se han recuperado los cauces de los afluentes del arroyo del Rey, se ha restablecido el entorno alterado con la carretera de 1984 y se han adoptado me-

La sucesión de túneles y viaductos se proyectó para minimizar el impacto ambiental en el parque natural

males. Restablecer este entorno ha tenido un coste de 7,7 M€.

Para los conductores, no cabe duda que la acogida de la obra ha sido excelente. Y no solo porque se reduzca el tiempo de viaje, desaparezcan las curvas y se pueda ir a mayor velocidad; es quizás lo más llamativo el introducirse en la nueva vía, en ambos sentidos, sin apenas notar la diferencia del paso de la calzada A-4 existente a la nueva variante. Y a los no usuarios de estas vías y a los nostálgicos, a los que el impacto visual pueda sorprender en el entorno en el que se hallan, es de suponer que la magnitud y belleza de su simplicidad de líneas, a modo de ágil ciempiés a vista de pájaro, les lleve a reconocer su importancia, a la vez que la liberación de tráfico de las antiguas vías les proporcione un nuevo camino a recorrer con libertad y calidad de disfrute de sus cualidades naturales. ◀

didas para incrementar la autóctona centáurea citricolor. En cuanto a la amplia fauna existente, no solo se han establecido mecanismos para protegerla, especialmente el lince, el lobo y el águila imperial, sino que se fomentará la reproducción del conejo por ser el alimento principal de estos ani-

► *Viaducto de Santa Elena.*

2013

Mapa Oficial de Carreteras[®] ESPAÑA

Incluye:

Cartografía (E. 1:300.000 y 1:1.000.000)

DVD interactivo
(Windows XP, Vista y 7)

Caminos de Santiago en España

Alojamientos rurales 

Guía de playas de España



También en el DVD:

974 Espacios Naturales Protegidos
152 Rutas Turísticas
97 Vías Verdes



**actualizable
vía web**

Edición 48
PVP: 22,40 €



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

SECRETARÍA
GENERAL TÉCNICA

CENTRO
DE PUBLICACIONES



► Prueba de carga del viaducto de la Concha de Artedo, que sobrepasa en altura, anchura y capacidad al vecino viaducto de la N-632.

VIADUCTO DE LA **CONCHA DE ARTEDO**

GRANDES MAGNITUDES



El tramo Las Dueñas-Muros del Nalón de la autovía del Cantábrico (A-8), en servicio desde marzo pasado, incluye en su trazado el viaducto de la Concha de Artedo, singular tanto por su técnica constructiva como por sus grandes magnitudes. Con sus casi 1.200 metros de longitud y pilas que superan los 100 metros de altura, es el viaducto más largo y más alto del Principado de Asturias y de toda la A-8.

PEPA MARTÍN FOTOS: DCE ASTURIAS



Desde la carretera N-632 o desde la cercana línea de costa impresiona la vista de esta mole de hormigón, cuya altura equivale a un edificio de 40 plantas. Deslumbra tanto como los parajes que se descubren al circular por los 1.188 metros de longitud de su table-



ro, que son la playa de la Concha de Artedo a un lado y al otro el valle de las Luiñas, corazón vaquero de Cudillero, concejo por donde discurre el tramo.

Se trata de una estructura singular por sus grandes magnitudes y por su técnica constructiva —una variante del método de dovelas prefabricadas conjugadas— que, implantada en un valle abrupto, salva el río Uncín, la N-632 y la línea de ferrocarril de Feve, haciendo pequeño al viaducto paralelo de la carretera nacional. Con una pendiente del 3,80% y un radio mínimo de 825 metros, el trazado en planta se desarrolla mediante curva y contracurva. A su salida se sitúa el enlace que conduce a las localidades de Lamuño y Salamir.

El viaducto está formado por un tablero de 22,80 metros de anchura que alberga las dos calzadas de la autovía. Se apoya en dos estribos y en 16 pilas, la mayor de las cuales alcanza los 103 metros de altura sobre el fondo del valle, generando una altura de rasante de 107 metros, lo que lo convierte en la estructura de carretera más alta de la A-8 y de Asturias. Sus 17 vanos tienen una luz variable, siendo la máxima de 75 metros.

► Pilas

El terreno donde se alza el viaducto presenta una gran complejidad derivada de una geología dispar y de la presencia de zonas inundables, lo que ha condicionado las distintas técnicas constructivas tanto de la cimentación como de la ejecución de pilas y estribos. Así, la cimentación del estribo 2 y de las pilas

► Arriba, colocación de dovelas mediante la cimbra autolanzable. Página opuesta, ejecución de pila mediante encofrado autotrepante y carro portaencofrados.

Un tramo complejo

El tramo Las Dueñas-Muros del Nalón, donde se inserta el viaducto de la Concha de Artedo, ha sido uno de los técnicamente más complicados y de mayor presupuesto de toda la autovía del Cantábrico. Su trazado, de 8,3 kilómetros de longitud, discurre en buena parte por estructuras singulares pues en el mismo se han construido cinco viaductos (Concha de Artedo, Santa Ana, San Juan, Piñera y Santa Olaya) y dos túneles do-

bles (Somao y San Juan). Desde su apertura, el nuevo trazado ha mejorado las condiciones de circulación, hasta marzo pasado realizada por la carretera N-632 —de trazado sinuoso y con varias intersecciones con los accesos a los núcleos costeros—, captando los tráficos de largo recorrido que circulan por la autovía del Cantábrico en los concejos de Cudillero y Pravia y mejorando la seguridad vial y los tiempos de desplazamiento.



12 a 16 es directa, mediante zapatas apoyadas sobre la roca. Por contra, la cimentación de las pilas 5 a 10 es indirecta, formada por pilotes de hormigón armado (16 en cada cimentación) hincados a una profundidad de hasta 43 metros. También es indirecta la cimentación del estribo 1 y de las pilas 1 a 3, constituidas por pilotes de 2 metros de diámetro. Finalmente, las pilas 4 y 11 tienen cimentación mixta, combinando el apoyo directo con el empleo de micropilotes.

Las pilas son de hormigón armado, de sección rectangular y huecas. El ancho de su sección es constante (8,5 metros), pero varía desde los 8,9 metros en la base hasta los 5,50 metros en el capitel. Se han construido por tramos de 5 metros de altura mediante encofrados trepantes. Para el suministro de materiales a las pilas centrales (las más altas) se emplearon grúas-torre ancladas a la pila, que iban «trepando» a la vez que se ejecutaba la misma.

Con 103,3 metros, la pila más alta del viaducto de la Concha de Artedo es la novena en sentido oeste-este. Sobre la misma, al igual que sobre las demás, se dispuso la dovela 0, de 3,70 metros de altura, así como una capa de neopreno de unos 40 centímetros y una lengua de aglomerado asfáltico.

Los estribos están formados por un muro de suelo reforzado posterior que contiene las tierras del trasdós y, frontalmente, por dos pantallas que reciben las reacciones del tablero. Estas pantallas reciben los aparatos de apoyo del tablero y sobre las mismas se inserta un espaldón prefabricado.

La geometría especial del viaducto no permite dos dovelas iguales, por lo que se han fabricado adosando cada pieza al molde de la contigua

► Tablero

El tablero es de hormigón postesado. Se ha construido mediante dovelas conjugadas prefabricadas en central, que fueron colocadas con cimbra superior autolanzable por el método de avance en voladizos sucesivos. Este sistema constructivo tiene dos grandes ventajas: minimiza la afección en el entorno y acorta los plazos de ejecución.



Las 599 dovelas que forman el núcleo del tablero se fabricaron en un parque instalado junto a los tajos de la autovía, en el núcleo de El Rellayo. Pesan entre 57 y 75 toneladas y tienen entre 2 y 2,19 metros de longitud, 3,70 metros de canto y 10,70 metros de ancho. Dada la geometría del viaducto, en pendiente y con una curva y contracurva, no hay dos dovelas iguales. Por esta razón, además de prefabricadas, se construyeron conjugadas: cada dovela se ha generado adosando el molde a la dovela precedente para que así haga de tope y el ensamblaje sea perfecto con la contigua. Las dovelas 0, que se sitúan encima de cada pila, soportan una mayor tensión, por lo que su estructura se ha reforzado. Hay que tener en cuenta que un pequeño error en la geometría de una de estas piezas podría desviar en varios grados el avance del viaducto hasta llevarlo fuera del alcance de las pilas que les espera.

En los momentos de mayor actividad en la construcción, la fabricación de dovelas se completó acelerando el secado de cada pieza. Por el día se hormigonaban los moldes y por la noche se aplicaban baños de vapor que agilizaban el proceso químico del curado para obtener dos dovelas al día. Una vez que la pieza adquiría la consistencia deseada, se trasladaba al viaducto para su izado mediante grúas.

Para su posicionamiento definitivo se utilizó una cimbra autolanzable o lanzador de dovelas, de 500 toneladas de peso y 115 metros de longitud, un tamaño imprescindible para salvar luces de hasta 75 metros, que es la distancia óptima para viaductos ejecutados sobre pilas. El lanzador recibe la dovela y la carga en una grúa que se desplaza al frente de avance para colocarla en el lugar preciso. Primero se sitúa y se encaja la dovela 0 sobre la pila —es la dovela más fornida, la que asume la presión de las de-

Medidas medioambientales

El proyecto de construcción del viaducto de la Concha de Artedo ha sido muy exigente en el capítulo del impacto ambiental. Uno de los principales condicionantes del proyecto ha sido el de provocar el menor daño posible al medio físico, a la vez que propiciar la máxima integración de la estructura en un paraje de gran valor natural. En este sentido, se han tenido en cuenta todas las reposiciones de servicios y caminos existentes, se han llevado a cabo la

restauración de taludes, la instalación de pantallas acústicas, los pasos de fauna, plantaciones y todas las medidas correctoras necesarias para respetar el entorno. Destaca, como medida de protección singular, la captura y traslado de los anfibios autóctonos de la zona (ranas, tritones y salamandras, entre otros) a un entorno protegido durante la ejecución de los trabajos y su posterior devolución a su hábitat natural una vez finalizada la obra.



► *Página opuesta, dovelas transportadas por la cimbra previamente a su colocación. En esta página, arriba, ejecución de los primeros vanos del tablero; debajo, uno de los estribos en fase de construcción.*

más— y a ambos lados se adosan sucesivamente el resto de las piezas hasta completar una configuración del tablero en T, que enlaza con la T precedente para completar un vano. Para fijar la unión entre las dovelas se atornillan con bulones y se proyecta una resina especial en los intersticios.

Una vez finalizado el núcleo central, el tablero se amplió hasta los 22,80 metros de ancho mediante hormigonado *in situ* de los voladizos laterales, empleando un carro portaencofrados para el hormigonado de la losa de estos. Los voladizos van apoyados —cada dos dovelas mediante un jabalcón prefabricado de hormigón armado— al tacón inferior del cajón.



El sistema constructivo utilizado en la ejecución del tablero ha permitido simultanear buena parte de los trabajos, ya que, una vez avanzado el núcleo central, fue posible ampliar la estructura por los extremos hasta generar su anchura definitiva, un sistema que ha permitido rendimientos de ejecución de dos semanas para vanos de 75 metros.

Para la construcción del viaducto también ha sido necesaria la puesta en obra de 4.500 metros cúbicos de hormigón de la losa del tablero de un carro portaencofrados, un trabajo que se compatibilizó con la construcción de los voladizos de hormigón.

► **Dificultades**

La construcción del viaducto de la Concha de Arredo, una obra que ha movido importantes volúmenes de hormigón y acero, no ha estado exenta de dificultades. El fuerte viento que se suele registrar en la zona condicionó la ejecución de los trabajos. En ocasiones se llegaron a registrar mediciones en la velocidad del viento de hasta 90 kilómetros por hora, lo que obligó a interrumpir la actividad de los operarios en varias ocasiones.

Otra complicación añadida, sobre todo en la fase de cimentación, fue lo accidentado del terreno y su



diferente composición. Esta alternancia de materiales en el suelo dificulta que los sondeos en las fases de estudio informativo y de proyecto alcancen un grado de seguridad suficiente para que luego no surjan sorpresas durante la ejecución, lo que obliga a dedicar tiempo y recursos para que los informes geotécnicos sean lo más detallados posible.

La seguridad ha sido un aspecto decisivo en la obra, dado que buena parte de los trabajos se ha llevado a cabo a más de 100 metros de altura. Para garantizar la protección de las decenas de operarios que han participado en la obra se activó un exigente plan de seguridad, que incluía medidas de cumplimiento muy estricto. Incluso existía un plan de emergencia que contemplaba como medida excepcional la evacuación con helicóptero en caso de accidente, motivo por el que se informó y se facilitaron las coordenadas de la obra al servicio 112, además de disponer a pie de obra de una ambulancia con su dotación habitual durante las 24 horas del día mientras duraron las obras.

Para la prueba de carga de la estructura se emplearon un total de 24 camiones, con un peso de 40 toneladas cada uno. Los camiones fueron distribuidos sobre el tablero del viaducto en diferentes posiciones para reproducir los estados de carga más desfavorables que podrían surgir durante la vida útil de la estructura.

► Beneficios

La principal aportación del viaducto ha sido la mejora de la seguridad vial en la zona, al desviar hacia la autovía la circulación de la carretera N-632 y evitar al conductor enlaces tan conflictivos como el de El Rellayo, además de acortar tanto el recorrido como el tiempo de desplazamiento: el trayecto entre la rotonda de Las Dueñas y el acceso a Lamuño y Salamir, que era de 5,2 kilómetros por la carretera nacional, se ha reducido a casi 3,2 kilómetros, que se recorren por la nueva autovía en menos de dos minutos a la velocidad máxima recomendada, que en este tramo es de 100 km/h. Los elementos de protección instalados en los laterales del viaducto reducen riesgos como los derivados del fuerte viento.

Curiosamente, la construcción del viaducto de la Concha de Artedo no estaba prevista en el proyecto inicial de la A-8. La idea original del Ministerio de Fomento era levantar una nueva estructura que albergara una calzada de la autovía y utilizar el viaducto existente para la otra calzada. Sin embargo, finalmente se optó por una alternativa que incluía el enlace de Cudillero al nivel de la rasa costera, y no en trinchera, como estaba previsto en el diseño inicial, con un viaducto de cuatro carriles, que es el que finalmente se ha construido. ◀

► Fase final de la construcción del tablero, con la cimbra autolanzable situada sobre los últimos vanos.



TRENES HISTÓRICOS Y TURÍSTICOS EN ESPAÑA

*Monográfico
julio-agosto
2012*



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

RESERVE SU EJEMPLAR EN TELF. : 91 597 6478 / 6449

Por fax: 91 597 61 86 (24 horas).

Por correo electrónico: cpublic@fomento.es



VIADUCTO DE **TENOYA**

GIGANTE GRANCANARIO



El archipiélago canario es tierra pródiga en notables viaductos de carretera. El último en sumarse a una larga lista de estructuras singulares es el viaducto que se construye en Tenoya como parte de la fase IV de la autovía de circunvalación de Las Palmas de Gran Canaria (GC-3). Esta espectacular estructura salva un profundo barranco con una altura máxima de pilas de 113 metros, lo que sitúa al gigante de Tenoya como uno de los viaductos más elevados de España. Su finalización está prevista para el próximo mes de diciembre.



JAVIER R. VENTOSA

FOTOS: UTE IV CIRCUNVALACIÓN

La orografía volcánica de Gran Canaria, con zonas montañosas y numerosos barrancos, ha condicionado históricamente las comunicaciones de la isla. La red de carreteras insular ha tenido que sortear este abrupto relieve mediante un buen número de túneles, puentes y altos viaductos. Entre los más recientes destacan el viaducto de Silva sobre el barranco del Calabozo en la autovía GC-2, con pilas de 102 metros de altura –la primera estructura data de 1979 y en 2011 se inauguró otra casi gemela dentro de las obras de duplicación de la carretera–; el viaducto de Guiniguada en la autovía GC-3, en servicio desde 2003, con pilas de hasta 100 metros; o el viaducto atirantado de Teror en la GC-1, inaugurado en 2010, de 74 metros de altura. Todos ellos han sido ya superados en altura por la estructura que actualmente se ultima en Tenoya en la autovía GC-3. Su pila mayor, de 113 metros, lo convierte en el viaducto con mayor altura de pilas de la isla y del archipiélago canario, y en uno de los mayores de España.

El viaducto de Tenoya es el elemento más emblemático de la fase IV (Tamaraceite-Tenoya-Arucas-Costa) de la autovía de circunvalación de Las Palmas de Gran Canaria (GC-3), que cerrará esta infraestructura de gran capacidad, cuya ejecución se enmarca en el vigente convenio de colaboración en materia de carreteras entre el Gobierno autó-



nomo de Canarias y el Ministerio de Fomento. El tramo discurre al noroeste de la capital insular, atravesando una zona de barrancos y barranquillos, lo que ha obligado a construir hasta ocho viaductos y un túnel para insertar la traza en esta zona. Cuando entre en servicio, los automovilistas olvidarán el actual trazado sinuoso por la zona, acortando sustancialmente los tiempos de desplazamiento y mejorando la seguridad vial.

Este espectacular viaducto, que es un buen exponente de la construcción de grandes estructuras en España en el siglo XXI, fue proyectado por la consultora de ingeniería Eipsa y su ejecución, junto a la del resto del tramo, fue adjudicada en noviembre de 2007 por la Consejería de Obras Públicas del Gobierno canario a una UTE formada por Acciona Infraestructuras, Lopesan y Espino Flores S.L. El importe de adjudicación del tramo ascendió a 91,1 M€.

► El proyecto

La traza de la autovía, al inicio del tramo, debe salvar el barranco de Tenoya, un obstáculo geográfico que separa las localidades de Tenoya y Lomo

Grande, encaramadas sobre la cima de las dos laderas enfrentadas, y en cuyo fondo discurren las carreteras locales GC-300 y GC-301. La amplitud del valle a salvar, la gran exposición visual y la importancia paisajística del entorno condicionaron tanto la altura de pilas como la magnitud de las luces y la elección de la tipología, geometría y proceso constructivo del viaducto. Para disminuir al mínimo la afección al barranco se eligió una solución con tablero único de hormigón pretensado, construido por avance en voladizos sucesivos en su núcleo central y con jabalcones y prelosas en los voladizos laterales.

Dada la profundidad del barranco se proyectó una estructura a una altura máxima de más de 100 metros sobre el fondo del mismo. El viaducto se diseñó con grandes luces, repartidas en tres vanos centrales de 124 metros cada uno y en dos vanos extremos de 78 metros, para una longitud total de 528 metros, adecuados a la altura de la rasante sobre el terreno. El trazado es curvo en

La amplitud del valle a salvar y el valor paisajístico del entorno condicionaron tanto la altura de pilas como la magnitud de las luces del viaducto



► *Página opuesta, vista lateral de las pilas del viaducto y secciones de jabalco montadas para ampliar el tablero. Arriba, tablero montado sobre las pilas 3 y 4.*

planta con un radio de 1.500 metros y el resto en clotoide de parámetro 535 metros. En alzado, el trazado está en un acuerdo vertical de $K_v=25.000$.

La altura de las cuatro pilas que sustentan la estructura (113, 79, 54 y 54 metros) motivó también la elección de un tablero único de 26,60 metros de anchura, que albergará dos carriles más uno de ampliación por sentido. La solución de tablero único

aporta grandes ventajas desde el punto de vista estético, económico y de plazo de ejecución. En efecto, al disponerse menos pilas se consigue un menor plazo de ejecución, no solo en la construcción de las pilas sino también en la construcción del tablero. También se ahorra de forma notable en materiales, puesto que las pilas altas consumen gran parte de sus necesidades de material en sostenerse a sí mismas.

Medios humanos y materiales

El viaducto de Tenoya está requiriendo para su construcción de notables medios humanos y materiales para hacer frente a un importante volumen de trabajo. Cerca de 200 personas por día, entre mano de obra directa, indirecta, encargados e ingenieros, incluidos algunos especialistas venidos del extranjero, han participado o participan en las jornadas donde se concentra el mayor ritmo de ejecución de la obra. Respecto a los medios auxiliares, se han empleado equipos especialmente diseñados para este viaducto (los carros de encofrado) y otros especializados en grandes estructuras, como camiones grúa con plumas de 26 y 38 metros, grúas torre de altura de 124 y 75 metros, autogrúas de hasta 300 toneladas, elevadores telescópicos, ascensores de obra de hasta 90 metros para las pilas 2 y 3, carros de avance del tablero por voladizos sucesivos y maquinaria especial de pretensado, entre otros.

Los elementos

Los principales elementos que conforman el viaducto de Tenoya tienen las siguientes características:

Estribos. Este elemento tiene una doble misión: por un lado, constituir el apoyo extremo del tablero para permitir las deformaciones impuestas por temperatura, fluencia y retracción, y por otro, conformar una estructura de contención que soporte los empujes de las tierras del terraplén de acceso y controle el derrame de tierras. Los dos estribos del viaducto de Tenoya son de tipología cerrada y escalonados, conformados por un muro frontal, el estribo propiamente dicho, un murete de guarda y una lo-



sa de transición. El estribo más alto, el E1, tiene una altura máxima de 13,8 metros. Su cimentación es directa. Ambos estribos son visitables para permitir el acceso al interior del tablero con objeto de realizar operaciones de inspección y conservación.

Pilas. Las cuatro pilas que soportan la estructura, de diferentes alturas, son de sección rectangular hueca de hormigón armado. Los paramentos frontales y laterales de las pilas se dividen en tres planos distintos y retranqueados entre sí, con objeto de aligerar su visión y dotar a las pilas de mayor rigidez. Las pilas exteriores (1 y 4), de 54 metros de altura, son de dimensiones constantes, con 5,00 metros de canto por 7,00 metros de ancho; las dos pilas centrales (2 y 3), con alturas respectivas de 79 y 113 metros, mantienen la misma sección que la 1 y la 4 en la mitad alta, para luego variar en las dos direcciones según un círculo de radio 800 metros, a la vez que se proporciona a estas de las dimensiones necesarias para resistir los esfuerzos a los que se ven sometidas.

El tablero está empotrado monolíticamente a las pilas 2 y 3, y se apoya en aparatos de neopreno zunchado en las pilas 1 y 4, debido a que la rigidez de estas últimas generaría unos esfuerzos excesivos para absorber las deformaciones reológicas y de temperatura del tablero. Sin embargo, la visión lateral de ambos casos es prácticamente la misma, puesto que en sus últimos metros las caras de la pila se abren transversalmente para recoger los paramentos inclinados de la sección de tablero, monolíticamente en las pilas 2 y 3 y como un tape exento en las pilas 1 y 4, en las que durante el avance en voladizo el ta-



blero se empotra provisionalmente mediante tendones de pretensado vertical.

Tablero. La plataforma del viaducto se diseñó originalmente incluyendo una futura ampliación de la autovía a tres carriles (dos carriles más uno de ampliación). De este modo se obtiene un ancho de tablero de 26,60 metros, descompuestos en cada sentido por tres carriles de 3,50 metros de anchura, arcones de 1,00 metro a ambos lados de cada calzada y una barrera central de 0,61 metros.

► Ejecución de jabalcones y dovela O coronando una de las pilas del viaducto.



► *Dos fases del avance del tablero, con la configuración en forma de T arriba y el vano ya construido debajo.*



Como tipología, el tablero sobre el que se dispondrá la futura calzada es una viga continua de hormigón pretensado de sección cajón monocelular con voladizos laterales. La sección transversal del tablero incluye un cajón central de 9,00 metros y voladizos de 8,80 metros, que están apoyados sobre jabalones puntuales prefabricados de hormigón armado dispuestos cada 4,00 metros en sentido longitudinal y sobre prelosas nervadas. El cajón tiene un canto parabólico variable desde un máximo de 7,00 metros en el paramento de pila hasta un mínimo de 3,30 metros a una distancia de 44 me-

tros desde el eje de la pila, para luego mantenerse constante en el resto del vano. Las almas son inclinadas y tienen espesor constante de 0,60 metros. El espesor de la losa inferior es variable de 1,20 metros sobre pilas a 0,27 metros en la zona de centros de vanos.

Los jabalones que sustentan los voladizos están formados por un puntal inclinado y una viga superior que da apoyo a las prelosas prefabricadas sobre las que se hormigona el voladizo de la sección. Todos los jabalones apoyan a la misma profundidad en unos tacos que salen de las almas del tablero coincidiendo con la losa inferior en la zona de canto mínimo en centros de vanos. Esta disposición hace necesaria la colocación de rigidizadores transversales interiores de hormigón en las zonas de mayor canto del tablero, en las que el apoyo del jabalcón podría generar flexión local en las almas.

Medidas medioambientales

- Como en toda obra de ingeniería, la ejecución del viaducto de Tenoya lleva aparejada la puesta en marcha de diversas medidas medioambientales destinadas a minimizar el impacto de la actuación en el entorno. Entre ellas figuran las siguientes:
- Trasplante de especies vegetales afectadas por el movimiento de tierras realizado en los apoyos de la estructura.
- Restitución y encauzamiento de la vaguada del barranco que cruza el viaducto mediante la construcción de márgenes de escollera y protección especial con escollera hormigonada a su paso por la base de la pila 3 de la estructura.
- Protección en el talud situado bajo la pila 4, a través de un muro de escollera en la cara exterior de la zapata, apoyando en la berma existente bajo la misma, con el fin de mejorar la condición de borde y restaurar el talud excavado.
- Gestión de los residuos inertes y peligrosos que se hayan generado durante la construcción del viaducto.



La prueba de carga

La finalización de una estructura viene siempre seguida de la prueba de carga, consistente en la reproducción de uno o varios estados de carga sobre la misma para confirmar que su comportamiento se ajusta a las previsiones del proyecto y, por tanto, puede entrar en servicio. En el viaducto de Tenoya, esta prueba, aún no realizada, consistirá en un ensayo estático a realizar mediante la disposición de un máximo de 48 camiones de 330 KN cargados sobre el tablero. En total, serán 12 las fases de puesta en carga del viaducto, estableciendo para cada una de ellas un número de camiones a ocupar en los distintos vanos del tablero, incluyendo entre estas otras fases de carga excéntrica en cada vano. Así, en las primeras siete fases se dispondrán simultáneamente 16 o 24 camiones en un vano y 24 o 16 en el contiguo, probando todos los vanos, mientras que en la fase de carga excéntrica se situarán entre 12 y 18 camiones por vano. Con la prueba se miden mediante diverso instrumental los descensos verticales del tablero –tanto en los centros de los vanos como en los apoyos– producidos por las cargas, con medidas antes y después de la entrada de los vehículos para determinar la flecha existente, cuya magnitud se prevé escasa.

► Proceso constructivo

El proceso de ejecución del viaducto, realizado por fases consecutivas, se inició a principios de 2010 con las primeras actuaciones de cimentación de los estribos y las pilas, los dos elementos que sustentan el tablero. En el caso de las cuatro pilas, la cimentación ha sido directa mediante zapatas (alejadas de las zonas con mayor desnivel), habiéndose dispuesto una cimentación semiprofunda en la pila 3, enterrada a 13 metros de profundidad. En la zapata de esta pila, enclavada en terrenos sulfatados que suponían un grado moderado de ataque sobre el hormigón, se empleó hormigón del tipo Qb, resistente a una exposición química agresiva media. Asimismo, la base de esta pila, situada en el curso del cauce del barranco, se rodeó de escolleras para proteger al hormigón del posible contacto con las aguas de escorrentía del barranco.

Finalizada la cimentación arrancó el alzado de estribos y pilas, un proceso iniciado con el estribo 1 y la pila 1 y seguido, meses después, con las pilas 2 y 4. La pila 3, la más elevada, fue la última en iniciar su construcción, en abril de 2011, y la última, por tanto, en terminarse, mientras que el estribo 2 fue el último elemento de apoyo en construirse. La ejecu-

► Arriba, un momento del avance del tablero visto desde la parte inferior del mismo. Página opuesta, ejecución de la pila 2, vista de la sección del tablero e interior del núcleo del tablero.



grúa de gran altura colocó sobre sus respectivas cabezas el encofrado de la dovela 0, elemento de unión entre pila y tablero, que es el punto de partida para la ejecución de los vanos que formarán el tablero. Esta dovela, anclada a la pila mediante cordones de tesado vertical, tiene 8,80 metros de longitud. La pila 3, nuevamente, fue la última en recibir sobre su cabeza la dovela 0, ya a mediados de 2012.

El proceso constructivo de la sección del tablero se desarrolla en dos fases: la primera corresponde al núcleo central, con una anchura de 14,10 metros, que ya está finalizada; y la segunda está configurada por los voladizos laterales de 6,25 metros apoyados sobre jabalcones, con los que se completa la anchura total del tablero, actualmente en fase de ejecución. Son dos fases que se construyen de forma consecutiva, requiriéndose para el inicio de la segunda que todo el núcleo o una parte del mismo esté terminado.

En el núcleo central se han alternado dos sistemas constructivos. Los vanos centrales (2, 3 y 4) se han



ción de las pilas se ha realizado por medio de distintos sistemas constructivos, que garantizan por igual la seguridad y la rapidez en la construcción: las pilas 1 y 4 se han ejecutado mediante encofrado trepante, un sistema basado en guías fijadas a la estructura con anclajes recuperables que sustentan plataformas de trabajo donde se sitúan los encofrados verticales; las pilas 2 y 3, de mayor altura, se han ejecutado con el sistema de encofrado autotrepano, mediante el cual el encofrado trepa sobre la pila mediante gatos hidráulicos, permitiendo las labores de hormigonado.

Una vez acabadas las pilas 1, 4 y 2, entre octubre de 2010 y abril de 2011, y tras realizarse el tesado del pretensado vertical provisional de las pilas 1 y 4, una

ejecutado por el sistema de avance en voladizo con dovelas hormigonadas *in situ*, utilizando para ello carros de avance de 140 toneladas de peso y una capacidad de carga de 400 toneladas. Mediante este sistema, dos carros especiales parten de la dovela 0 de cada pila y avanzan simultáneamente hacia el centro de los vanos para colocar de forma alternativa a cada lado una nueva dovela, configurando una T. En ambos casos, a medida que se construían parejas de dovelas se procedió a la primera operación de pretensado del tablero (recto superior), destinado a aumentar la resistencia a tracción del hormigón, mediante el tesado de los tendones incluidos en su interior. En total, cada semivano está formado por 14 dovelas.



En los vanos extremos (1 y 5), los 14,40 metros más próximos a los estribos se han construido sobre una cimbra especial apoyada en torres metálicas que permiten disponerla en voladizo y que se cimientan en la parte superior de la ladera, evitando grandes movimientos de tierras que amenacen la estabilidad del estribo. Las dovelas de cierre de estos vanos se han hormigonado posteriormente arriostrando el tablero del semivano en voladizo a la zona cimbrada por medio de la estructura del carro de avance.

La construcción de los cinco vanos que conforman el núcleo del tablero concluyó en noviembre de 2012

con la ejecución de la cuarta y última dovela de cierre, la que unía los vanos 3 y 4, momento en el que ya fue posible cruzar a pie desde un lado al otro los 528 metros que mide el viaducto. Una vez construidas las dovelas de cierre se realizó el pretensado inferior de continuidad, con el que concluyeron las operaciones de tesado interior de la estructura.

► Los trabajos actuales en el viaducto de Tenoya se centran en la ampliación del tablero.

► Los trabajos pendientes

El pasado verano, antes de finalizar el núcleo del tablero, en los vanos ya terminados se inició la construcción de los voladizos laterales del tablero, fase actualmente en ejecución con la que se completará la sección transversal del tablero, que prevé la colocación de 266 jabalcones y las prelosas nervadas que van situadas entre estos. Paralelamente, en el interior del núcleo se están llevando a cabo trabajos relativos al pretensado exterior (tesado de los tendones interiores –inferiores y superiores–, construcción de tabiques desviadores del pretensado exterior y tabiques rigidizadores, colocación de tubos que alojarán los tendones del pretensado exterior).

Cuando finalice el hormigonado de la losa superior de los voladizos laterales y se realice el tesado de los tendones transversales de la misma, así como la construcción de los pretiles del tablero, se procederá a la puesta en tensión del pretensado exterior (exterior y transversal). Con esta acción la estructura quedará completada, a falta de las obras de acabado necesarias para la puesta en servicio del viaducto (impermeabilización y pavimentado del tablero, colocación de juntas de dilatación en los extremos, barreras, etc.). ◀

Magnitudes de obra

Movimiento de tierras	80.898 m³
Desmante en estribos	7.074 m³
Desmante en pilas	73.824 m³
Hormigón	24.625 m³
Estribos (HA-30)	2.421 m³
Pilas (HA-30)	11.911 m³
Tablero (HP-45)	10.293 m³
Acero pasivo	4.133.362 kg
Estribos	153.360 kg
Pilas	2.006.789 kg
Tablero	1.973.213 kg
Acero activo (para pretensado)	636.850 kg
Pilas	9.024 kg
Tablero	627.826 kg
Jabalcones	266 uds
Prelosas	6.620 m²

Especial



30

Vías Verdes por España

RECOPIACIÓN ESPECIAL
DE REPORTAJES
PUBLICADOS EN LA
REVISTA ENTRE 2009 Y
2012 Y OTROS DE
NUEVA EDICIÓN

Una selección de antiguos trazados ferroviarios, hoy acondicionados por el Programa de Vías Verdes, para descubrir la naturaleza y el patrimonio histórico de los territorios que surcaron a través de 30 rutas accesibles para todos.



PVP: 10 €



PUENTE DE LA **CONSTITUCIÓN DE 1812**

EL COLOSO SE EXTIENDE



► *Vista aérea del estado actual del puente, con las pilas y torres alzadas y el tablero empujado desde el lado Cádiz.*

R.F.

FOTOS: DCE ANDALUCÍA OCCIDENTAL

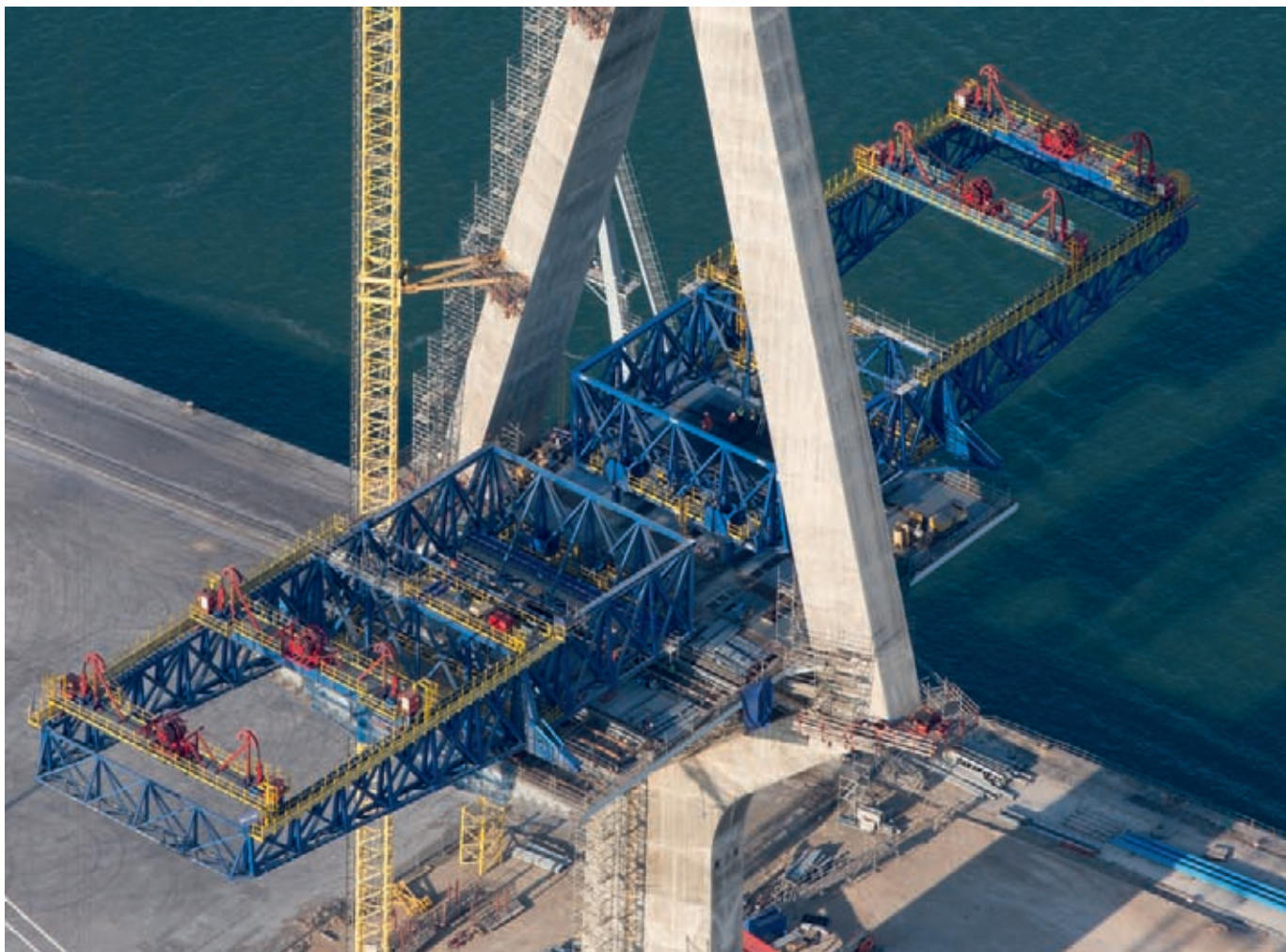
El Ministerio de Fomento está desarrollando en la bahía de Cádiz el nuevo esquema de accesos a la capital gaditana por la auto-vía CA-35, una actuación que pretende aliviar la intensa circulación existente en las dos entradas actuales a la ciudad –el puente José León de Carranza (N-443) y el corredor desde San Fernando (CA-33)–, con el objetivo de captar parte de los casi 50.000 vehículos/día que circulan por el mencionado puente, evitando las retenciones y ahorrando tiempo a los automovilistas. En el marco de este nuevo acceso, entre 2007 y 2008 se ejecutaron los dos primeros tramos, el carril reversible en el puente José León de Carranza y la duplicación de la N-443, estando actualmente en ejecución el tercer y último tramo de este esquema viario.

Este tercer tramo, cuya inversión global asciende a 346,1 M€, se desarrolla a lo largo de 5 kilómetros entre la barriada de la Paz (Cádiz) y Puerto Real, salvando entre medias las aguas de la bahía gaditana mediante un puente. Se trata de una gran infraestructura, una de las mayores obras de ingeniería que actualmente se construyen en España, que cambiará la imagen de la bahía gaditana y los hábitos de los conductores. El tramo se compone de cinco partes de tipologías dispares: el puente sobre la bahía, los enlaces de Cádiz y La Cabeza en sus dos extremos, el viaducto de Río San Pedro y el enlace del mismo nombre. Todas estas actuaciones están en marcha, habiendo concluido la mayor parte de las correspondientes a la zona de Río San Pedro.

► Un puente singular

La estructura más sobresaliente de este gran tramo es el puente que salvará la bahía gaditana, bautizado como puente de la Constitución de 1812 en honor a la Carta Magna aprobada ese año en Cádiz, primera de la historia de España. Se trata de una estructura singular de más de 3 kilómetros de longitud que conectará la ciudad de Cádiz con el polígono industrial de La Cabeza sobre las aguas mediante un tablero dispuesto entre dos estribos de hormigón armado y 36 pilas de distinto tipo (palmera, diamante y pórtico), ejecutadas tanto en tie-

El puente de la Constitución de 1812, que sobrevolará la bahía de Cádiz como parte del tercer acceso a la capital gaditana, afronta actualmente la fase definitiva de su construcción tras seis años de trabajos. El que está llamado a ser el puente de carretera más largo y de mayores luces de España, y que será sin duda el icono de la bahía gaditana, ha extendido ya más de medio kilómetro de su tablero sobre las 34 pilas y dos torres de atirantamiento construidas en el mar y en la tierra, dando una idea cada vez más precisa de cuál será su aspecto final.



ra como en el lecho marino. El tablero albergará dos calzadas para tráfico rodado con cuatro carriles de circulación y una plataforma tranviaria.

El puente constituye todo un reto para la ingeniería civil por sus colosales dimensiones. Con 3.092 metros será, con mucha diferencia, el puente de carretera más largo de España y uno de los mayores del mundo. Su luz de 540 metros en el vano principal también será la mayor de España. Y el gálibo libre de 69 metros en el tramo atirantado hace de él uno de los puentes más altos del planeta, más que los de Nueva York o San Francisco o los de las grandes conexiones entre Suecia y Dinamarca (puente de Öresund) y los que unen las islas de Dinamarca entre sí (Gran Belt y Pequeño Belt). Otras magnitudes que reflejan su grandiosidad son las más de 50.000 toneladas de hormigón que pesa el tablero, los más de 180 metros que miden sus torres atirantadas o las dimensiones de las dovelas del tramo atirantado, sin precedentes en España.

En la construcción, desarrollada en un singular

entorno marítimo-terrestre, con actuaciones en el mar y en tierra, se emplean las más avanzadas tecnologías de la ingeniería actual, tanto en la cimentación (todas las cimentaciones han sido profundas, mediante encepados sobre pilotes de 40 metros de profundidad), como en el alzado de las grandes torres de atirantamiento (ambas actuaciones, ya prácticamente finalizadas, han sido auténticos retos en sí mismos) y en la ejecución del tablero se emplean procedimientos constructivos de última generación y muy dispares en función de los distintos tramos. La enorme magnitud de la obra, además, requiere el empleo de medios de ejecución no convencionales (como la grúa que iza las dovelas del tramo atirantado, con un alcance de 200 metros de altura, los carros de izado de dovelas, de 500 toneladas de peso cada uno, o las plataformas marítimas para el izado de dovelas), algunos de ellos diseñados *ex profeso* para esta actuación, así como profesionales muy especializados.

Esta estructura ha sido proyectada por las consul-

► Los carros de izado, de 500 toneladas de peso cada uno, son estructuras singulares en sí mismas. En la imagen, carros de izado sobre la pila 13.



► *Tramo empujado desde el lado Cádiz, pilas del tramo desmontable y torre de atirantamiento.*

toras Ginprosa Ingeniería y Carlos Fernández Casado, que también ejercen las labores de asistencia técnica en la obra, y está siendo ejecutada por la UTE Puente de Cádiz (Dragados-Drace), estructuras metálicas fabricadas por Tecade y bajo la administración del Ministerio de Fomento. La inversión prevista en el puente supera los 200 M€, lo que supone la mayor parte de la inversión total del tercer tramo del nuevo acceso a Cádiz. Actualmente está ejecutado más del 80% del mismo.

► Los tramos del puente

El tablero del puente se divide en cuatro tramos con características diferentes de pilas, altura y plataforma, cada uno de los cuales implica diferentes técnicas constructivas y un ritmo de ejecución propio. Actualmente se trabaja en tres tramos del tablero y el cuarto está listo para su montaje. A continuación se detallan sus principales características y el estado de ejecución de cada uno de ellos.

◆ Tramo de acceso a Cádiz.

Se trata de una estructura con tablero mixto hormigón-acero, de 581,3 metros de longitud repartidos en ocho vanos (1x56,3 metros + 7x75 metros), con una pendiente del 5%, que arranca en un estribo cerrado al inicio del tramo, en el lado Cádiz, y se apoya en ocho pilas ubicadas dentro de la bahía (una de ellas, la 2, ejecutada en una península artificial, el resto en el agua). La sección transversal tiene 3 metros de canto y ancho variable en los dos primeros vanos de 36,7 a 33,2 metros, siendo en el resto constante de 33,2 metros. La estructura metálica del tablero, fabricada en unos talleres de Asturias, se transportó por piezas a una península artificial en la orilla de Cádiz donde se encuentra el parque de empuje.

El tablero se ha colocado sobre las pilas mediante el sistema de lanzamiento o empuje con torre de atirantamiento –salvo el primer vano, izado con grúa–, consistente en construir la estructura en tierra y lanzarla en fases consecutivas desde el extre-

mo situado junto al estribo 1. Así, una vez avanzado el primer vano sobre el mar y liberado el espacio que ocupaba, se sueldan en la península artificial las siguientes dovelas del vano contiguo, que es empujado nuevamente, y así sucesivamente la estructura avanza buscando su destino en el tramo contiguo desmontable. El peso total a empujar es de 11.300 toneladas, de las cuales 9.100 son estructura metálica y el resto de losa de hormigón. El empuje es realizado con gatos hidráulicos capaces de soportar una fuer-

za máxima de empuje de 1.000 toneladas y con ayuda de balancines dispuestos en las pilas –definitivas y auxiliares–, equipadas con almohadillas de neopreno-teflón que facilitan el deslizamiento del tablero.

Un control topográfico de precisión por medio de antenas GPS dispuestas a lo largo del tablero se encarga de monitorizar el proceso de lanzamiento. Las antenas están conectadas a un sistema informático que realiza lecturas cada segundo y que compara los resultados obtenidos con los cálculos teóricos, reportando incidencias en caso de que se detecten desviaciones. También se controlan las deformaciones en las cabezas de las pilas sobre las que el tablero se apoya para detectar si la fuerza de lanzamiento se distribuye equitativamente entre todas ellas.

El 12 de septiembre de 2011 arrancó el empuje del tablero de este tramo. Desde esta fecha se han realizado las nueve fases previstas, siendo las longitudes empujadas en cada una de ellas de 38,1, 36,8, 25, las cinco siguientes de 75 y la última fase de 66,1 metros, todas ellas salvo la primera, con torre de atirantamiento. La longitud total de tablero empujado ha sido de 541,1 metros, con una cota de empuje de 150 milímetros por encima de la cota definitiva de la rasante del tablero.

Como datos relevantes del proceso de empuje, que hablan de la buena ejecución del mismo, el rozamiento medio de las distintas fases ha sido del 2,7%, la velocidad de lanzamiento medio en las fases tipo fue de 6 metros por hora y los valores reales tanto de reacciones como de flechas medidas se han aproximado en un 94% de media en las fases tipo a los valores teóricos previstos.

◆ **Tramo desmontable.** Originalmente un puente basculante en el proyecto, la presencia de este puente responde a una petición de la empresa de construcciones navales Navantia para permitir el paso de buques procedentes de su astillero de Puerto Real de más de 69 metros de altura, máximo posible a cruzar bajo el puente principal.

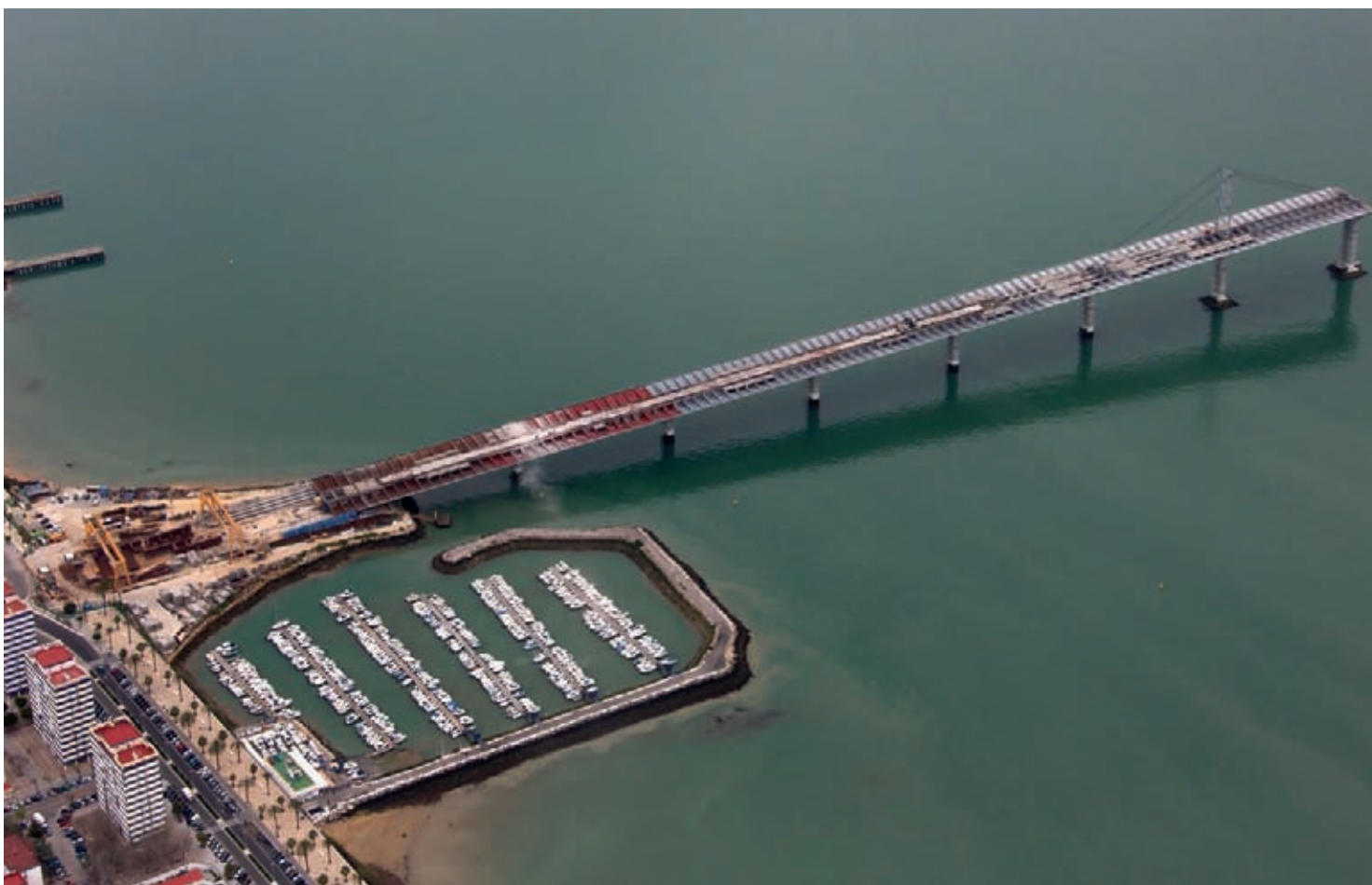
Este tramo está formado por una estructura de 150 metros de longitud consistente en un tablero desmontable bi-apoyado en las pilas 9 y 10, que permitirá el paso de embarcaciones o artefactos como aerogeneradores que precisen un gálibo vertical superior a 69 metros. Este vano, desmontable por medio de grúas pórtico, tendrá una luz libre en horizontal de unos 140 metros y sin limitaciones de gálibo vertical. Fabricado en acero, la estructura tiene un canto variable (entre 3 y 8 metros) y losa ortótropa metálica de 33,2 metros de ancho. La sección transversal está constituida por un cajón central de 10 metros de ancho y dos voladizos laterales de 11,6 metros con canto variable.



► Tramo de Puerto Real, con la torre atirantada y las pilas del tramo de acceso.



► Enlace de Río San Pedro, con los carriles en sentido Sevilla-Cádiz ya abiertos.



► Vista del tramo empujado desde la península artificial situada en el lado Cádiz, que ya suma 541,1 metros de tablero.

A ambos lados del puente

El puente de la Constitución de 1812 es la principal actuación del nuevo acceso a Cádiz, pero su funcionalidad sería nula sin la aportación de los otros cuatro elementos que componen este acceso (tres enlaces y un viaducto), situados a ambos extremos del puente y que lo conectarán con el sistema viario existente. Las tres actuaciones previstas en el lado Puerto Real están terminadas o en ejecución muy avanzada, siendo la próxima prevista el inicio de obras en la única actuación existente en el lado Cádiz. El estado actual de las actuaciones es el siguiente:

- **Enlace de La Cabezuela.** Situado al final del tramo de acceso de Puerto Real, se trata de una rotonda a nivel inferior que permite los movimientos de salida y entrada a la zona industrial y residencial de los polígonos de La Cabezuela y Río San Pedro. Los ramales que acceden al puerto están ejecutados a nivel de mo-

vimiento de tierras, pendiente de la construcción de la explanada y capas de firme. Quedan pendientes de reposición los viales de conexión desde el enlace de Río San Pedro y la zona residencial.

- **Viaducto de Río San Pedro.** Estructura de 796 metros de longitud repartida en 18 vanos, con 22,8 metros de anchura para alojar dos carriles por sentido, que está situada a continuación del enlace de La Cabezuela, en una zona industrial. Terminado, a falta de afirmado, balizamiento y defensas.
- **Enlace de Río San Pedro.** Conexión del nuevo acceso a Cádiz con la red viaria existente. Su misión es repartir el tráfico de la autovía CA-35, permitiendo el acceso al puente José León de Carranza o al nuevo puente, así como todos los movimientos a la zona residencial e industrial de Río San Pedro y La Cabezuela, además de a Puerto Real y Trocadero.

Incluye dos viaductos de 147 y 106 metros de longitud. El pasado 2 de abril se realizó la apertura parcial del nudo (los dos carriles en el sentido Sevilla-Cádiz), incluidos todos los ramales de la glorieta ubicada en dicho enlace, lo que se ha traducido en una mejora de la circulación en la zona.

- **Enlace de Cádiz.** Situado a la salida del puente en la zona urbana, supone la remodelación de una intersección existente entre cuatro avenidas. El proyecto original preveía un túnel, pero el diseño final, a petición del Ayuntamiento de Cádiz, contempla una rotonda partida que prevé el cruce preferente desde el nuevo puente hacia la avenida de las Cortes de Cádiz y que distribuirá el tráfico hacia el resto mediante regulación de semáforos. Las obras se iniciarán próximamente y deben ser coordinadas con la modificación de los servicios urbanos allí existentes.



► Infografías del puente sobre la bahía (arriba) y de la sección del tablero (debajo), con la distribución de calzadas y la plataforma tranviaria.

Para el izado y ripado (desplazamiento lateral) del tablero, necesarios para las maniobras de montaje y desmontaje de la estructura, se dispondrá en ambos extremos de la viga un sistema de doble ménsula metálica de sección cajón, bajo la que se dispondrán sendos aparatos de apoyo elastoméricos de neopreno ubicados sobre ménsulas cortas de hormigón armado que sobresaldrán de las pilas.

El puente desmontable, con un peso de 4.400 toneladas, ya está terminado y se encuentra actualmente en la factoría de la empresa fabricante en Puerto Real. Cuando concluya el tramo contiguo de acceso a Cádiz, será transportado hasta la obra y colocado mediante grandes grúas en su alojamiento definitivo, entre las pilas 9 y 10.

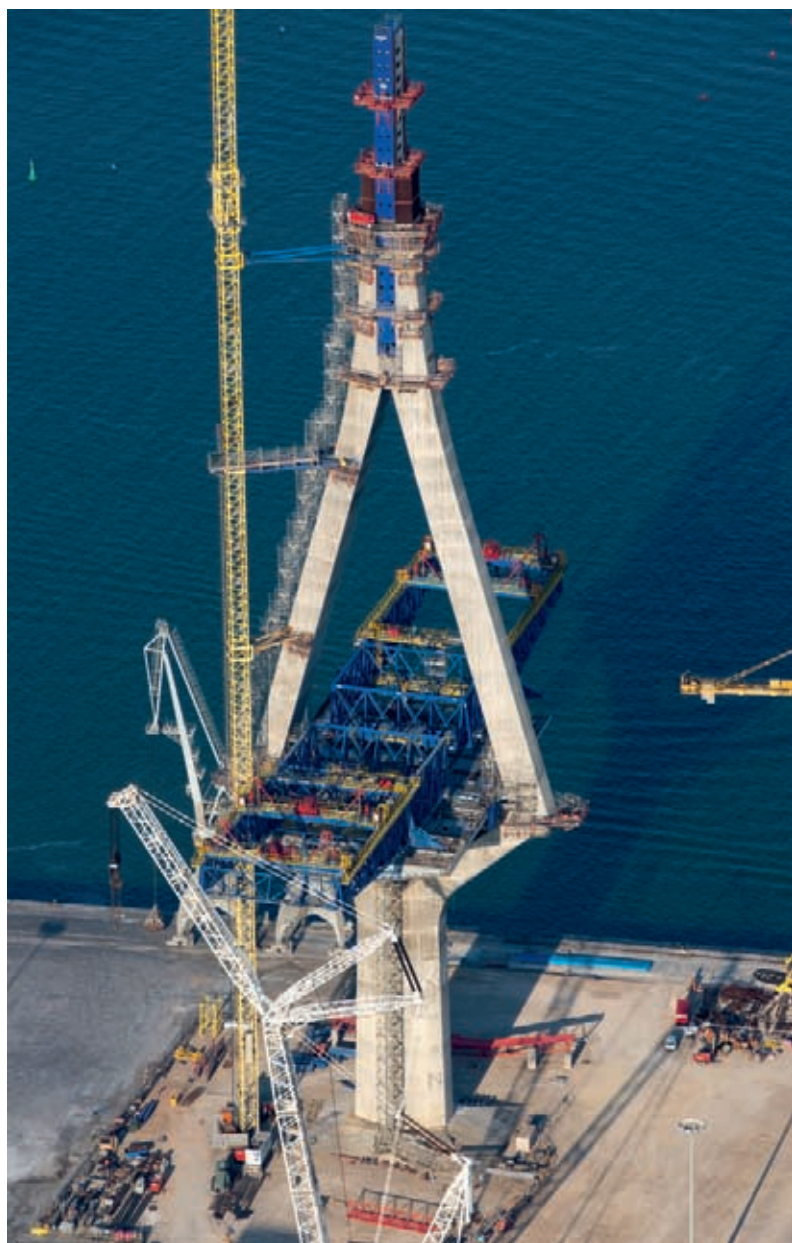
◆ **Tramo atirantado.** El tramo más espectacular del puente será un tablero mixto hormigón-acero de 1.180 metros de longitud dividido en cinco vanos, con luces de 120 y 200 metros en los vanos de compensación y de 540 metros en el vano principal, lo que lo convierte en récord absoluto en España, con un gálibo máximo de 69 metros, uno de los mayores del mundo. Este vano, por el que discurrirá el canal de navegación, se sitúa entre dos torres de atirantamiento de 181 y 186 metros de altura, de tipología de diamante, una construida en el mar (la pila 12) y otra en tierra (la 13), que lo sustentarán mediante 176 tirantes de acero activo, anclados en cada torre a un fuste superior de 47 metros de longitud formado por cajones metálicos. El tablero, con ancho variable entre 33,2 y 34,3 metros, estará formado por un cajón central de 10 metros de ancho y dos voladizos de 12,15 metros en la zona más ancha.



Plataforma tranviaria

El puente de la Constitución de 1812, que tendrá cuatro carriles de circulación (dos por sentido de 3,5 metros de anchura), incorporará en un lateral del tablero una plataforma que albergará la doble vía en placa de un tren-tranvía. Esta iniciativa autonómica se incorporó al proyecto en 2008 para desarrollar un sistema de transporte mixto que favorecerá la movilidad sostenible en el área metropolitana de Cádiz, con dos líneas que enlazarán la capital con San Fernando-Chiclana por un lado y con Puerto Real a través del puente por el otro, y que aprovecharán parcialmente el trazado convencional de Adif en la zona (línea Sevilla-Cádiz). Con las obras ya en marcha en la primera línea y parte del material móvil en fase de

pruebas, el Ministerio de Fomento adjudicó en marzo pasado, por 28,9 M€, las obras de adaptación de la plataforma tranviaria sobre el puente de la Constitución de 1812, con lo que da un impulso a la segunda línea. En realidad, se trata de adaptaciones estructurales que se realizan en la propia construcción del tablero del puente, consistentes en aumentar su anchura, entre 3 y 5 metros, y en la redistribución de los carriles para el tráfico rodado. La financiación de esta actuación corre a cargo del Departamento en virtud de un acuerdo con la Junta de Andalucía, que a cambio dragará un canal de 3.000 metros de longitud y entre 150 y 320 metros de anchura que discurrirá bajo el tramo desmontable del puente.



► Torre de atirantamiento en los terrenos portuarios de La Cabezuela (lado Puerto Real), de 186 metros de altura, con los carros de izado montados.

El tablero, de diseño aerodinámico y esbelto, se construye a base de dovelas metálicas, de 20 metros de longitud y 35 metros de anchura —las de mayores dimensiones fabricadas en España, en los talleres de Tecade, y con muy pocos precedentes internacionales—, con un peso medio de 365 toneladas cada una. Estas dimensiones prácticamente doblan a las contempladas en el proyecto original, que preveía dovelas de 10 metros de longitud, una modificación destinada a reducir los plazos de ejecución (por medio de la reducción del número de operaciones de izado) y buscar la calidad óptima (a través de la reducción al máximo de las uniones entre dovelas a realizar en altura). Tres empresas sevillanas

han fabricado ya más del 78% de las 61 dovelas que conformarán el tramo atirantado, buena parte de las cuales aguardan ya en la zona de obras, en el Bajo de la Cabezuela, su próxima instalación.

El procedimiento para construir el tablero —la operación más vistosa de la ejecución de todo el puente, y también una de las que mayor tiempo llevará— se inició el pasado 12 de noviembre con el izado sobre la pila 13, a unos 60 metros de altura, de la dovela 0, realizado con grúa. Más adelante se izará la correspondiente a la pila 12. Las operaciones de izado deben realizarse con el viento en calma. Una vez ancladas a las torres, mediante dispositivos provisionales y definitivos, se izarán las siguientes dovelas por medio de carros de izado y se soldarán a las anteriores —unir una dovela con la contigua puede llevar hasta 1.400 horas de soldadura— hasta completar los primeros 109,5 metros de tablero, momento en el que se anclará y tensará la primera pareja de tirantes correspondiente a este tramo de tablero. Sobre el mismo se habrán hormigonado previamente las losas inferior y superior de las dovelas. Este avance por voladizos sucesivos se repetirá sucesivamente para construir cada tramo del tablero, más de la mitad de cuya longitud (540 metros) se ejecutará sobre las aguas.

La ejecución del tramo atirantado, la operación más espectacular de la obra, se inició en noviembre pasado con el izado de la dovela 0 a 60 metros de altura

El avance del montaje de las dovelas será progresivo por ambos lados de cada torre, para garantizar el equilibrio y la seguridad de la estructura, montándose de forma alternativa hacia puntos kilométricos crecientes y decrecientes a partir de cada torre. En este proceso intervienen dos equipos de montaje, uno por cada torre de atirantamiento, cada uno de los cuales consta de dos carros de izado (un total de cuatro carros de izado) para montar alternativamente una dovela en cada lado de la torre. Cada paso del proceso constructivo, que debe responder a unos requerimientos técnicos de colocación y ejecución de una gran precisión, se lleva a cabo de acuerdo a modelos de cálculo previos, que determinarán en cada fase el estado de deformación y de tensiones en la estructura.



En la actualidad, las dos grandes torres de atirantamiento están finalizadas, ultimándose los pilonos metálicos que las coronan, donde se anclarán los cables que sustentarán el tramo atirantado. Cuando estén terminados, la torre de tierra tendrá 184,13 metros de altura y la de mar medirá 185,94 metros. Los progresos en este tramo se han centrado en el comienzo de las fases constructivas del tablero en obra. En la torre de tierra se ha llevado a cabo el izado de las tres primeras dovelas del tablero (la dovela 0 pesaba 700 toneladas), además de la disposición de los dos carros de izado, cuyas dimensiones (50 metros de longitud, 20 metros de anchura y 8 metros de canto), peso (unas 500 toneladas) y capacidad de carga los convierten en estructuras de gran singularidad. El izado de las dovelas y de los carros de izado a la torre de mar, aún no realizado, requerirá de medios marítimos especiales. Mientras, en el Bajo de la Cabezuela aguardan nuevas dovelas listas para su izado y colocación.

◆ **Tramo de acceso a Puerto Real.** El cuarto y último tramo del puente, que conecta en su extremo con el enlace de La Cabezuela, se desarrolla ya por completo en terrenos de Puerto Real con una longitud total de 1.180 metros y con sección de tablero de hormigón pretensado ejecutado *in situ*. Las pilas que soportarán el tablero son de dos tipos: de

tipo palmera en el tramo entre las pilas 15 a 17, y de tipo pórtico en el tramo de la 18 a la 37, debido al condicionante de la existencia de un vial en la zona de ubicación de las mismas, perteneciente a los terrenos portuarios de La Cabezuela. Los vanos tienen luces entre ejes de apoyos que varían entre 32 y 75 metros.

En este tramo se distinguen claramente tres partes: una primera contigua al tramo atirantado, de 616 metros de longitud, distribuidos en seis vanos, con tablero de sección transversal tricelular y anchura de 33,2 metros, que requerirá, dada la gran altura de las pilas, su ejecución *in situ* mediante cimbra porticada; un segundo tramo de transición, de 54 metros de longitud, con sección transversal del tablero similar al anterior y anchura variable del mismo entre 33,2 y 30,8 metros; y una parte final, de 512 metros distribuidos en 13 vanos, con sección de tablero de hormigón pretensado y anchura variable, que se ejecutará *in situ* mediante cimbra cuajada.

La ejecución del tramo final del viaducto ya está en marcha. Todas las pilas están levantadas y ya se han completado los tres últimos vanos (entre la pila 35 y el estribo). En breve se iniciarán los trabajos previos para la ejecución de las cimentaciones de las cimbras de cada tramo. ◀

► *Dovela del tramo atirantado, con un peso medio de 365 toneladas, a la espera de ser izada a la torre de atirantamiento.*



Estructuras offshore

Puentes metálicos

Estructuras singulares

Calderería pesada

Curvados grandes espesores



GRUPO TECADE, S.L.

SEDE CENTRAL
C/ Herrero, 1
41750 Los Molares (Sevilla)
Telf. +34 955 833 811
Fax +34 955 833 722
www.tecade.eu

TECADE YARD
Ctra. de la Esclusa s/n
41011 Sevilla



- APIA XXI. Ampliación del puente de los Santos. *Boletín de información interna*. Enero 2009.
- Arenas de Pablo, Juan José; Capellán Miguel, Guillermo; Beade Pereda, Héctor y Martínez Aparicio, Javier. El puente del Tercer Milenio: Retos en el diseño de puentes desde la perspectiva de la ingeniería creativa. Génesis de formas. Asociación Científico Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Madrid, 2008.
- Astiz Suárez, Miguel Ángel. Estudio de las vibraciones de los arcos de Alconétar. Asociación Científico Técnica del Hormigón Estructural.
- Bertaut, François. *Journal du voyage d'Espagne*. París, 1669.
- Campos, Almudena *et al.* Viaducto Manantial Sur. Premios Basf. 2010.
- CSIC-Informes de la Construcción octubre-diciembre 2006.
- Del Pozo Vindel, Florencio; Arrieta Torralba, José María, Celemin Santillana, Javier e Higuera Antón, Miguel A. Viaductos de Piedrafita. Autovía del Noroeste. Ponencia del II Congreso de la Asociación Científico Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Madrid, 2002.
- Diario de Córdoba. El puente de Abbas Ibn Firmás. 15 enero 2011.
- Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. Piedrafita: Puentes de Comunicación. Ministerio de Fomento. Madrid, 2003.
- Domosti, Octavio. Puentes españoles singulares (I y II). www.Jotdown.es 2013.
- FCC Construcción. Viaducto de Navia. Asturias. Informe técnico 208.
- FCC Construcción. Los viaductos de Piedrafita. Informe técnico 214. Madrid, 2003.
- González, Esteban. Viaducto de Navia (1ª parte) y Viaducto de Navia (2ª parte). N° 938 y 939 de la *Revista Técnica Cemento y Hormigón*. Madrid, 2010.
- Llobart Jaques, J. A.; Revoltós Fort, Jordi; Couto Wörner, Sergio. Puente sobre el río Tajo en el embalse de Alcántara (Arcos de Alconétar). *Revista Hormigón y Acero*. Madrid, 2006.
- Mathias Escribano, Joseph. Itinerario español, o guía de caminos, para ir desde Madrid a todas las ciudades y villas más principales de España. Madrid, 1775.
- Martínez Calzón, Julio; Serrano Corral, Álvaro y Castañón Jiménez, Carlos. Viaducto sobre el río Nalón en la autovía del Cantábrico (A-8). ACHE. Madrid, 2007.
- Manterola Armisen, Javier y Martínez Cutillas, Antonio. El puente sobre la bahía de Cádiz. Documento de empresa.
- Manzanares Japón, J.L. Puentes andaluces. Intervención oral en el IV Congreso Andaluz de Carreteras. Jaén, 2007.
- Piedrafita: Puentes de comunicación. Centro de Publicaciones. Ministerio de Fomento. Madrid 2003.
- Sánchez de León, Ramón y Bernal Pérez, Christian. Puente atirantado de Talavera de la Reina. Ponencias presentadas en el V Congreso de ACHE. Madrid, 2012.
- Sánchez Sánchez, Jesús. El puerto del Muradal: entre el mundo prerromano y la Ilustración, 2005.
- Valdés Fernández de Alarcón, Santiago. Autovía Cantabria La Meseta. Tramo Los Corrales de Buelna-Molledo. *Revista de Obras Públicas*. Madrid, 2005.
- Villegas, Roberto; Pantaleón Prieto, Marcos, J.; Revilla Angulo, Roberto y Olázabal Herrero, Patricia. Viaducto de Montabliz. *Revista de Obras Públicas* n° 3.472. Madrid, 2006.
- Villegas, Roberto; Pantaleón Prieto, Marcos, J.; Revilla Angulo, Roberto y Olázabal Herrero, Patricia. Un camino de horizonte. *Revista Cauce 2000*. N° 140. Madrid, 2008.

Agradecimientos

Javier Barrero y Delia Puga González (UTE IV Circunvalación), Julio Domingo de la Blanca y Eugenia Hernández Mateos (DCE Andalucía Occidental), José Lorente Gutiérrez (DCE Andalucía Oriental), Ramón Julio García Fernández (DCE Asturias), José Ignacio Sellers Bermejo (DCE Extremadura), Dulce María Fresco Miguel (DCE Galicia), Arenas&Asociados, Carlos Fernández Casado S.L., MC2 Estudio de Ingeniería S.L., Estudio de Ingeniería y Proyectos (EIPSA), UTE Puentebahía, departamentos de Comunicación y Prensa de Autoritat Portuaria de Barcelona, Ayuntamiento de Zaragoza, Dragados, OHL y SERS.

SUMINISTRO, MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE
SISTEMAS DE PROTECCIÓN COLECTIVA:

- ❖ Sistemas de protección anti-caídas de carácter permanente y temporal:
 - ✓ Líneas de vida: EN 795, EN 353
 - ✓ Dispositivos de anclaje rígidos y flexibles: EN 353
 - ✓ Protección colectiva permanente para trabajos de mantenimiento: EN 14122
- ❖ Protección colectiva en altura: EN 1263, EN 13374:
 - ✓ Redes de seguridad: sistemas S, Sistema T, Sistema U, Sistema V
 - ✓ Cierres perimetrales temporales y permanentes
- ❖ Señalización vial provisional 83 IC
- ❖ Sistemas de Control de acceso

ASISTENCIA TÉCNICA EN PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES

FORMACIÓN DE CONVENIO. Entidad homologada

IMPLANTACIÓN OSHAS 18001 asesoría internacional

Prevenir y Proteger es nuestra especialidad desde 1997

Madrid

Lagasca, 67, 1º
28001, Madrid
+34 902 10 81 26

Santiago de Chile, Montajes de Seguridad del Pacífico Ltda

Alcántara, 200, Piso 6
Chile CP 7550159
+56 2 23702954

Bucarest

Grigore Alexandrescu, nr 36,
010626 Bucuresti
+40 72253575


previtalia
best to be ahead

info@previtalia.net - www.previtalia.net



Crecimiento basado en la Innovación

Ferrovial Agromán apuesta por la innovación y el desarrollo, así como por la aplicación de nuevas tecnologías en todos los ámbitos de su actividad de diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras.

ferrovial
agroman

Centro virtual de publicaciones del Ministerio de Fomento:

www.fomento.gob.es

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://publicacionesoficiales.boe.es>

Título de la obra: **Revista del Ministerio de Fomento, nº 630, Extra julio-agosto 2013.**

VIADUCTOS SINGULARES DEL SIGLO XXI (CARRETERAS)

Año de edición: **Septiembre 2013**

Edición digital:

1ª edición electrónica: **Septiembre 2013**

Formato: **PDF**

Tamaño: **19,50 MB**

NIPO: 161-13-004-6

I.S.S.N.: 1577-4929

P.V.P. (IVA incluido): 3 €

Edita:

Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Fomento©

Aviso Legal: Todos los derechos reservados. Esta publicación no podrá ser reproducida ni en todo, ni en parte, ni transmitida por sistema de recuperación de información en ninguna forma ni en ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico o cualquier otro.