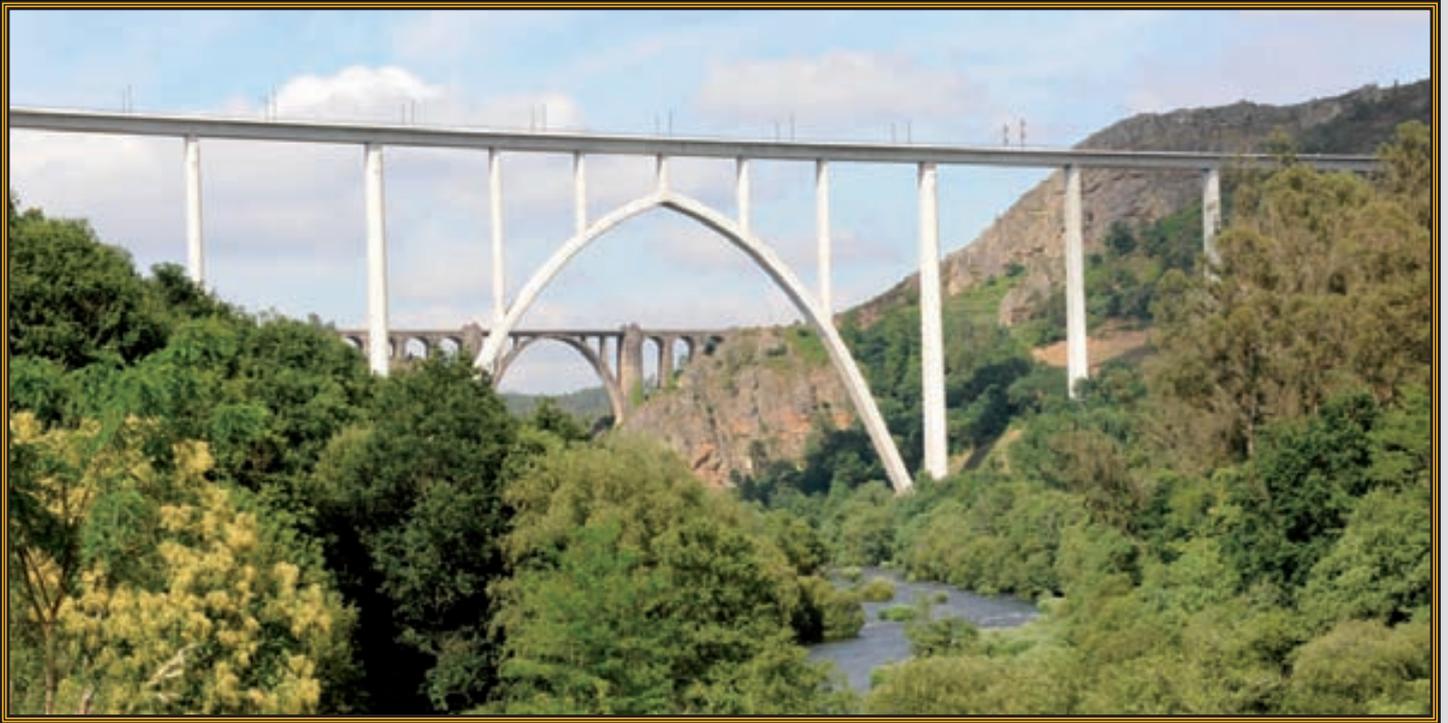


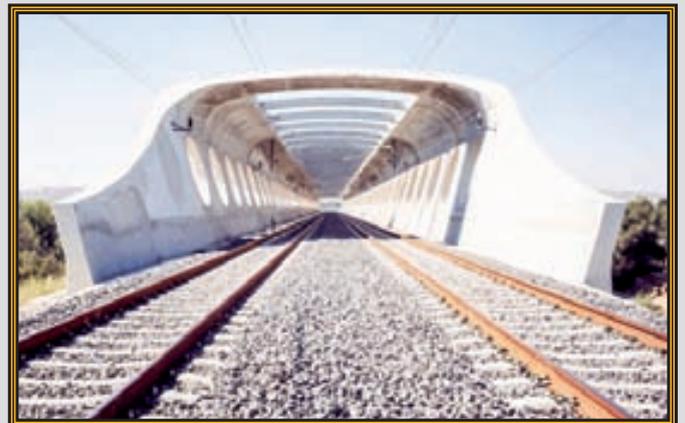
Revista del Ministerio de

Fomento

Julio-Agosto 2014 • N°641 • 6 €



VIADUCTOS SINGULARES DEL SIGLO XXI (FERROCARRIL)



Con PROAS
vuelve a estrenar
carretera.

Nuestra amplia gama de productos cuida y conserva el buen estado de las carreteras. Desde masillas sellantes hasta la gama ELASTER, última generación de betunes modificados con polímeros. Sea cual sea tu necesidad elige PROAS y estarás apostando por productos de última tecnología pensados para alargar la vida de la carretera.

Más información en www.proas.es

 **CEPSA**

El valor de un legado



El desarrollo de la alta velocidad en nuestro país, con los grandes condicionantes de trazado exigidos a priori a ese tipo de líneas, ha impulsado de modo singular una muy amplia diversidad de soluciones formales y constructivas en materia de viaductos, de tal modo que su originalidad y brillantez han convertido en muchos casos a estas infraestructuras en obras de referencia más allá de nuestra fronteras.

En respuesta a esas exigencias impuestas por la alta velocidad, los viaductos construidos en esta última década y media han debido adoptar un dimensionamiento sin apenas precedentes en otros puentes anteriores, incorporando muchas veces tableros de longitud kilométrica, pilas de gran altura y vanos o arcos de muy amplias luces.

El desafío ha sido doblemente extraordinario, pues a lo inédito de esas grandes dimensiones se han debido sumar las máximas garantías de seguridad para un comportamiento estructural adecuado a los esfuerzos y vectores de la alta velocidad, otra gran *terra incognita* en la que tanto proyectistas como empresas constructoras han explorado y continúan abriendo nuevas sendas, haciendo más fácil el camino para cuantos a posteriori han decidido seguirlo desde otras partes del mundo.

Eugène Freyssinet, el gran visionario de las posibilidades inagotables del hormigón pretensado, proyectista y constructor él mismo de algunos de los puentes y estructuras más geniales del

pasado siglo, nunca se consideró un ingeniero de gran talento. Hacia el final de sus días y lejos de la falsa modestia, consideraba que casi toda su obra estaba fundada en golpes de intuición tamizados por la experiencia, y seguía entendiendo el arte de construir tal y como lo concebían los viejos artesanos de su Corrèzes natal: *solo un medio para reducir al máximo la pena humana necesaria para alcanzar un objetivo útil.*

Los puentes ferroviarios levantados en nuestro país en estos últimos años, de los que aquí solo hemos escogido una muy pequeña representación, son en muchos casos ya referentes importantes de esa gran experiencia colectiva que es hoy la ingeniería. Y como sugería Freyssinet, ahí no habrán agotado todo su valor, sino en su capacidad para sembrar de razones la intuición que hallará soluciones a los viejos y nuevos problemas.

La experiencia constructiva de todos estos años ha generado, pues, un impagable legado que va más allá de la propia materialización de las obras y se desborda en el caudal de conocimientos y saber hacer acumulados. En este sentido, esta última generación de puentes ferroviarios, a la que nos hemos querido acercar desde este monográfico, ofrece no sólo respuesta a las necesidades de comunicación más inmediatas. Sus soluciones constituyen todo un acervo de superación y dan también continuidad a los caminos del futuro.

ANTONIO RECUERO

Director de la Revista: Antonio Recuero

Maquetación: Aurelio García **Secretaría de redacción:** Ana Herráiz. **Archivo fotográfico:** Vera Nosti. **Elaboración página web:** www.fomento.gov.es/publicaciones. Concepción Tejedor.

Suscripciones: 91 597 72 61 (Esmeralda Rojo Mateos)

Colaboran en este número: Jaime Arruz, M^o del Carmen Heredia Campos, Pepa Martín, Begoña Olabarrieta, Javier R. Ventosa 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*), Mónica Marín Díaz (*Directora del Gabinete Técnico de la Secretaría General de Infraestructuras*), M^o 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:** cpublic@fomento.es

Impresión y publicidad: Comunicación y Diseño. C/ O'Donnell, 18, 5^o H. 28009 Madrid. Teléf.: 91 432 43 18. Fax 91 432 43 19. **E-mail:** revistaofomento@cydiseno.com www.cydiseno.com

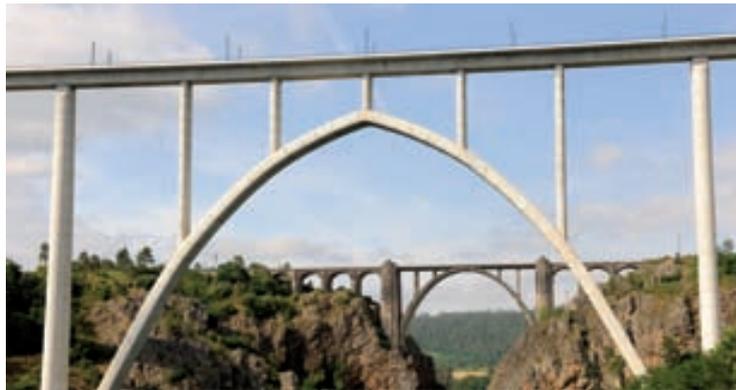
Dep. Legal: M-666-1958. ISSN: 1577-4589. NIPO: 161-14-006-1

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 Viaducto sobre el río Jalón y N-II

Abriendo camino.

12 Viaducto de Osera del Ebro

Ligero y singular.

22 Viaducto de Arroyo del Valle

A los pies de Guadarrama.

32 Viaducto del Arroyo de las Piedras

Solución pionera.

40 Viaducto de El Portal

Récord de longitud.

48 Viaducto de Contreras

Ligero y elegante.

56 Viaducto sobre el río Ulla (Eje Ourense- Santiago)

En compañía de un clásico.

64 Viaducto de Archidona

Elegante vuelo.

72 Viaducto de la calle del Comercio

Máxima precisión.

80 Viaducto sobre el río Deba en la Y vasca

Armonía y equilibrio.

88 Viaducto sobre el río Ulla (Eje Atlántico)

El icono del Eje.

96 Viaducto sobre el río Almonte

Arco con récord.

104 Bibliografía



Viaducto de Arroyo del Valle. L.A.V. Madrid-Burgos-Valladolid
Proyecto Constructivo y Asistencia Técnica



PROES
www.proes.es







VIADUCTO SOBRE EL RÍO JALÓN Y N-II

ABRIENDO CAMINO

BEGOÑA OLABARRIETA

FOTOS: IDEAM

El viaducto construido para salvar el río Jalón y la carretera N-II, ubicado en el curso de la línea de alta velocidad que avanza hacia Barcelona y la frontera francesa, con sus más de 2 km de longitud, es un precursor de la tendencia actual y de las alternativas constructivas de este tipo de infraestructuras, más largas y de mayores vanos.



Hasta la llegada de la alta velocidad a España, con la primera línea que cubría el recorrido Madrid-Sevilla en 1992, pocos puentes llegaban a superar los 500 m de longitud. Fueron las vías rápidas, con sus nuevas necesidades y peculiaridades, las que obligaron a incorporar cambios sustanciales tanto en la longitud como en el diseño y técnicas constructivas.



Hoy, a lo largo de estas líneas de ferrocarril es frecuente encontrar viaductos cuya larga extensión responde a los exigencias de las limitaciones impuestas a los parámetros de trazado -radios amplios y pendientes suaves-, así como a otros tipos de condicionante cada vez más relevantes, como todos los relativos a minimizar el impacto ambiental, durante y tras la construcción.

El diseño de estas infraestructuras se acomete desde una serie de tipologías y procedimientos constructivos, cuya elección depende de la diferencia de altura entre la rasante del viaducto y el terreno, de las condiciones geotécnicas, de los medios técnicos y de los efectos de interacción vía-estructura.

► **Condicionantes**

Asimismo, para la construcción de los viaductos en líneas de alta velocidad como la de Madrid-Barcelona-Frontera Francesa fueron fundamentales los condicionantes generados por la fuerza de frenado y la interacción vía-tablero.

En la primera se contemplaron valores máximos de hasta 6.000 kN/vía, lo que obligó a contar con

un elemento resistente muy importante, pila o estribo, capaz de soportarlo. Para el cálculo de las tensiones a las que estaría sometido el carril, se analizó la interacción vía-tablero sometida a distintos movimientos, tanto por las acciones térmicas como por las acciones reológicas, el comportamiento de los materiales respecto a los esfuerzos exigidos durante distintos periodos de tiempo .

Con una longitud total de 2.238 m, el viaducto salva la vega del Jalón

Para que las tensiones no superaran los valores admisibles, fue preciso contar con aparatos de dilatación en la vía, que coincidieran con la junta de dilatación del tablero del viaducto. En cuanto a las transiciones viaducto-terraplén, se ejecutaron disponiendo dos zonas especiales a continuación de la estructura: la más próxima de un material tratado con cemento y la más alejada con material granular.

► *Vista general del viaducto bajo la N-II.*

► Los vanos isostáticos del viaducto se construyeron mediante cimbra.



ACS

una altura de más de 25 m, ocupa una superficie construida superior a los 31.000 m², equivalente a la extensión de tres campos de fútbol.

► División del tablero

Una forma de afrontar el proyecto de viaductos con longitudes difícilmente asumibles por un único tramo continuo, es la de dividir el tablero en vanos isostáticos. Esta es la configuración que más se ha empleado en los viaductos de muy gran longitud en España.

Estos viaductos, aunque en general siguen un esquema longitudinal de fragmentación por vanos que permite mantener el carril continuo, en ocasiones combinan los vanos isostáticos con tramos hiperestáticos para salvar obstáculos que requieren de una luz superior (luz isostático ≤ 40 m).

Este es el caso del viaducto del Jalón, proyectado por el equipo de ingenieros de Ideam y cuya ejecución corrió a cargo de la empresa ACS, cuya estructura está dividida en cuatro partes formadas por una sucesión de vanos isostáticos realizados sobre autocimbra, entre los que se intercalaron dos tramos hiperestáticos, de cuatro luces cada uno, que fueron construidos por fases.

En su proceso de construcción los tableros isostáticos se materializaron mediante una única sección

El resultado del análisis y soluciones de estos requerimientos especiales son los puentes de gran longitud que se suceden a lo largo de la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa, como el que sobrepasa el río Jalón, en el camino entre la capital española y Zaragoza.

El viaducto del Jalón, ya en su época uno de los más largos de Europa, con 2.238 m de longitud y



ACS

Diferentes soluciones para las nuevas líneas

Aquella primera línea de alta velocidad que avanzaba hacia la capital andaluza en el 1992 solucionó los viaductos que se construían a su paso, en cuanto a luz, longitud total y altura de pilas, básicamente con el uso de tableros convencionales con soluciones prefabricadas isostáticas en doble T o con dinteles continuos postesados de hormigón *in situ*, con luces que rara vez pasaban de los 40 m.

Sin embargo, los condicionantes del trazado en las nuevas líneas rápidas y las normas medioambientales, cada vez más presentes en todo el planteamiento y desarrollo constructivos, han cambiado sensiblemente las tipologías y los procesos constructivos.

Ahora los viaductos son más largos, superiores a los 1.000 m, con luces de vanos entre los 70 y los 120 m, y alturas de pilas que van de 50 ó 70 m hasta, en ocasiones, los 100 m.

Todo ello conlleva la búsqueda de nuevas soluciones constructivas. Hasta muy recientemente las de hormigón eran las úni-

cas proyectadas y construidas para las líneas de alta velocidad, pero la gran longitud y el importante peso de las secciones transversales de los tableros ferroviarios se adaptan difícilmente en coste y plazos, excepto en contadas ocasiones, a la técnica por avance de voladizos sucesivos.

Hoy la mayor parte de los viaductos se proyectan y se construyen con soluciones de hormigón pretensado y dinteles isostáticos y continuos de múltiples vanos.

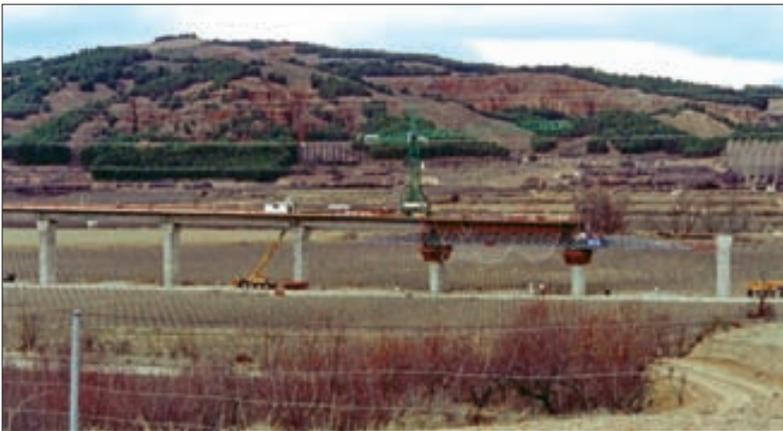
La tendencia actual se concentra en 4 diferentes alternativas estructurales:

Soluciones empujadas de dinteles contenidos de hormigón postesado y sección cajón unicelular.

Soluciones construidas vano a vano con ayudas de cimbras autolanzables, como es el caso del viaducto del Jalón.

Sistemas de montaje con autocimbra

Soluciones prefabricadas con sección transversal en doble cajón y montaje con grúas.



► *El tablero, una única sección de canto constante, se ejecutó en hormigón pretensado.*

cajón de canto constante de 3 m que se ejecutó en hormigón pretensado. Su relación luz-canto máximo es de 11,5 m y la anchura total de la plataforma de 14 m se obtuvo mediante dos voladizos de 3,93 m de vuelo y un ancho superior del núcleo del cajón de 6,13 m.

Aunque a priori el cálculo no presentaba gran dificultad técnica, se dio máxima importancia a lograr unas magnitudes de hormigón y acero ajustadas a los esfuerzos solicitantes y a desarrollar los detalles constructivos de la forma más sencilla y adecuada a los medios existentes, debido al elevado número de veces que se repetiría su realización.

► **Dos vanos cada tres semanas**

El resultado de cuidar ambos aspectos de forma especial durante el desarrollo del proyecto fue deci-

sivo en el proceso de construcción, consiguiéndose en obra unos rendimientos de 2 vanos isostáticos cada 3 semanas.

Los tableros hiperestáticos del viaducto ofrecen una geometría externa igual a la de los isostáticos, con un canto constante de 3 m con el que se obtiene, para los vanos centrales de 48 m de luz, una relación luz-canto de 16 m.

A lo largo del tablero se utilizaron dos tipos de secciones, diferenciándose en los espesores de almas, tabla superior y tabla inferior.

Durante la construcción se completó en cada fase el vano anterior, ejecutándose el 20 por ciento del posterior; por lo que en cada fin de etapa quedaba interrumpido el pretensado parabólico. Para facilitar el alojamiento de los anclajes del pretensado de la siguiente etapa y así agilizar los trabajos, se dispusieron recrecidos del alma en los 2,90 m previos al final de la fase.

Posteriormente, ya acabadas las fases de construcción del puente, se completó el proceso mediante un pretensado recto alojado en la tabla superior y anclado en cuñas interiores al cajón.

► **Tramos y pilas**

Las características de la subestructura, formada por 63 pilas y sus dos estribos correspondientes, responden a su situación en el puente. Todas las pilas presentan unas dimensiones de 2,80 m de canto longitudinal por 5,50 m de ancho transversal, excepto en el cruce de la N-II, donde la segunda pila adopta una geometría diferente al resto para evitar el impacto visual.

En el primer tramo hiperestático, de la pila 1 a la 4, las fuerzas horizontales son recogidas por el estribo 1 que minimiza significativamente los esfuerzos en las pilas y por tanto sus necesidades de cimentación, siendo suficiente una cimentación directa dadas las buenas condiciones del terreno.

El segundo tramo y primero isostático, de la pila 5 a la 53, se solucionó mediante aparatos de apoyo tipo POT fijos en longitudinal, que permitieron a cada pila asumir las fuerzas horizontales de cada vano correspondiente. La elección de este procedimiento fue posible porque su altura máxima era de sólo 26.30 m, lo que facilitó asumir el momento flector producido en sus bases con una cimentación de 6 pilotes de 1.500 mm de diámetro. No obstante, la existencia de una falla que reducía la tensión máxima obligó a incrementar la cantidad necesaria en las pilas 18 y 19, mientras que en las 5, 6 y 7 las características del terreno permitieron la cimentación directa.

Integración en el subtramo XII-A

El viaducto del Jalón está integrado en el subtramo XII-A, que atraviesa una de las zonas orográficas más difíciles de la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa, dado que salva la vega del Jalón y parte de la zona montañosa situada en la comarca de Calatayud.

El trazado está compuesto de dos alineaciones rectas, que corresponden al inicio y al final. Entre las rectas se sitúan dos curvas circulares con un radio de 7.250 m, con sus correspondientes curvas de transición.

El comienzo de la obra se situó antes de cruzar el río Piedra. Una vez cruzado éste mediante un via-

ducto de 460 m de longitud, el trazado continuó con un túnel de 465 m de longitud para cruzar posteriormente el barranco de Valmayor y seguidamente un segundo túnel de 1.013 m de longitud. A la salida de este segundo túnel el trazado discurre en trincheras hasta llegar a las dos vaguadas situadas antes de cruzar la autovía N-II.

La N-II, así como el río Jalón y parte de su vega, se cruzaron mediante un viaducto de 2.238 m, aproximándose el trazado a la anterior línea de ferrocarril Madrid-Zaragoza, al sur de la misma, para discurrir al lado y paralelamente a ésta, hasta el final del subtramo.



En el tercer tramo y segundo hiperestático, de la pila 54 a la 58, sobresale ésta última al recoger todas las fuerzas horizontales de 165 m de viaducto. El último tramo y segundo isostático, se resolvió al asumir cada pila las fuerzas horizontales de un vano.

► Realización con autocimbra

Durante su construcción, los vanos isostáticos, que se hicieron independientemente de los hiperestáticos, se realizaron mediante autocimbra.

Los tramos hiperestáticos se realizaron en cuatro fases, mediante cimbra porticada. En cada fase primero se dispusieron la cimbra, los encofrados y la ferralla, para seguidamente hormigonar y posterior-

mente finalizar tesando el pretensado constructivo. Terminado el tramo por completo, se procedía al tesado del pretensado de segunda fase sobre pila.

Las secciones en centro de vano, tanto para los tramos isostáticos como hiperestáticos, fueron hormigonadas en dos fases: una primera para toda la sección, salvo el área central de la losa superior entre almas, que facilitaba sacar por arriba el encofrado interior antes de proceder a la siguiente fase, y la segunda, para la que se optó por las prelosas colaborantes.

El resultado final es el largo viaducto ubicado en los términos municipales de Ateca y Terrer que permite atravesar toda la vega, salvando la carretera N-II y el propio cauce del Jalón. ■

► Las pilas mantienen una geometría constante, excepto al paso de la N-II.

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 €



VIADUCTO DE **OSERA DEL EBRO**

LIGERO Y SINGULAR



BEGOÑA OLABARRIETA

FOTOS: CARLOS FERNÁNDEZ CASADO S.L.

El viaducto sobre el Ebro, en la Línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona, es como “un gran vagón de tren estático”. Así lo describía su autor, Javier Manterola, creador de uno de los puentes más singulares de toda la ruta. Merecedor de galardones por su construcción de vanguardia, su imagen nos retrotrae a aquellos modelos ferroviarios futuristas de los años 60.



En el río más caudaloso se sitúa el viaducto más singular. Como si estuviera pensado para no despertar al Ebro, ni a su fauna de ribera, el tren al cruzar su caudal se desliza por un puente dintel, con cierto aire retro y ventanas circulares que parecen absorber el ruido a su paso.

Es el viaducto que salva el río a la altura de Osera de Ebro, merecedor en 2003 del Premio Construmat, otorgado por la Feria Internacional de la Construcción de Barcelona. Un galardón en el que el jurado destacaba la novedad de la forma, el rigor de un elemento estructural complejo, la dovela, y la “adecuada integración del ca-

jón puente”, sin duda su signo de distinción más llamativo.

Visto en la distancia, el gran tablero que conforma el puente nos retrotrae a los diseños de los modelos ferroviarios futuristas que se realizaban en los años 60 del pasado siglo.

Un aire retro derivado de la gran viga de 9,15 m de canto, de sección trapezoidal y más ancha por arriba, que aligera sus almas con grandes orificios circulares. Como explicaba su autor, Javier Manterola, el viaducto de Osera de Ebro recuerda a esas formas clásicas de los puentes ferroviarios de hierro, “los de carga en forma de celosía Viendel”.

Este singular puente que cruza el caudaloso Ebro es parte del camino hacia la frontera fran-

► *El cuidado diseño del cajón- puente confiere al viaducto su acusada personalidad.*

cesa. Se sitúa en el subtramo II-b, entre Zaragoza y Lérida, en la vía de alta velocidad que avanza desde la capital española hacia el país vecino.

Ubicado a unos 35 kilómetros al sureste de Zaragoza, el viaducto cruza un río que, en época normal, tiene una anchura de unos 120 m, con la margen derecha bien definida por una defensa de ribera, mientras que en la izquierda esta se encuentra mucho más retirada, dejando una lengua de tierra de contorno que se inunda en época de avenidas.

Son 546 m de tablero en los que se ha interpretado el concepto de celosía metálica de los grandes puentes de ferrocarril para adaptarlo a las corrientes actuales de hormigón pretensado.

► Cálculo adecuado

Su tipología resulta muy singular. Un tablero con una sección no homogénea longitudinalmente, con un comportamiento tridimensional y especial provocado por los aligeramientos circulares en las almas y las costillas superiores discontinuas, obligó a considerar detenidamente la metodología y los elementos de cálculo adecuados, haciendo imprescindible la utilización de técnicas de elementos finitos. A ello se unió la deformabilidad derivada del esfuerzo cons-



Dos parques para fabricación de dovelas

Durante el proceso constructivo se establecieron dos zonas claramente diferenciadas para la fabricación de las dovelas. Desde el inicio se desechó la idea de contar con un sólo parque desde donde empujar a una mitad del puente para después desplazarlo al estribo opuesto y empujar, porque hubiera supuesto un incremento de plazo.

Por ello se hizo una zona de fabricación de 36 m de longitud, donde se instaló el parque de fabricación propiamente dicho, y otra de transición hacia el estribo de 12 m de longitud, necesaria para la estabilidad del empuje. Dentro de la primera se estableció la zona de encofrado de solera y la de hastiales y techo, ambas de 18 m de longitud.

Esta división en dos espacios diferenciados permitió optimizar las operaciones de colocación de armaduras y hormigonados, dotándolas además de gatos hidráulicos para facilitar los movimientos y la vibración exterior de los hastiales. También se consiguió agilizar el movimiento de los materiales nece-

sarios a través de una grúa torre en cada uno de los parques.

Las grandes dimensiones del encofrado, con un peso de 200 t de estructura metálica en cada área -de las cuales 80 t correspondían al carro interior- presentaban dos características singulares en la zona de solera.

Por un lado, en la banda de deslizamiento se dispuso una concatenación de chapas de 1,16x0,25 m que se apoyaba sobre dos carriles de ferrocarril empotrados en un muro de hormigón. Al producirse el avance, las chapas iban saliendo por delante y eran recogidas por los operarios; todo ello con un coeficiente de rozamiento del 15%.

La segunda característica vino determinada por un problema en el desencofrado de la bandeja de solera, de 10,5x18 m. Al tener costillas cada 3 m había que realizarlo antes del empuje y no aprovechando la fuerza del mismo mediante bielas.

Para solucionarlo se dispuso un sistema de bielas, con sus rótulas ancladas en dos vigas longitudinales en las que

se había impedido el movimiento horizontal en la superior y el vertical en la inferior, de modo que al accionar un gato sobre esta última la bandeja podía descender verticalmente la distancia necesaria para permitir el avance. Un método que funcionó a la perfección y que permitió optimizar los plazos de ejecución de las dovelas.

Finalmente, en todo el proceso hubo que desmontar, en los primeros empujes, las zonas de solera pertenecientes a las cuñas inferiores del pretensado de segunda fase, en las dovelas de 2 a 4, y disponer los nichos de la segunda familia de pretensado longitudinal en la zona superior de los hastiales, hasta la 9.

También para la ejecución de las dovelas pertenecientes a la sección en "U" se amplió el parque en su zona de solera de 18 a 24 m, de forma que se duplicó la longitud de la dovela prevista de 12 m, optimizando las operaciones de hormigonado, tesado y empuje a cambio de un pequeño aumento en el ferrallado.

► En la página anterior, detalle de las pilas y sección inferior del tablero. Al lado, imagen aérea del viaducto ya terminado.



tante de la estructura, que llevó a analizar aspectos novedosos tanto a nivel global como local.

Singularidades que supusieron un reto técnico de gran envergadura y que merecieron, durante su proceso de construcción, el interés de alumnos de escuelas técnicas y de organismos oficiales.

Todo en un viaducto de algo más medio kilómetro que se divide en dos zonas totalmente unidas entre sí sin junta alguna. La primera, que corresponde al tramo de avenidas, tiene 160 m de longitud y está formada por un vano de 16 m y otros seis de 24 m. La segunda se transforma en el gran puente sobre el río, con una longitud de 384 m y seis vanos de 42m.+60m.+120m.+2×60m.+42m.

La sección transversal de la gran viga Vierendel, que imprime personalidad propia al viaducto, es de forma trapecial. En la parte superior tiene una anchura máxima de 16,56 m y 12,90 m en la inferior, con espesores que varían entre 0,50 m y 0,60 m en la zona de apoyos. Además, la losa inferior tiene un espesor que va desde 0,30 m, en su unión con las almas, hasta 0,39 m en el centro. Una estructura que se completa con el conjunto de vigas transversales con canto de perfil circular separadas 3,0 m con una sección trapecial de ancho variable, de 0,50 a 0,60 m.

En la parte superior del cajón se introducen costillas de alzado circular que siguen la trayectoria de las paredes curvas superiores manteniendo el espesor de estas. Se sitúan cada 6 m y tienen una anchura de 0,60m, excepto aquellas que están sobre las pilas, que tienen 1 m. Sobre el eje de apoyo en el estribo 2 y en la zona de transición con los vanos, la medida es de 3,30 m.

Además, y para establecer continuidad, todo el tramo de acceso tiene la misma losa inferior que el principal, con similar contorno de 2,20 m de canto en las vigas laterales y anchura máxima de 1,05 m.

► Empuje

Para su construcción se optó por el sistema de empuje, con dovelas hormigonadas “in situ”. Según indican los propios autores del proyecto, Javier manterola, Antonio Martínez Cutillas y Miguel A. Gil Ginés: “en este caso se realizó una subdivisión longitudinal del tablero en dovelas de 18, 15 y 12 m y una más de cierre de 6 m. También fue singular su procedimiento: no se desplazaba formalmente una dovela completa, sino que se empujaba el techo y hastiales de la dovela “N” conjuntamente con la solera de la dovela “N+1”. La ventaja de este sistema es-



triba en que todos los medios de fabricación del tablero están en un mismo lugar, con lo que se consigue optimizar todas las operaciones de construcción”.

Este procedimiento tiene como gran ventaja la concentración de los medios y trabajos en un mismo lugar, lo que agiliza la construcción, aunque también exige un control muy exhaustivo de todos sus procesos lo que, en este caso concreto, hizo también necesario un replanteo en planta y alzado lo más preciso posible tanto de las pilas, como del parque de fabricación.

Por otro lado, el cajón se encuentra pretensado longitudinal y transversalmente. Longitudinalmente está formado por tres familias de cables: el pretensado rectilíneo e inferior - introducido en el parque de fabricación y testados desde las caras frontales de las dovelas-, el rectilíneo superior -incorporado desde unos cajetines en la unión de las almas con la losa superior- y, por último, el rectilíneo inferior -que se incorpora una vez unidos los dos semipuen-

tes testándose desde cajetines inferiores entre las vigas transversales-.

Transversalmente está formado por un pretensado inclinado en las almas, con un número de cables crecientes según la sección se aproxima a los apoyos, que se pusieron en carga una vez empujados los dos semipuentes para evitar el carácter inclinado de los cables, perjudicial al esfuerzo cortante en estas fases debido a su cambio de signo durante el empuje.

Las vigas inferiores también están pretensadas transversalmente y la armadura activa se complementa con la correspondiente armadura pasiva.

► Apoyos

En total, el puente cuenta con 12 pilas de forma trapecial conformadas por dos unidades separadas, de sección curvilínea y alzado especial.

Las que se corresponden con los tramos de acceso tienen una anchura máxima de 2,3m y una altura de 10,5 m, están constituidas por dos iguales idé-

► *Vista aérea del viaducto en fase de ejecución.*



► *El tablero y su singular morfología de viga Vierendel.*

ticas de 12 m y se apoyan sobre cuatro pilotes de 1,5 m de diámetro.

Aquellas que están en el puente principal se obtienen por secciones de un único cilindro constante de sección curvilínea, tienen 12 m de altura y un espesor máximo de 4 m. En su parte inferior tienen una anchura total de 22,74 m y se separan entre sí una cantidad variable con un mínimo de 1 m, apoyándose sobre pilotes de 2 m de diámetro, cuatro para la pila 1, seis para las 8, 11 y 12, y doce para las 9 y 10.

Por cada pila se dispusieron, además, apoyos de neopreno teflón en caja fija, con tamaño variable en función de la carga a que están solicitados, estando los del borde izquierdo -en el sentido de avance- guiados, mientras que los del derecho están libres.

Por su parte, los estribos que integran el viaducto están formados por un muro frontal, curvado en las aletas, con 50 m de anchura y 10 de altura, al que se le adosan otros dos muros longitudinales de 50 m

que sirvieron de soporte a los parques de fabricación de las dovelas.

► **Montaje de las armaduras**

El montaje de las armaduras pasivas y de las dovelas se realizó una vez colocados y comprobados los encofrados. El tablero tenía un total de 1.900.000 kilos en armaduras pasivas y 520.000 kilos en armaduras activas, mientras que cada una de las dovelas llevaba aproximadamente 50.000 kilos de acero pasivo.

Por eso, y a diferencia de otros tableros convencionales, la especial morfología y configuración del pretensado del viaducto de Osera de Ebro aumentó la complejidad tanto del despiece, como de la colocación de la armadura, un problema que se resolvió con un estudio previo coordinado con el equipo proyectista.

Finalmente, el armado de los elementos tipo rios-tra transversal se realizó premontándolos fuera, lo

Modelo de barras y de elementos finitos

El viaducto sobre el Ebro presentaba dos particularidades que había que considerar desde el punto de vista de la metodología constructiva y de los elementos de cálculo apropiados.

Por un lado, la presencia de los aligeramientos circulares que introducían una deformabilidad longitudinal importante en el tablero, así como concentraciones de tensiones más o menos singulares.

Por el otro, el carácter discontinuo de las costillas superiores, que provocaba un comportamiento estructural intermedio entre una sección abierta en "U" y una sección cajón cerrada claramente tridimensional.

Por ello se hacía imprescindible la utilización la técnica del Método de los Elementos Finitos que, aunque está muy consolidada, es una herramienta de cálculo muy costosa para el proyecto de un puente, en lo que a la preparación de datos e interpretación de resultados se refiere, frente a las técnicas de Cálculo Matricial de Barras, que obtienen una respuesta global e integrada y un tratamiento de la información más sencillo.

Se optó en este caso por utilizar ambas conjuntamente, aprovechando las máximas ventajas de cada una de ellas.

Modelo de barras. Se emplearon modelos diferentes para el estudio longitudinal y transversal del tablero.

Del estudio longitudinal se obtuvieron los siguientes resultados:

- ◆ Los esfuerzos globales, tanto en situación de servicio como durante construcción del conjunto formado por el tablero, aparatos de apoyo, pilas cimientos y estribos.
- ◆ Estudio del pretensado longitudinal en situación de servicio y construcción.
- ◆ Cálculo de la armadura longitudinal.

El estudio transversal permitió analizar los efectos locales sobre los nervios y la losa inferior tanto en situación de servicio como accidentales producidas por el descarrilamiento, y se obtuvo el dimensionamiento del pretensado transversal inferior y la correspondiente armadura pasiva.

Modelo de Elementos Finitos

- ◆ Permite la correcta calibración del modelo de barras longitudinal por medio de la obtención de las propiedades mecánicas seccionales,
- ◆ El estudio del efecto de concentración de tensiones por la presencia de los orificios circulares, analizando la adecuada capacidad resistente frente al esfuerzo cortante.
- ◆ Efectos locales por la presencia de los apoyos, bien los definitivos sobre las pilas o durante la construcción, ya que todas las secciones del tablero son secciones de apoyo por el empuje.
- ◆ Estudio de los esfuerzos en las costillas superiores.



que optimizó su montaje posterior y aceleró el proceso de producción.

Una vez posicionados los encofrados y colocadas las armaduras se procedió al hormigonado de la dovela. El hormigón empleado fue de 60 N/mm² de resistencia característica, un tipo de material que requiere un control exhaustivo tanto durante su fabricación, como durante su puesta en obra.

Como consecuencia de las características especiales tanto del hormigón, como de la geometría del tablero, para su colocación en la obra hubo que emplear hasta dos bombas simultáneas y con vibración exterior en los hastiales. Una vez que el hormigón alcanzaba una resistencia de 30 N/mm², se procedía al tesado de las armaduras activas correspondientes.

► El diseño del tablero reinterpreta el concepto de la tradicional celosía metálica.



Todo el control del empuje se efectuó desde una sola central hidráulica

Por otro lado, la continuidad de los tendones longitudinales que se tesan en cada una de las dovelas se realizó mediante placas de empalme alojadas en unos cajetines en el hormigón que posteriormente se rellenaban, salvo en el caso del tendón G situado en las esquinas inferiores de la sección transversal. De esta manera se evitó tener que llevar arras-trando el cable de pretensado, lo que hubiera

complicado la ejecución de las dovelas. La continuidad del tendón G se realizó mediante la utilización de empalmes unifilares, sustituyéndose la vaina por una virola en la zona del empalme.

Al mismo tiempo que se realizaba el postesado de los tendones de lanzamiento se procedía a la apertura de los encofrados exteriores e interiores, tanto de la primera como de la segunda fase del parque. Una vez retirados se colocaban las piezas traseras del sistema de empuje, y se instalaban las barras de tiro necesarias en función de la dovela que se iba a empujar.

Todo el control del empuje se realizó desde una sola central hidráulica que garantizaba que a cada gato le llegara la misma presión, vigilada por los operarios con manómetros. Igualmente, mediante el uso

de aparatos de radiofrecuencia todo el personal implicado en la fase de empuje se encontraba permanentemente comunicado para responder de manera inmediata ante cualquier incidencia o anomalía. Finalmente el ritmo de ejecución de las dovelas fue de dos semanas por cada una correspondiente a la sección cerrada y de una semana para las de sección en “U”.

Una vez finalizado el empuje desde ambas márgenes, quedaba realizar la unión entre los dos semi-puentes. Aunque los tableros estaban perfectamente alineados en planta, el control topográfico que se venía realizando indicaba que se iba a llegar al final del empuje con flechas diferentes en cada uno de los voladizos.

También se fueron obteniendo datos durante los empujes, comprobando las reacciones en posiciones singulares del tablero (entrada en pilas, etc.) que sirvieron para que el proyectista ajustara el modelo de cálculo, lo que permitió a su vez anticipar el desnivel máximo entre ambos voladizos.

► Comportamiento resistente

Durante el proceso de construcción, el viaducto debía soportar más estados tensionales desfavorables en determinadas secciones que los que tendría finalmente en la situación definitiva, un hecho que permitió, junto con las mediciones de desplazamientos y reacciones realizadas, verificar las hipótesis establecidas sobre su comportamiento resistente.

Uno de los aspectos que se contrastó en su totalidad fue la deformabilidad por esfuerzo cortante, ya que durante el empuje todas las secciones se convirtieron en apoyo, variando el signo del esfuerzo en las diferentes situaciones antes de alcanzar la pila y después de traspasarla.

Además, dado que el pretensado transversal de alma se diseñó con un trazado inclinado para su máximo aprovechamiento en las situaciones de servicio, la aplicación de dicho pretensado durante la construcción conllevó estados tensionales muy desfavorables. Por ello el tablero fue construido como una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de las almas, con la armadura pasiva transversal necesaria. Esta situación se manifestó en un incremento de desplazamientos significativo, en la componente correspondiente al esfuerzo cortante, como consecuencia de la fisuración en todo momento controlada por la armadura pasiva.

Para poder predecir la situación de llegada al centro del vano y así dimensionar adecuadamente los dispositivos de nivelación y bloqueo para el hormigón de la dovela de cierre se realizó un control de



► Vista del vano principal.

flechas. Con los datos obtenidos de las mismas se calibró la componente del área de cortante que suponía una reducción de hasta el 10%. Una vez testados los cables de pretensado transversal los desplazamientos se correspondieron con un ajuste muy adecuado y conforme al modelo no fisurado.

Otras mediciones que permitieron comprobar el ajuste del comportamiento resistente fueron la determinación de las reacciones durante las operaciones de sustitución de los apoyos y la propia prueba de carga de recepción.

Las reacciones medidas se ajustaron a los valores previstos en todas las pilas, excepto unas ligeras discrepancias que surgieron en la P-7 que se justificaron como consecuencia de un pequeño asiento introducido en la dovela correspondiente cuando se encontraba en el parque para realizar un ajuste geométrico en la transición de los dos tableros. Pese a eso, los valores de los desplazamientos medidos en las distintas hipótesis de la prueba de carga fueron satisfactorios.

El resultado final es uno de los puentes más emblemáticos que atraviesa el tren de Alta Velocidad rumbo a la frontera francesa, con una complejidad técnica y arquitectónica de vanguardia, conjugada con una estética que no deja indiferente. ■

2014

Mapa Oficial de Carreteras[®] ESPAÑA

Incluye:

- Cartografía (E. 1:300.000 y 1:1.000.000)
- DVD interactivo con la nueva aplicación **MOCI** (windows xp o superior)
- Caminos de Santiago en España
- Alojamientos rurales 
- Guía de playas de España
- Puntos kilométricos
- Índice de 20.000 poblaciones
- Planos de Portugal, Marruecos y Francia

Español / Inglés
2014
Mapa Oficial de Carreteras[®]

ESPAÑA
Edición 49



Edición 49
P.V.P.: 22,74 €

También en el DVD:

- 1093 Espacios Naturales Protegidos
- 152 Rutas Turísticas
- 116 Vías Verdes

Centro virtual de publicaciones
Librería virtual y descarga de publicaciones oficiales

www.fomento.gob.es





VIADUCTO DE **ARROYO DEL VALLE**

A LOS PIES DE GUADARRAMA



PEPA MARTÍN MORA

El viaducto de Arroyo del Valle ha tenido que hacer frente a un obstáculo natural como es la sierra de Guadarrama, para integrarse en un entorno de gran belleza que ha condicionado tanto su diseño estructural como los procedimientos constructivos utilizados. El resultado es una de las infraestructuras más singulares de la alta velocidad.



En el tramo Soto del Real-Miraflores de la Sierra, de 2,03 kilómetros de longitud, en Madrid, que forma parte de la línea de alta velocidad con ancho internacional que une esta comunidad con las provincias de Segovia y Valladolid, aparece con el máximo respeto al entorno y al privilegiado paisaje el viaducto de Arroyo del Valle, una infraestructura que permite el paso de trenes de alta velocidad por las primeras y difíciles estribaciones de la sierra del Guadarrama y que debe su nombre al arroyo del mismo nombre, un afluente del río Manzanares que origina la depresión que salva el viaducto.



Para preservar las crestas de Somosierra y salvar los arroyos del Monjón y del Valle se hacía necesario que el trazado se adaptara al marco orográfico que ofrece la sierra de Guadarrama. Por ello la solución finalmente escogida fue este diseño estilizado sobre la falda del monte La Najarra, un viaducto de viga continua que atiende a la máxima de la simplicidad y que aporta su liviandad dejando el paisaje prácticamente libre de obstáculos visuales, un detalle que le proporcionó una mención de honor en la tercera edición del Premio Acueducto de Segovia.

Construido entre los años 2004 y 2006, a la singularidad de su diseño se suma el hecho de ser el viaducto de alta velocidad con mayor longitud de vano, al margen de ser récord de luz con cimbra autolanzable en España y tercero en el mundo. Todo ello, unido a la técnica constructiva entonces apli-

Actuaciones Medioambientales

La construcción del viaducto de Arroyo del Valle, al igual el resto de los tramos que atraviesan por Guadarrama, tuvo que cumplir rigurosamente con las prescripciones de la declaración de impacto ambiental establecidas para la Red Natura 2000, por lo que durante su ejecución se mantuvieron contactos permanentes con los organismos responsables de las políticas de medio ambiente y con la Sociedad Española de Ornitología. Así, entre otras medidas, se aplicaron:

- ⇒ Instalación de caballos para que las aves esteparias puedan levantar el vuelo (avutardas)
- ⇒ Método constructivo aplicado para levantar los arcos centrales del viaducto de Arroyo del Valle sin afectar a los suelos.
- ⇒ Tratamientos de integración paisajística.
- ⇒ Majanos en las embocaduras de las obras de drenaje.
- ⇒ Rampas y portillas de escape de fauna.
- ⇒ Pasos superiores de fauna protegidos con tierra vegetal, valla de cañizo o madera.



► El gran arco ojival es pieza clave en el anclaje del tablero.

Su tablero continuo de 1.745 m, con 27 vanos de 66 m y otros dos de 52,5 m, es el más largo de Europa en su categoría



cada, totalmente inédita en nuestro país, y a las medidas de respeto medioambiental que se adoptaron durante su construcción, lo convierten en un viaducto excepcional.

El proyecto previo de esta obra lo elaboró la empresa Siegrist y Moreno SL, que también desarrolló las labores de asistencia técnica a la dirección de obra. Posteriormente Proes Consultores acometió el proyecto modificado de construcción que ejecutó la UTE Soto del Real: AZVI-Puentes y Calzadas, a quien se adjudicó la obra en 2003 con un presupuesto de 32,21 millones de euros.

► Tablero de récord

Este puente para ferrocarril es la infraestructura con el tablero continuo más largo de Europa, de 1.755 m. Con 27 vanos de 66 m y dos vanos laterales de 52,50 m, y una altura máxima de pilas –25 en total– de 73 m, su arco ojival alcanzó el récord del mundo por sus dimensiones para puentes de alta velocidad, con 132 m de luz y 50,4 m de flecha, con un peso total de 2.500 toneladas, al que se ancla longitudinalmente el tablero.

Cuando el tren atraviesa esta infraestructura se aprecia en la lejanía uno de los viaductos de la vieja



► *Detalle del arco y vista general del viaducto.*

línea ferroviaria entre Madrid y Burgos por Aranda de Duero, que discurre paralela a la línea de alta velocidad. Se trata del viaducto de Valdesaelices, tras cuyos once arcos y 169 m de longitud se divide el embalse de Manzanares el Real.

Así, el nuevo viaducto cruza el valle abierto a una altura máxima de 80 m desde la rasante de la línea ferroviaria y comunica dos túneles gemelos de vía única, el de San Pedro y el de Guadarrama, entre los cuales hay una pendiente ascendente en sentido Valladolid de 17,5 milésimas que se reparte a lo largo de todo el tablero, suavizándose en las proximidades del estribo norte.

El trazado en planta del viaducto se desarrolla en recta, excepto los 300 primeros metros en los que se dibuja una clotoide de parámetro de 1.784 m. La plataforma consta de dos vías de ancho internacional con un entreje que varía entre 8,30 y 4,70 m, igual que en el resto de líneas de alta velocidad españolas. La anchura del tablero oscila entre los 17,60 y los 14 m entre el estribo 1 desde el lado Madrid y hasta la pila 6, y a partir de ahí mantiene los 14 m hasta llegar al estribo 2 del lado Segovia.

El tablero se construyó avanzando vano a vano en 27 fases –una primera de 67,50 m, 25 posteriores de 66 m y la última de 40,50 m–, estableciendo juntas de construcción a cuartos de luz y avanzando desde el estribo 2 en sentido Madrid.



El proceso constructivo paso a paso

- En una primera fase se ejecuta *in situ* el semiarco dorsal mediante encofrado trepante deformable, estando el semiarco unido a la zapata mediante una rótula, que queda bloqueada.
- Se ejecuta también *in situ* el semiarco frontal y se termina el dorsal, siendo necesario asegurar una resistencia adicional frente al deslizamiento en la zapata retenida instalando anclajes.
- Tercera fase en la que se instalan los tirantes de descenso, tirantes de retenida y cables auxiliares del semiarco dorsal.
- Se desbloquea la rótula del semiarco dorsal y se tensionan los cables auxiliares para desplazar los semiarcos de su posición de equilibrio, aplicando tensión a los tirantes de retenida, lo que origina un desplazamiento en la cabeza de la pila, y arranca el descenso del semiarco.
- Se abate el semiarco dorsal aumentando la tensión de los tirantes de descenso según se va abatiendo, controlando el movimiento en la cabeza de la pila y en la zapata de retenida mediante nivelación de precisión, y controlando la fisuración en la base de la pila que actúa como puntal.
- Se termina el semiarco frontal en una nueva fase y se instalan los tirantes de descenso, tirantes de retenida y cables auxiliares, con el desbloqueo de la rótula del semiarco frontal y tensionado de los cables auxiliares.



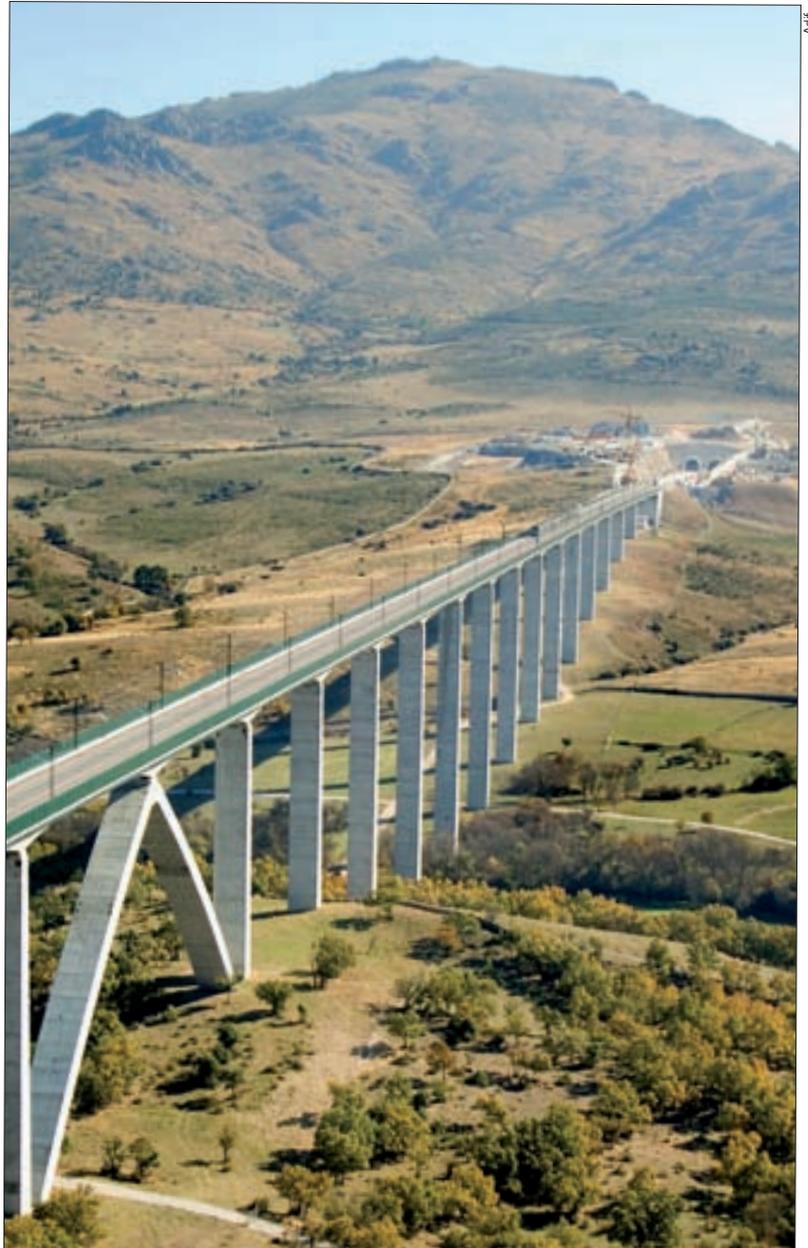
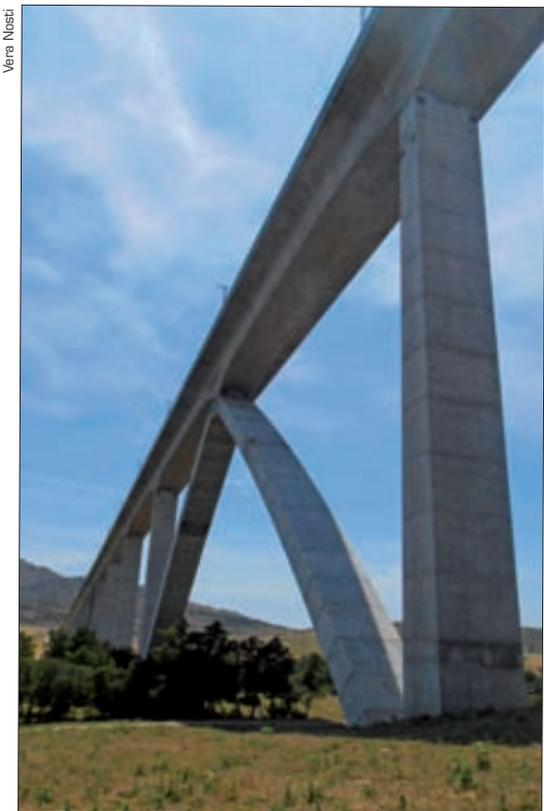
res para desplazar los semiarcos de su posición de equilibrio. Se aplica tensión a los tirantes de retenida, lo que origina un desplazamiento en la cabeza de la pila, y así comienza el descenso del semiarco.

- Otro paso es el de abatimiento del semiarco frontal aumentando la tensión de los tirantes de descenso según se va abatiendo, controlando el movimiento en la cabeza de la pila y en la zapata de retenida mediante nivelación de precisión, así como de la fisuración en la base de la pila que actúa como puntal.
- Ambos semiarcos quedan suspendidos por los tirantes de descenso y las rótulas de sus bases, durando el proceso de abatimiento de cada semiarco unas doce horas.
- En la fase de ejecución de la clave se procede al ferrallado, encofrado y hormigonado de la clave del arco.
- Bloqueo de las rótulas, ferrallado, encofrado y hormigonado de los arranques de los semiarcos.
- Se acomete la retirada de cables de abatimiento, aflojado de la tensión de los tirantes de descenso y retenida y su posterior retirada.
- Última fase de ejecución de tablero sobre el arco, ejecutando el vano del tablero sobre el arco mediante cimbra autoportante.

A la vez que se ejecutaban los vanos se trabajaba en el tablero para ejecutar los muretes guardabalasto, canaletas para cables, barra de protección de aves e impermeabilización, y en el interior del tablero se realizó la instalación para la iluminación que permitía un cómodo y seguro trabajo de mantenimiento. También se procedió a la instalación de la instrumentación en la zona del arco para poder enviar, vía teléfono móvil, los datos de los elementos instalados, que se almacenan en un ordenador para ser consultados y analizados en tiempo real.

Tablero y arco se hayan monitorizados y transmiten todos sus datos en tiempo real

La sección transversal es de cajón de hormigón pretensado con un canto variable, que varía de los 3,30 m sobre los estribos y en centros de vanos a los 5 m sobre las pilas, ejecutada a 13,50 m desde cada lado de las pilas y ajustándose a una ley parabólica de segundo grado. Esto, unido al hecho de que las almas sean inclinadas en lugar de verticales, implica también una variación del ancho del núcleo in-



ferior del cajón desde 6,63 m en centros de vano a 5,50 m sobre pilas, una circunstancia que complicó las labores de encofrado.

Por este motivo la sección del cajón tuvo que hormigonarse en dos etapas, una primera en la que se ejecutó una U compuesta por la tabla inferior y las dos almas con un espesor de 0,55 m, disponiendo a continuación unas losas quebradas prefabricadas de 7 m de luz con una sección nervada en T de 13 cm de canto y alas de 5 cm. La segunda parte del hormigonado fue posible tras apoyar las prelosas en las almas, alcanzando a la tabla superior, sobre las propias prelosas, y los voladizos de la sección transversal.

► **Autocimbra exclusiva**

La ejecución a través de cimbra autoportante, un procedimiento común capaz de adaptarse a cualquier trazado en planta, fue el método elegido para este viaducto debido a los condicionantes que imponía la declaración de impacto ambiental, pues es la que mejor minimiza las afecciones sobre cauces, suelo, fauna y vegetación al independizar en buena medida terreno y construcción del tablero, y este viaducto atraviesa un valle por el que discurren dos arroyos siendo una zona especialmente protegida.

► *El arco se cimenta sobre zapatas escalonadas comunes a las pilas adyacentes.*



► *Vistas del tablero desde el lado Segovia.*

Pero con el rango en el que trabajaban las autocimbras disponibles en España en ese momento no era posible ejecutar la luz de 66 m que contemplaba el diseño. Esto obligó a construir en exclusiva una cimbra autoportante para este viaducto con unas dimensiones de 153 m de longitud, 1.000 toneladas de peso y dotada de todos los dispositivos necesarios para posibilitar su labor portante de cargas elevadísimas, como la propia plataforma de trabajo, a la vez que era capaz de alcanzar la posición espacial prevista en el replanteo con gran precisión.

Por la luz del arco central, que se sitúa entre las pilas catorce y quince, es el mayor viaducto cons-

truido en nuestro país por este método constructivo, el segundo de Europa y el tercero del mundo. Le preceden el puente de Argentobel, en Alemania, con 145 m de luz, primero del mundo, y el de Kobaru, en Japón, con 135 m.

La construcción del viaducto con este vano de luz viene motivada por la gran longitud del tablero, que no permitía materializar el punto fijo en uno de los estribos dada la gran magnitud del recorrido resultante en la junta. Así, se construyó un arco de sección cajón entre las pilas 14 y 15, lo que posibilitaba materializar el punto fijo en su clave, próxima al punto medio del tablero.

Se optó por la solución de ejecutar este arco mediante dos semiarcos verticales adosados a las pilas adyacentes y, una vez terminados, hacerlos girar alrededor de una rótula provisional situada en la base, mediante cables de descenso y retenida hasta su posición definitiva. El arco es de sección cajón, como el tablero y las pilas, pero constante de 3X6 m, con paredes de 40 cm de espesor y traviesas de un metro de espesor en las secciones donde se anclan los cables de descenso.

La ejecución, tanto de las pilas como del arco se realizó mediante el sistema de encofrado trepante, empleándose dos módulos de 4 m, un método constructivo que permitió alcanzar rendimientos de hasta 8 m de pila al día, una trepa al día, incluso con frío, gracias a la colocación de calefactores y sondas térmicas para registro continuo de temperatura.

Todo ello se realizó en dos fases, una primera para el descenso del semiarco norte, y otra para el semiarco sur, destacando la dificultad del cierre de la



clave del arco, tanto por el hecho de realizarlo a gran altura como por la dificultad técnica que entrañaba. Tras ello, se hormigonaron las zonas de rótulas y se conformó el tetón, momento en el que la cimbra se posiciona para realizar el vano, apoyado en la pila 15 y en la clave del arco.

► Simplicidad en las pilas

La geometría de las pilas también responde al criterio de máxima simplicidad con el que se diseñó este viaducto. Están diseñadas en fustes rectangulares tipo cajón que miden 6 m en dirección transversal y que, ataluzadas en dirección longitudinal, aumentan su dimensión desde los 2,50 m de coronación hasta la base, según un talud 1/50. La pila 11, con 75,67 m y un espesor de tabique de 0,35 m es la que alcanza la altura máxima, y sobre cada pila se colocan dos apoyos, uno libre y otro guiado longitudinalmente.

La buenas condiciones de cimentación del terreno facilitaron que 22 de las 25 pilas del viaducto presenten una cimentación superficial. Las pilas 8,9 y 10, las más próximas al fondo del valle, son las tres en las que se tuvo que recurrir a una cimentación

profunda mediante 4x4 pilotes de 1,50 m de diámetro bajo encepados ataluzados de 14x14x3,75 m.

Las dimensiones del resto de las pilas varían entre 7x9,75 m y 14,50x14,75 m, adaptándose la geometría de cada zapata estrictamente a las solicitaciones de su pila y a la tensión admisible en su ubicación.

El sistema de construcción de encofrado trepante también se empleó, al igual que en el arco, en las pilas. El módulo de trepa de las pilas de 4 m de altura permitió un rendimiento en obra de una trepa por día de trabajo empleándose en obra dos módulos, por lo que los rendimientos alcanzados fueron de 8 m de pila al día.

El viaducto de Arroyo del Valle entró en servicio en diciembre de 2007. Por su tablero discurren las vías por las que circulan los trenes que parten de la Estación de Chamartín hacia las comunidades autónomas de Castilla y León, Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco.

Los trabajos de construcción del viaducto finalizaron el 12 de Noviembre de 2006, tal y como estaba previsto en el Plan de Obra, y tras realizar los trabajos de restitución del terreno mediante aportación de tierra vegetal e hidrosiembra y plantaciones, que coincidieron con la prueba de carga de la estructura. ■

► *Vista general del viaducto con el túnel de San Pedro al fondo.*



VIADUCTO DEL **ARROYO DE LAS PIEDRAS**

SOLUCIÓN PIONERA

JAIME ARRUZ

FOTOS: IDEAM, ADIF

Una de las infraestructuras más destacadas en la línea de alta velocidad que une Córdoba y Málaga llevó por primera vez a las infraestructuras ferroviarias las fórmulas en cajón estricto aplicadas con éxito

desde hace años en los puentes de las carreteras españolas. Además de por su tipología constructiva, el viaducto del Arroyo de las Piedras sobresale por ser el más alto de la conexión AVE Córdoba-Málaga.



► *El viaducto del Arroyo de las Piedras fue el primero de tipología mixta de las líneas de alta velocidad españolas.*



La línea de alta velocidad (LAV) que une Córdoba con Málaga es un ramal del Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía, que conecta la capital de la Costa del Sol con el resto de la red de alta velocidad de España. Parte de la línea Madrid-Sevilla, en la bifurcación de Almodóvar del Río, y finaliza en la estación de Málaga-María Zambrano tras 155 kilómetros de recorrido. Fue inaugurada a finales de 2007 y entre sus viaductos y túneles sobresale el viaducto del Arroyo de las Piedras, pionero por su tipo de construcción.

Este viaducto, que se convirtió en el de mayor altura de la conexión AVE entre Córdoba con Málaga y que forma parte del subtramo XIV 'Túnel de Abdalajís – Álora. Viaducto del Arroyo de Las Piedras', fue levantado utilizando una técnica de construcción innovadora en lo que a viaductos ferroviarios se trataba, logrando una menor utilización de acero y una construcción más resistente, además

de ofrecer una excelente respuesta a las exigencias de deformación y dinámicas frente a cargas excéntricas propias de la alta velocidad ferroviaria.

► **Fórmula bijácena**

Para su diseño se optó por la eficaz fórmula bijácena, habitual en Europa, pero con algunas modificaciones concretas para, manteniendo las ventajas constructivas de las mismas, proporcionar una respuesta resistente más propia de las secciones de tipo cajón. Además, se optó por extender a toda la longitud del tablero la doble acción mixta frecuentemente utilizada en las áreas de flexión negativa con el objetivo de dotarle de la rigidez de torsión necesaria para la adecuada respuesta dinámica al paso de los trenes por una sola vía.

La doble acción mixta está formada por bijácenas (doble viga maestra) separadas seis metros entre ejes y arriostradas entre sí mediante vigas transversales superiores, celosías y mamparos de pilas y estribos.

Está compuesta por veinte vanos de entre 35 y 64 metros de longitud. Las clásicas soluciones bñáneas, frecuentemente utilizadas en la alta velocidad francesa, cuentan con algunas modificaciones adaptadas a las singularidades propias del viaducto determinadas por la necesaria adecuación de su tipología al entorno. Así, cabe mencionar entre esos condicionantes, la necesaria altura de pilas, especialmente en la zona central, y la gran longitud del tablero a fin de salvar la vaguada. En los cálculos se tuvo también especialmente en cuenta el emplazamiento de la estructura en una zona de elevada sismicidad. Todo ello obligó a descartar algunas de las soluciones constructivas más habituales y optar por una estructura mixta de hormigón y acero que ofrece mayor ligereza y mejor respuesta a los requerimientos antisísmicos.

El diseño final es más simple que las soluciones clásicas y aporta una excelente respuesta estructural y funcional del tablero. En la construcción de este viaducto sobre el Arroyo de las Piedras se utilizó acero S-355 J2G2W tipo 'corten', en la estructura principal, porque es el más apropiado para las condiciones atmosféricas de la zona. El coste de mantenimiento del acero al carbono empleado en las celosías interiores, perfectamente accesibles, también es reducido.



Se optó por la solución mixta para obtener ligereza y mejor respuesta antisísmica

► *Sobre estas líneas y en la página siguiente vistas del tablero durante el empuje.*





► **Grandes dimensiones**

El viaducto del Arroyo de las Piedras, que permite salvar el cauce del mismo nombre y cuyas obras finalizaron en 2006, unos meses antes de la inauguración oficial de la línea AVE Córdoba-Málaga, tiene una longitud total de 1.208 m y una altura máxima de 93,4 m. Se sostiene gracias a 19 pilas de hormigón y sección rectangular variable que fueron construidas con el sistema de encofrados trepantes. Están coronadas por una plataforma de 2,50X6,70 m y las pilas 17 y 18 cuentan con pilotes de cimentación profunda. Tiene un tablero con una sección de 14 m de ancho en la losa superior y 4 m de canto, constituido por dos almas de acero corten y hormigón armado en las losas superior e inferior.

La primera fase de construcción se inició en fábrica, donde se produjeron las dovelas metálicas en tramos



► *Dovela ya hormigonada en el fondo y abajo, preparación de una viga metálica.*

de unos 30 m de longitud y las prelosas de hormigón armado que actuaron como encofrado perdido para facilitar los acabos en obra de las losas superior e inferior. Al tiempo y a pie de obra se construyeron los parques de empuje junto a los estribos, hasta donde se transportaron desde fábrica las dovelas y las prelosas.

El tablero se construyó mediante empuje desde sendos estribos, desde los parques de montaje y empuje dispuestos en ambos y donde las vigas metálicas se fueron ensamblando junto con las celosías y mamparos. El empuje se fue realizando mediante gatos hidráulicos para cable situados en la parte trasera del tramo a impulsar. Luego se procedió al lanzamiento en sucesivas fases mediante voladizo, deslizando las platabandas de las vigas metálicas sobre unos apoyos especialmente preparados. La retenida se hizo con ayuda de una estructura metálica provisional fijada al estribo. Para evitar rozamientos perjudiciales las platabandas fueron tratadas previa-





► *Vistas de las pilas ya terminadas.*



► *Viga preparada para realización de pruebas de carga.*

mente con pinturas y engrasado aplicados sobre la cara de apoyo.

Durante las fases de empuje y a fin de facilitar el paso del voladizo de una pila a otra, se utilizaron dos patines desmontables y un gato colocados en la sección frontal del empuje. El gato contribuyó a situar la estructura a la cota requerida para la siguiente fase de empuje, que se efectuó tras la adecuada colocación de los patines en los apoyos deslizantes de cada pila.

De la longitud total del tablero (1209 m), 618 m se empujaron desde el primer estribo situado en la ladera del lado Córdoba, mientras que los 591 m restantes se impulsaron desde el situado en el lado Málaga. El cierre del tablero se efectuó finalmente a unos 4 m de la pila central, con el tramo del lado Córdoba ya descansando sobre apoyos provisionales en la pila 10 y el voladizo proveniente del segundo estribo con el gato de levantamiento frontal dispuesto al encuentro.

► **Récord de luz**

La tipología estructural de esta infraestructura, una viga continua con luces 50,4+17 x 63,5 +44+ 35 m, fue conformando, en el momento de su proyecto y construcción, el viaducto de mayor luz de su tipología en el ámbito de los puentes de ferrocarril de alta velocidad. Superó así por 0,50 m a la del viaducto de Orgon en la LGV Méditerranée de Francia.

Según los ingenieros responsables del proyecto, una de las grandes ventajas de este tipo de viaductos mixtos, frente a los de hormigón, es que no requiere las labores de colocación de almohadillas en cada apoyo durante el empuje, ya que la propia platabanda inferior es la superficie por la que se desliza el puente. Además, los apoyos provisionales empleados para el empuje no exigen tampoco costosas operaciones de mantenimiento ni sustitución salvo que se produzca alguna anomalía o se dañe algún teflón.

Una vez finalizado, el viaducto del Arroyo las Piedras fue sometido a numerosas pruebas de carga y de afección sísmica para comprobar su resistencia. Su longitud, altura de las pilas y las condiciones de cimentación, así como el emplazamiento en zona sísmica, hicieron necesario la colocación en ambos estribos de unos transmisores de impacto en dirección longitudinal con función de amortiguamiento, una herramienta necesaria para resolver la dualidad movimiento “longitudinal/punto fijo” derivada de los condicionantes del propio puente.

Esta infraestructura de la línea del AVE Córdoba-Málaga es un proyecto de Ideam, empresa de inge-



► Empuje del tablero desde uno de los estribos. Debajo, viga sometida a pruebas de control de rigidez.

Monitorización del empuje

A fin de obtener las máximas garantías de seguridad durante fase de empuje del tablero y sin que ello entrañara la disposición de nuevos y costosos sistemas de control añadidos, los responsables del proyecto pusieron en marcha un completo programa de pruebas de carga, a desarrollar en el parque de empuje. El objetivo de las pruebas era anticipar cualquier posible desvío sobre los cálculos previos antes del inicio de la fase de empuje. Se examinaron muy especialmente factores que pudieran incidir en el sobrepeso de la estructura como exceso de hormigonado, diferenciales de apoyo en el paso sobre pilas o en el ensamblaje en obra, posibles desviaciones en la respuesta de rigidez de la estructura, etc. Las pruebas de carga se desarrollaron en el parque del segundo estribo, utilizándose gatos hidráulicos de hasta 2000 kN y micrómetros de precisión para medir la resistencia y reacciones en cada punto de apoyo. Una vez verificadas se procedió a pruebas de control de las rigideces longitudinal y transversal de la estructura, así como de la estabilidad del alma frente a reacciones adversas al empuje. También se establecieron protocolos y pruebas de control a fin de evitar cualquier posible deformación en las pilas por efectos no deseados del empuje.



niería civil especializada en el proyecto de puentes y estructuras singulares. Las estructuras metálicas fueron realizadas por Megusa-Metalúrgica del Guadalquivir, compañía sevillana con más de 150 años de experiencia. Las obras de ejecución finalizaron a mediados de 2006, tras una inversión de más de 41,3 millones de euros. ■

Solidez y futuro



**Continuamos con una nueva etapa
cimentada en un trabajo bien ejecutado**





VIADUCTO DE EL PORTAL



RÉCORD DE LONGITUD



M^a DEL CARMEN HEREDIA CAMPOS

FOTOS: CORSÁN-CORVIAM

Con sus 3,2 km de longitud, el viaducto de El Portal, en la línea de alta velocidad Sevilla-Cádiz, se ha convertido en el de mayor longitud de los construidos hasta la fecha en España. Su emplazamiento en la zona inundable del río Guadalete ha exigido el máximo rigor constructivo y una cuidadosa integración en el entorno.



Decir “línea Jerez-el Portal”, es recordar el primer proyecto de camino de hierro español, autorizado por Fernando VII a José Díez Imbrechts en 1829, siete años antes de que se inaugurase el primer camino de hierro español, de la Habana a Bejucal en la provincia española de Cuba (1837), y un año antes de la inauguración de las primeras líneas europeas, la inglesa Liverpool-Manchester, de Stephenson, y la francesa Saint Etienne-Lyon, ambas de 1830. Los acaudalados bodegueros de Jerez, obligados a trasladar sus caldos en carros tirados por caballerías hasta el puerto de Sanlúcar de Barrameda para exportarlos, perdían un tiempo precioso en el lento transporte y pusieron sus miras en un ferrocarril.

A principios de 1829 el gobierno español declaró puerto franco el puerto de Cádiz, liberándolo del pago de derechos aduaneros de entrada o de salida de todo tipo de productos menos la pólvora, para ayudarle a superar la crisis económica que suponía

para la bella capital andaluza la pérdida de las colonias y el importante comercio que con ellas mantenía por su puerto. Pero las miles de botas de vino jerezanas que se exportaban cada año se tenían que transportar en carretas de bueyes desde sus bodegas hasta el embarcadero del muelle del Portal en el río Guadalete, donde se cargaban en barcas para ir río abajo a la Bahía de Cádiz y subirlas otra vez a naves de vela, con rumbo a Inglaterra sobre todo. El primer proyecto ferroviario de 1829, de José Díez Imbrechts, consistía en construir “un carril de hierro desde Jerez a El Portal” aliviando el gran coste y la pérdida de tiempo que suponía el transporte terrestre y desde allí continuar por el río. Las dificultades económicas para construir el ferrocarril, que por entonces sufragaban los particulares desde la locomotora hasta la última pieza de las vías con alguna ayuda del gobierno, hicieron que el proyecto fuese pasando de concesionario en concesionario sin culminarse, hasta que Luis Díez Fernández de la Somera, hijo de Díez Imbrechts, obtuvo una nueva concesión para establecer una línea férrea entre Jerez

► *El viaducto de El Portal, de 3.221,7 m de longitud, es el más largo de nuestro país.*



y El Puerto de Santa María (15 km), luego amplía hasta el Trocadero, frente a Cádiz, en el término municipal de Puerto Real, construyéndose así el primer ferrocarril de Andalucía, que se inauguró en 1854.

El camino de hierro por El Portal se tendió por la zona más aconsejable, para el momento y los medios tecnológicos y materiales con que se contaba, evitando el cruce de los meandros del Guadalete: por la Cañada Real de la Vega, que discurría recta por la franja existente entre las orillas del río y la zona montañosa de La Bola. El problema que se planteaba era que tal cercanía a un río fácilmente desbordable en época de lluvias inundaba las vías y perjudicaba el servicio ferroviario; problema que ha perdurado casi hasta nuestros días.

► **Llega la alta velocidad**

Los imparable tiempos de la alta velocidad llegaron también a Cádiz y a su histórico tramo Jerez-El Portal en 2007, con la construcción de la varian-

te de El Portal y su viaducto ferroviario, el más largo de España con sus 3.221,70 m., que salva ágilmente por dos veces las aguas del río Guadalete y la vega que le rodea de “arenas sueltas y movedizas”.

La variante de El Portal, de Jerez de la Frontera al Puerto de Santa María, forma parte de la línea de alta velocidad Sevilla-Cádiz, de gran tráfico de trenes tanto de viajeros de media y larga distancia y cercanías como de mercancías, antes en gran parte en vía única. Es en el subtramo El Portal de esta variante, de 10,1 km, que se inicia a la salida de la estación de Jerez de la Frontera, en el km 109,5, donde se ha instalado segunda vía hasta el km 113,3 en el que comienza el viaducto de El Portal, de nuevo trazado y construcción de doble vía, para continuar desdoblado la vía convencional desde el km 117 hasta el final del subtramo, en el km 120. La variante elimina tres pasos a nivel -el principal en la barriada de El Portal-, soluciona la anterior inundabilidad de las vías y mejora en general las prestaciones de la línea aumentando su capacidad al desdoblado la vía para poder elevar la velocidad por encima de los 200 km/h.

Y así nace el viaducto de El Portal, el más largo de los construidos hasta hoy en España, que en su trayecto salva la zona inundable del río Guadalete así como dos de sus meandros y la carretera CA-3109 (anterior CA-2011). Las zonas fluviales llanas y las características geológicas de los terrenos sobre los que debía sustentarse han sido los causantes de la gran longitud del viaducto, así como de la inusual profundidad que ha requerido la cimentación de sus pilas.

Las obras de desdoblamiento de vía del subtramo El Portal, de la línea Jerez de la Frontera a Cádiz, fueron adjudicadas en julio de 2003 a las empresas Corsán-Corviam y Gea 21 agrupadas en la UTE “El Portal”, entrando en servicio el 20 de julio de 2007 para velocidad alta en ancho ibérico.

► **Recorrido y características**

El viaducto de El Portal inicia su recorrido a 3 km de la salida de Jerez de la Frontera, con su estribo norte en el p.k. 113+315 de la línea Sevilla-Cádiz, y recorre en línea recta hacia el sur unos 600 m para iniciar a continuación una amplia curva suroeste de radio 2.200 m y terminar en el p.k. 116+535, donde se une de nuevo al trazado convencional hacia el Puerto de Santa María. Sus 3,2 km de longitud se dividen en 7 tramos que van alternando distinta tipología de las pilas que sostienen el tablero, así como distintos anchos de vanos o huecos entre las pilas para adecuarse a las características del terreno que va atravesando en su recorrido.



Al inicio de su primer tramo, de 823,5 m, el viaducto cruza la carretera C-201 y enseguida inicia su recorrido sobre zonas inundables cruzando sobre dos de las grandes balsas de decantación de la Azucarera del Guadalete de la compañía Ebro Agrícola S.A., única azucarera aun en funcionamiento en Jerez, entre los p.k. 113+450 y 113+980. Se enfrenta enseguida al cruce del primer meandro del Guadalete con un tramo de 207 m salvado por un conjunto de arcos enlazados que interrumpen la monotonía de la continuidad de las pilas. Luego prosigue su recorrido por tierras de Los Caños de Adúzcar y

Los estratos blandos del suelo exigieron cimentaciones profundas con pilotes de hasta 34 m de longitud

La Llave con un nuevo tramo de pilas de 810 m seguido de otro de arcos, igual al segundo tramo, cruzando la carretera CA-3109 en el p.k. 115+260, que comunica con la barriada del Portal y su antiguo apeadero de 1904, cerrado tras la inauguración del viaducto. El quinto tramo de pilas, de 547,2 m, surca una amplia zona de cultivos arbóreos para enlazar con el sexto tramo y último de arcos, de nuevo de 207

m, sobre el río Guadalete, divisándose por el oeste el antiguo azud y su homónimo de nueva construcción, gran infraestructura hidráulica fundamental para la comunidad de regantes así como para la re-

► *Tramo inicial del viaducto en el lado de Jerez de la Frontera.*



gulación de los niveles del río Guadalete y el control de sus avenidas, salvando tras él la carretera llamada “del Campamento de la Marina”, que llega hasta el Puerto de Santa María. Continúa el viaducto por el séptimo y último tramo, de 420 m de longitud, de pilas, que finaliza con el estribo sur del viaducto en el p.k. 116+536 para incorporarse al antiguo trazado hacia el Puerto de Santa María, pasando enseguida por la subestación eléctrica de tracción de 12 megavatios, de nueva construcción.

El viaducto de El Portal cuenta en total con 101 vanos de luz que van alternando sus formas isostáticas e hiperestáticas, siendo 86 de ellos construidos de forma isostática con 88 pilas de dos fustes cada una ligeramente inclinados hacia adentro, en los tramos primero (con 27 vanos de 30,5 m de luz), ter-

ceros (con 27 vanos de 30 m), quinto (con 18 vanos de 30,40 m) y séptimo (con 14 vanos de 30,0 m), de pilas construidas de forma que las reacciones que sufra el tablero en su base sean las mínimas para que no se deslice o gire con los frenados y arranques del tren o los movimientos sísmicos en su fundamento, y 12 construidos de forma hiperestática (con 621 m en total) distribuidos entre los tramos segundo, cuarto y sexto (cada uno de ellos con dos vanos de 30 m en los apoyos y tres centrales de 49 m), con tres arcos y dos semiarcos, uno en cada extremo del conjunto, en los que sus apoyos están preparados para suplir en caso de necesidad las reacciones que debería soportar uno de ellos para evitar que la estructura se deslice o gire. Estos tramos hiperestáticos independientes se sitúan en las zonas más



José A. Conde

complicadas del terreno: los dos cruces sobre el Guadalete y el cruce sobre la carretera CA-3109. Estos elementos de efecto visual más ligero y estético que el resto de pilas rectas se diseñaron de esta forma para eliminar apoyos en estos cruces que causasen impacto ambiental negativo.

► Fabricación y montaje

Una obra de esta envergadura ha requerido un minucioso estudio de las características del terreno a fin de determinar su mejor cimentación. El terreno se presentaba con un estrato superficial vegetal blando, apareciendo a continuación un estrato de arcilla limosa con gravilla hasta profundidades comprendidas entre 12 y 27 m, disposición totalmente desaconsejada para resistir los esfuerzos horizontales provocados por las fuerzas de arranque y frenado de las composiciones ferroviarias, seguido de unas margas grises duras. Estos condicionantes obligaron a la colocación en los tramos isostáticos de 2.231 pilotes prefabricados de hormigón de entre 15 y 34 m de longitud que fueron trasportados a la obra e hincados con equipos de martillos de 9 t a razón de 25 pilotes por cada una de las 88 pilas del viaducto a los que se suman los 28 pilotes de cada estribo, lo que arroja un número total de 2.256 pilotes prefabricados. La cimentación se terminó en noviembre de 2004.

Las pilas de los tramos isostáticos se fabricaron in situ encofrando, hormigonando el interior y desencofrando. Los arcos de los tramos hiperestáticos se

prefabricaron divididos en el centro para su mejor manejo durante la fase de montaje. Para montarlo se colocaron unas torretas provisionales sobre las que se depositaron los dos semiarcos de cada arco antes de su unión en la clave. Sobre las pilas y los arcos se izaron y posaron las dos vigas artesas (con forma de U abierta, con las alas hacia el exterior de la viga) del viaducto, también prefabricadas de hormigón, de 1,90 m de canto y separadas entre ellas 4,30 m. Sobre las mismas se colocó el tablero, fabricado in situ evitando así el complicado transporte de estos elementos especiales, constituido por una losa de hormigón de 13 m de ancho y sobre ella las vías de ancho ibérico (1,67 m) sobre traviesas monobloque polivalente para facilitar su adaptación al ancho de vía internacional (1,44 m).

Finalmente, los ejes de la catenaria para alta velocidad en corriente continua a 3.300 voltios se instalaron haciéndolos coincidir con los ejes de las pilas, por ser el punto donde los movimientos del tablero son mínimos bajo los efectos del paso del tren, lo que además contribuye al equilibrio estético de la obra. Para reforzar su capacidad se construyó una subestación eléctrica de 12 megavatios a la salida sur del viaducto, ya camino del Puerto de Santa María, y la línea de alta tensión se colocó en la cara inferior del viaducto para reducir el impacto ambiental antiestético que este elemento pudiese provocar con su circulación aérea.

La construcción de esta importante obra finalizó con la realización y supervisión de las pruebas de

► *Vista del tramo central del viaducto.*



► *El viaducto salva la zona inundable del río Guadalete.*

carga dinámica (10 de abril de 2007) del viaducto sobre el tramo hiperestático que pasa sobre la CA-3109 con dos locomotoras de la serie 319 de más de 110 t cada una de ellas y remolcando tres tolvas o vagones de transporte de material. Posteriormente se dismantelaron terraplenes, balasto y vías del trazado antiguo convencional.

El viaducto de El Portal fue proyectado por los ingenieros Javier Manterola Armisen y Antonio Martínez Cutillas, de la oficina de Carlos Fernández Casado, S.L. y las empresas constructoras de las obras fueron Corsán-Corviam y Gea 21. Tyspa realizó las vigas prefabricadas del tablero que, por las dificultades de transporte por carretera, requirieron levantar una planta de prefabricados muy próxima a la obra en tiempo récord y que en dieciocho semanas proporcionó 202 vigas artesas, con la aportación del hormigón autocompactable por la cementera jerezana Holcim España, S.A. De los pilotes de hormigón Terra T-400 prefabricados para los vanos isostáticos y es-

tribos se encargó la empresa Terratest Cimentaciones así como de los apoyos provisionales de los arcos en los tramos hiperestáticos, cuyos pilotes ejecutó Tyspa.

► **Respeto ambiental**

Las magnitudes de la obra y su emplazamiento exigieron cumplir con unas rigurosas medidas para evitar la afectación al entorno, así se procedió a la restauración y conservación de caminos rurales y accesos a fincas y cortijos, habilitación de pasos para la fauna construyendo huecos longitudinales y transversales con elementos rugosos y rampas, la no afectación a los cultivos de la zona, limpieza y restauración de zonas afectadas por usos industriales, o la reducción al mínimo necesario del número de apoyos del viaducto en las aguas del Guadalete con sus estribos alejándose de los bordes del cauce del río para no afectar a la vegetación de ribera. Así, finalizadas las obras, hubo que restituir todo el aspecto de la vega cuidando al máximo su aspecto primigenio.

En cuanto a la acogida y utilización de los servicios, en velocidad alta, de la línea Sevilla-Cádiz, hoy día circulan unos 15 trenes diarios de ida y otros tantos de vuelta que tienen la oportunidad de enlazar en Sevilla con otros tantos trenes de alta velocidad a Madrid. Al final de las obras de la línea Sevilla-Cádiz, previsto para 2015, Madrid estará según las previsiones iniciales a tres horas y media de la capital gaditana. ■





VIADUCTO DE **CONTRERAS**

LIGERO Y ELEGANTE



JULIA SOLA LANDERO

FOTOS: AZVI

Uno de los elementos constructivos más emblemáticos de la ingeniería civil española, el impresionante viaducto de Contreras, se encuentra en la línea de alta velocidad Madrid-Levante, entre las provincias de Cuenca y Valencia. Sus 587 m de longitud cruzan el embalse donde las aguas de los ríos Cabriel y Guadazaón se

almacenan remansadas en medio de un paisaje agreste de singular belleza. El puente salva con ligereza una amplia brecha que las aguas han abierto en un terreno modelado por las caprichosas ramificaciones del pantano, dentro del tramo férreo embalse de Contreras-Villargordo del Cabriel.



Se trata de una infraestructura de máxima dificultad técnica y el elemento constructivo más sobresaliente de la citada línea. La esbeltez de su arco de 261 m de luz y 37 m de altura libre, hacen de él hasta la fecha el mayor de los arcos ferroviarios construidos en Europa y récord absoluto de España en puente ferroviario de arco de hormigón.

Proyectado por el equipo de Javier Manterola del estudio Carlos Fernández Casado SL y construido entre 2006 y 2010, este viaducto de arco con tablero superior está compuesto por 14 vanos de distintas longitudes (36,2 m en los extremos y 43,5 m en los centrales), y una plataforma de 14 m de anchura que alberga vía doble en ancho internacional. Su ejecución corrió a cargo de la UTE formada por las



empresas Azvi y Constructora San José, que contaron con asistencia técnica de Eipsa.

► **Dificultad técnica**

El tramo donde se inserta el puente presentaba una enorme dificultad técnica debido, además de a la abrupta orografía del terreno, a la proximidad de la autovía A-3 Madrid-Valencia. Ese corto tramo, de 6.523 m de longitud, se encuentra entre las localidades de Minglanilla (Cuenca) y Villargordo del Cabriel (Valencia). Su complejidad orográfica es tal que, además del viaducto de Contreras, conllevó la ejecución de dos puentes más: el de la Cuesta Negra (220 m) y el del Istmo (830 m), y tres túneles: el de La Hoya de

Roda (1.997 m), el túnel del Rabo de la Sartén (375,9 m) y el de La Umbría de los Molinos (1.500 m). Un conjunto de infraestructuras cuya ejecución exigió asimismo la utilización de un amplio espectro de técnicas constructivas: movimientos de tierra, pantallas de contención, túneles en mina y artificiales, viaductos de grandes dimensiones y con diferentes tipologías de cimbrado - porticadas, autocimbras, avance en voladizo con tirantes -, trabajos subacuáticos o demolición de estructuras de hormigón.

Además de la difícil orografía, entre las singularidades del entorno que hicieron complicada la ejecución de las obras, se encuentra el túnel del Rabo de la Sartén, que discurre casi paralelo a tan solo 10 m del punto más cercano del túnel de igual nombre

► *Trabajos de ejecución del arco con cimbras avanzando hacia la clave.*



► *La ejecución del arco y tablero avanza simultáneamente.*

de la autovía A-3. El viaducto de Contreras está flanqueado por la salida de la boca oeste de este túnel y por el viaducto de la Cuesta Negra. A pesar de estas dificultades que han hecho de nuestro viaducto una referencia de la ingeniería civil, el de Contreras ha sabido adaptarse con sorprendente elegancia a este difícil enclave, mantener un diálogo cordial con las otras infraestructuras y configurar un conjunto paisajístico unitario de singular belleza.

► Medio ambiente

El tercer factor de dificultad tiene que ver con el equilibrio ecológico. El embalse de Contreras se encuentra en un entorno ambiental especialmente pro-

tegido, por lo que el proyecto hubo de tener en cuenta los corredores medioambientales existentes y responder a las exigencias planteadas en la declaración de impacto ambiental del tramo. También se prestó especial protección al sistema hidrológico y de calidad de las aguas. De hecho, para no afectar la zona de aguas del embalse, se diseñó la ejecución con el sistema de cimbra autoportante, sin contar que la sequía del año 2006 en que comenzaron las obras dejó el embalse casi al 6% de su capacidad habitual, lo que también generó algunas dificultades a la hora de verificar el comportamiento de algunas de las estructuras.

Para cumplir con los condicionantes ambientales, la ejecución de las obras se adaptó a los periodos de



nidificación de las aves. En la zona abunda el matorral de plantas aromáticas - romeros, tomillos, lavandas y santolinas -, el chaparro y el enebro, en las zonas más desprotegidas, y el madroño y el espino negro, que se van tornando en pinares en los montes que rodean el embalse. En este hábitat viven el águila real, el águila perdicera y el halcón peregrino, que nidifican en los cantiles rocosos de las Hoces del Ca-

bríel, además del azor y el búho real, y mamíferos como la nutria, que habita en el lecho del río, y la cabra montés, el jabalí, el ciervo y el corzo. Para preservar este conjunto de vida animal en delicado equilibrio medioambiental, las obras se ejecutaron limitando las actividades en los meses de nidificación, evitando realizar desbroces, movimientos de tierra, voladuras y trabajos nocturnos. Igualmente, para evi-

► *Vista del viaducto ferroviario en primer plano y, al fondo, el de la Autovía A-3.*

Reconocimientos

El viaducto de Contreras obtuvo el Premio Construmat 2011 de Ingeniería Civil convocado por el Salón Internacional de la Construcción Construmat de Barcelona, uno de los reconocimientos más prestigiosos de su clase. El jurado, que eligió esta obra entre otras 17 procedentes de toda España, valoró la infraestructura por “el empleo de novedosas técnicas constructivas, la integración medioambiental, la belleza arquitectónica de las soluciones adoptadas y la complejidad técnica intrínseca a las dimensiones del viaducto principal que le han otorgado el récord europeo en arcos de hormigón de ferrocarril, y la capacidad de adaptarse al lugar, donde existen otras infraestructuras con las que mantiene un buen diálogo, configurando un conjunto paisajístico unitario de calidad”. El tramo embalse de Contreras-

Villargordo del Cabriel de la conexión de alta velocidad Madrid-Levante recibió también en 2010 la mención especial otorgada en el XI Premio Internacional Puente de Alcántara, certamen internacional que se celebra cada dos años y que va por su XI edición – para galardonar, dentro del ámbito iberoamericano y con periodicidad bianual, la obra pública que reúna una mayor importancia cultural, tecnológica, estética, funcional y social. Concedido por la Fundación San Benito de Alcántara, el reconocimiento se otorgó a esta obra por “el empleo de técnicas novedosas de ejecución, la pureza de líneas de las estructuras y la belleza e integración lograda en el paisaje” y por “reunir características únicas y singulares que la convierten en una de las mayores obras de ingeniería civil de los últimos tiempos”.

El jurado valoró el que para desarrollar el proyecto se utilizasen técnicas innovadoras para la ejecución tanto de los viaductos como de los túneles, lo que ha supuesto que esta obra se haya convertido en “referencia mundial” y reciba visitas de delegaciones de EEUU, Rusia, Marruecos o Polonia para recoger la experiencia española y aplicarla en la futura construcción de sus redes de alta velocidad. Además, destaca el referente medioambiental: “evitar en todo momento la afección al Parque Natural de las Hoces del Cabriel”, un aspecto que “ha contribuido a que el tramo sea uno de los más complejos de todo el trazado” y en “un entorno de alto valor ecológico y con un respeto medioambiental muy por encima de lo habitual en obras e infraestructuras”.



► *El viaducto ya finalizado.*

tar que la infraestructura suponga una barrera, se han ejecutado en el tramo pasos para la fauna especialmente acondicionados para tal fin.

► **Proceso Constructivo**

El proceso constructivo elegido, tras barajarse diversas alternativas, pasó por la construcción del tablero mediante cimbra autoportante, desde los dos estribos y sin modificaciones tipológicas ni de dimensiones en las secciones. Ambos estribos se encuentran colocados uno en la provincia de Cuenca y el otro en la de Valencia, ya que en ese punto el río Cabriel divide a las dos comunidades autónomas.

Para la ejecución del arco de hormigón, el equipo de Manterola – del que formaron parte Anto-

nio Martínez, Juan Antonio Navarro, Silvia Fuente y Lorenzo Nogales –, se decantó por dos semiarcos en avance en voladizos atirantados.

El arco está empotrado en dos grandes plintos que, mediante cimentación directa, permiten el reparto de las cargas en el terreno de las laderas. Para su ejecución, debido a la gran magnitud de los esfuerzos que soporta y a su notable esbeltez, se ha utilizado un hormigón con una resistencia a compresión de mínimo 70 megapascales a la edad de 28 días.

El arco está empotrado en dos grandes plintos que ayudan al reparto de cargas

La ejecución del viaducto, en la que participaron más de 400 personas, dio comienzo con las cimentaciones directas de las seis pilas de la zona del viaducto de acceso al arco, así como las de los estribos, y de los plintos y pilas provisionales. Las pilas se realizaron mediante encofrado trepante y quedaron listas para el comienzo de la ejecución del tablero. Una vez realizados los plintos de los arcos, las pilas cimentadas sobre dichos plintos, y hormigonadas las pilas provisionales, se comenzó la ejecución del arco. El primer tramo de cada semiarco, entre cimentación y pilas provisionales, se ejecutó sobre cimbra apoyada en el suelo. Para ello se dispusieron los necesarios apoyos mediante una serie de castilletes metálicos.

Para la construcción del arco central se utilizó el método de avance desde los apoyos del mismo, en cada una de las márgenes del embalse. La construcción del arco y del tablero superior sobre el que se sitúa la plataforma ferroviaria avanzó simultáneamente, de forma que la colocación del tablero superior favorecía el avance propio del arco.

Los dos primeros tramos de 43 m que forman la base de cada uno de los semiarcos se ejecutaron mediante un sistema de cimbra porticada, y utilizando también un encofrado fijo y relleno de hormigón armado de alta resistencia. En cuanto al resto de los semiarcos, formados por 47 dovelas en total, se ejecutó mediante el avance de un carro de encofrado y se sustentaron a través de un sistema provisional de atirantado mediante cables de acero activo anclados a la parte superior de una estructura metálica formada por pilonos de acero laminado. Para hacer posible el avance del carro en voladizo, se dispusieron sucesivamente nueve familias de tirantes en cada semiarco. Cada una de estas familias con-



► Vista general del viaducto

tó con una pareja de cables delanteros anclados en las dovelas ejecutadas del arco, y una pareja de cables traseros anclados en los plintos del arco. De este modo, cada dos o tres dovelas según la zona, se dispone una pareja de tirantes.

Para llevar a cabo el sistema de atirantamiento se comenzó a construir el arco en voladizo desde su arranque en cimentación, debido, sobre todo, a la proximidad de los arranques de arco a la zona inundable del embalse. Y aunque en un principio por este motivo se pensó en no disponer pilas provisionales, a causa del bajo nivel estacional del embalse, se incluyó la disposición de dos pilas provisionales en la zona inundable con objeto de reducir la longitud volada de los semiarcos.

Una vez ejecutados los dos semiarcos, se desmontó el carro de avance del lado Cuenca y se adaptó el carro del lado Valencia para la ejecución de la dovela de cierre del arco. Para ello, mediante un sistema de gatos y anclajes se nivelaron los dos labios y se realizó el hormigonado.

Tras el cierre del arco, se retiraron los cables de

atirantamiento provisional, se desmontaron de los pilonos y se desapeó el arco de las pilas provisionales, para lo cual se dispusieron en la parte superior de las mismas unos gatos que levantaron el puente de sus apoyos provisionales. En ese momento, se demolieron los macizos provisionales de apoyo y se soltó el arco, que quedó exento y a continuación, se

demolieron las pilas provisionales.

Ya con el arco cerrado, se ejecutaron las pilas cortas restantes para apoyo del tablero sobre el arco. Para la realización de los demás vanos hasta cerrar el tablero se utilizó una cimbra tradicional, apoyada directamente

en el arco ya ejecutado.

El 3 de junio de 2009, bajo la supervisión de Adif, se realizaron las pruebas de carga: aquel día 54 vehículos de gran tonelaje - 40 tn - recorrieron el viaducto. Fueron situados en función de distintas hipótesis y para corroborar la respuesta de la estructura frente a las cargas dinámicas de más de 2.000 tn de peso. La Línea de Alta Velocidad Madrid - Levante se inauguró el 18 de diciembre de 2010 y entró en servicio al día siguiente. ■

El viaducto de Contreras ha recibido numerosos premios, convirtiéndose en un referente internacional



Azvi 



VIADUCTO SOBRE EL **RÍO ULLA**
(EJE OURENSE-SANTIAGO)

EN COMPAÑÍA DE UN CLÁSICO



JAIME ARRUZ

FOTOS: ADIF

En el límite entre las provincias de A Coruña y Pontevedra, sobrevolando el sistema fluvial Ulla-Deza, se alza el viaducto sobre el río Ulla, cuya atrevida silueta contrasta con la del clásico puente de Gundián aguas arriba. Con una longitud de 630 m, esta infraestructura acumula varios premios que reconocen su limpia ejecución y brillantez técnica.





En un entorno de gran valor medioambiental, se ha erigido el viaducto de mayor altura en España en el momento de su ejecución (2008-2011). Como parte de la línea de alta velocidad (LAV) Madrid-Galicia, en el subtramo Silleda (Dornelas)-Vedra-Boqueixón, del

eje Ourense-Santiago del Corredor Norte-Noroeste, esta infraestructura sobre el río Ulla ha sido realizada mediante un método constructivo de gran complejidad, con dos carros de avance en voladizo, uno por cada semiarco. Salva el río que le da nombre a una altura de 110 m por un paraje denominado 'Paso da Cova', de gran belleza natural.



► **Prueba de carga** sobre el viaducto finalizado y distinto momento de la ejecución del tablero.



► **Integración**

El viaducto sobre el río Ulla, que contrasta su ligera silueta con la del viaducto de Gundián, de 1958, que cruza el valle 130 m aguas arriba sobre dos abruptos afloramientos de cuarzo, fue concebido desde las primeras fases de proyecto para lograr la mejor integración en el paisaje natural de la zona. Las

características del entorno y la limitación de la altura de los estribos hicieron imprescindible llevar hasta los 630 m de longitud esta infraestructura, determinada por un arco central con una luz de 168 m, una altura de pilas máxima de 116,9 m y 105,2 m de flecha entre la clave y arranque.

El viaducto se apoya sobre un total de 9 pilas cimentadas directamente al terreno y sobre otras 5 pi-



lastras que descansan sobre el arco de 168 m de luz que salva el río Ulla. El arco central tiene una altura de 104,4 m y se realizó mediante el empleo de dos carros de avance en voladizo, uno para cada semiarco. Éstos tienen una longitud de 10,2 m y se unen mediante una dovela de clave. Esta infraestructura cuenta con un total de 26 dovelas de 5 m.

Para la construcción del viaducto se hubo de tener en cuenta la catalogación como Lugar de Interés Comunitario (LIC) de la zona y la pertenencia a la 'Red Natura 2000' del sistema fluvial Ulla-Deza, así como la configuración marcadamente en 'V' del valle sobre el que se alza, por donde circulan vientos de cierta intensidad. El sistema fluvial Ulla-Deza sirve de límite a las provincias de A Coruña y Pontevedra, repartiéndose entre los municipios de Silleda, Vila de Cruces, Boqueixón, Vedra y Touro.

Dentro del subtramo Silleda (Dornelas)-Vedra-Boqueixón, del eje Ourense-Santiago del Corredor Norte-Noroeste de LAV Madrid-Galicia, el viaducto sobre el río Ulla comparte protagonismo con otros dos viaductos —Saramo (1.465 m) y Castro (244 m)— y ocho

Diversos premios

El viaducto sobre el río Ulla ha sido distinguido con diferentes galardones, como el Premio San Telmo 2011 a la mejor obra de ingeniería civil ejecutada en Galicia, que concede el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Galicia. Esta distinción valora la calidad técnica, integración territorial y calidad constructiva aportadas por la infraestructura ejecutada, así como su contribución a la mejora en la calidad de vida de los habitantes de la comunidad en que se realiza. Esta infraestructura también ha logrado el Premio de Ingeniería de la Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE), en la categoría de obra civil. Estos galardones reconocen las obras que, por su calidad, importancia e innovación, contribuyen con marcados avances en el mejor uso de este material. Y otra de las distinciones del viaducto sobre el río Ulla es el Premio Acueducto de Segovia, que convoca el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. El jurado valoró la importancia técnica y económica de la infraestructura, además de la protección ambiental lograda durante su ejecución.

A estos premios se une otro galardón relacionado con el viaducto que se erige sobre el río Ulla, el Premio Lux Oro, en la modalidad de fotografía industrial, de la XVIII Edición del Premio Nacional de Fotografía Profesional que obtuvo el fotógrafo Fuco Reyes por el trabajo realizado para la constructora Estructuras. En su trabajo, Fuco Reyes plasmó el proceso de construcción del viaducto.

túneles —O Portiño (600 m), Bascuas (360 m), O Curo (840 m), Prado (290 m), Castro (475 m), Caldelas (600 m), O Reboredo (790 m) y Ardilleiro (725 m).

Por ello, a la hora de ejecutar el viaducto, también se tomó en consideración su situación, muy expuesta, entre los túneles consecutivos de Castro y Caldelas, por lo que se optó por instalar pantallas protectoras frente al viento en ambos laterales del tablero.

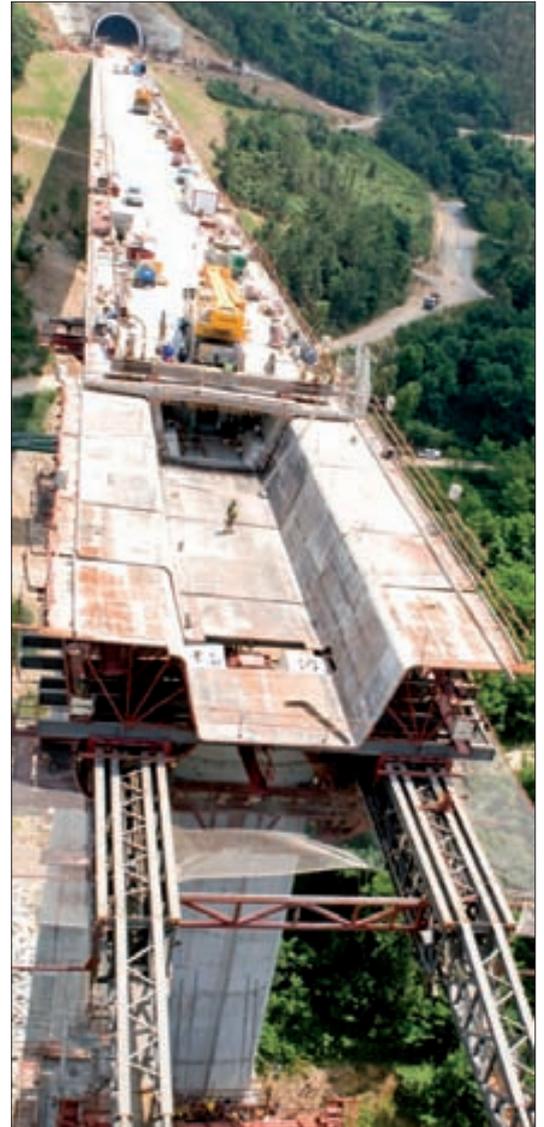
A ellas se suman las medidas llevadas a cabo durante las obras de construcción para evitar los arrastres de tierras procedentes de las excavaciones de las cimentaciones. Para ello se protegieron las riberas con cunetas que vierten a balsas de decantación. También se instalaron, longitudinalmente a los márgenes del río, unos cordones de balas de paja y geotextiles (tela permeable y flexible de fibras sintéticas) para

que frenen y filtren las aguas de escorrentía cargadas de sedimentos. Otras medidas compensatorias del impacto de los trabajos en la zona fueron la replantación de 59,6 hectáreas de arbolado y arbusto autóctono y 73,3 hectáreas de cubierta vegetal.

► Proceso constructivo

Una de las características del viaducto sobre el río Ulla es que, a diferencia de otros viaductos en los que el tablero se ejecuta después de que las pilas y los estribos estén finalizados, los semiarcos se fueron atirantando provisionalmente a la pila adyacente y al tablero a medida que se fue construyendo, de forma que, una vez se levantaron las pilastras sobre el semiarco, se realizó ese vano del tablero (espacio de la plataforma que discurre entre dos apoyos).

► A la izquierda, vista del tablero y el arco en avanzada fase ejecución. Debajo, el tablero en ejecución y ya finalizado.





Entre los elementos más singulares del viaducto destaca muy especialmente su gran arco central peraltado, de 168 m de luz y 105 m de flecha. Es de sección cajón constante, de 7,70 m de ancho y 3,50 m de canto. Su construcción se realizó mediante cimbra en los tramos iniciales de los semiarcos, en los que se instalaron sendos carros de avance para la ejecución de dovelas “in situ”. Para el avance hasta las cotas del cierre en clave se utilizó un sistema de atirantado provisional

formado por cables de acero anclados a la parte superior de la estructura, al tablero, que se ejecutó por el sistema de cimbra autoportante. A medida que se avanzaba en la ejecución de las dovelas en los semiarcos, se procedía también a la construcción de las pilastras y del tramo de tablero correspondiente.

Después del cierre del arco y de la construcción del tramo de tablero superior, se procedió a la retirada del sistema de atirantado. Todo el tablero, con

► *Sistema de atirantado del arco con cimbras en tablero y semiarcos.*

► *Trabajos de acabado en el tablero superior.*



Con una altura máxima de pila de 116,9 m, es el viaducto de alta velocidad más alto de España

versas alturas en la pila adyacente al semiarco correspondiente. Cada uno de los tirantes está compuesto por dos tendones idénticos, formado cada uno de ellos por un número variable de cordones de acero de 15,7 mm.

Con el objetivo de comprobar que el resultado final era el más satisfactorio, se llevaron a cabo diversas pruebas, como el control mediante sensores en diversos elementos del viaducto, el seguimiento topográfico de precisión de los puntos clave de los semiarcos y de las pilas y el control de los alargamientos de tesado de los tirantes. Además, al finalizar los trabajos, se realizaron diversas pruebas de carga con una exhaustiva verificación a través de 34 puntos de control. Para las pruebas sobre tablero se utilizaron 16 camiones de 30 toneladas de peso cada uno, agrupados en cuatro hileras de cuatro unidades y separadas entre sí un metro. Las obras las ejecutó la constructora Estructuras, perteneciente al Grupo Puentes, por encargo de la Unión Temporal de Empresas (UTE) AVE Ulla formada por Dragados y Tecsma Empresa Constructora, ambas del Grupo ACS. ■

una longitud de 630 m entre estribos, es una viga continua de hormigón postesado y canto constante de 3,89 m. Para su ejecución, mediante fases, se optó por el sistema de cimbra autolanzable.

Para construir mediante voladizo cada uno de los semiarcos se colocaron en total 12 tirantes provisionales y un tirante adicional de retenida. De los primeros, un total de ocho anclaban en el tablero, sobre su forjado superior, mientras que los otros cuatro se anclaban a di-



VIADUCTO DE **ARCHIDONA**

ELEGANTE VUELO



M^ª DEL CARMEN HEREDIA CAMPOS

FOTOS: IDEAM

Con una estructura mixta de hormigón y acero, el viaducto de Archidona salva en un elegante vuelo de 3.150 m las vegas vecinas convirtiéndose en uno de los de mayor longitud de la red de alta velocidad. Su singularidad ha exigido un riguroso control y seguimiento durante todo el proceso constructivo.



El costoso camino de hierro Bobadilla-Granada, construido por la Compañía del Ferrocarril de Córdoba a Málaga entre 1865 y 1874 tras complicados procesos en su construcción, tanto por la rivalidad entre tan importantes políticos e industriales malagueños como Salamanca, Larios o Loring por la concesión, como por la gran dificultad de su trazado, saturado de numerosas curvas de radio corto y pendientes pronunciadas sorteando las escarpadas estribaciones de la Subbética entre Málaga y Granada. Una tarea titánica, tanto en términos financieros como de pura ingeniería, para un ferrocarril que se creó fundamentalmente para atender los tráficos comerciales de las verdes vegas de Antequera y Archidona, salpicadas de cortijos y caserías. Un trazado que venía demandando desde hacía mucho su modernización, especialmente tras la inauguración del AVE Córdoba-Málaga, en 2007.

Hoy ya en fase de construcción muy avanzada, la nueva conexión de alta velocidad parte de la estación de Antequera-Santa Ana y finalizará en una nueva estación que se construirá en la capital granadina alcanzando una longitud total de 125,2 kilómetros a los que hay que añadir el enlace del nudo de Bobadilla con la línea del Ave hacia Málaga. Su paso por las vegas de Antequera y Archidona (Málaga), zona de características geoestructurales y ecosistemas de singular valor, ha obligado a proyectar la construcción de importantes estructuras en túneles y viaductos. Entre estos últimos destaca el llamado viaducto de Archidona, que con sus 3.150 m. de longitud se coloca en el segundo puesto en longitud entre los viaductos ferroviarios españoles tras el viaducto del Portal sobre el río Guadalete (Jerez, Cádiz).

El inicio del recorrido de la línea de alta velocidad de Antequera a Granada parte siguiendo el trazado de la línea convencional del s. XIX pero al llegar a la Peña de los Enamorados (Antequera) para dirigirse hacia el norte, inicia una variante que rodea la Peña por el oeste, en vez de por su histórico camino por el este, para salvar la A-92 por un túnel artificial a partir del cual la nueva línea se va distanciando de la antigua transcurriendo al sur de ella y suavizando radicalmente su antiguo trazado de numerosas curvas cerradas con la construcción de una línea de amplio radio hasta llegar a Huétor-Tájar (Granada) donde ya, con ligeras variaciones, continúa de nuevo siguiendo el trazado convencional hasta su integración en Granada capital.

La construcción de la línea Bobadilla-Granada se dividió en 17 tramos desde la estación de Antequera-Santa Ana hasta la de Granada, y el viaducto



de Archidona cabalga entre el 4º tramo, Peña de los Enamorados-Archidona, y el 5º, Archidona-Arroyo de la Negra, ambos en el término municipal de Archidona, en la falda de la Sierra de Gracia, en la zona más oriental de la vega. La primera redacción del proyecto de plataforma y vía del tramo Peña de los Enamorados-Archidona correspondió a la empresa Sercal S.A. y la adjudicación definitiva tuvo lugar en 2009 a la UTE Azvi, S.A. (50%), Dragados, S.A. (37,5%) y Tecsa, S.A. (12,5%) por un presupuesto de 110,2 M€. Por su parte, el tramo Archidona-Arroyo de la Negra se adjudicó en 2007 a la UTE Dragados, S.A. y Tecsa, S.A. por 41,7 M€. Cuenta la lí-

nea de alta velocidad Antequera-Granada con la aportación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) de la UE, a través del Programa Operativo Fondo de Cohesión-FEDER 2007-2013, con una ayuda total estimada de 600 M€.

Nace el impresionante viaducto de la necesidad de no afectar al importante acuífero de sierra Umbral que abastece de agua a Archidona, al sur, y a Villanueva de Tapia, al norte, por lo que se diseñó una estructura de gran altitud que enlazase con el túnel y salvase la prolongada hondonada que se producía entre la boca del túnel y su encuentro con el trazado que venía de Antequera.



► *Vista general del viaducto ya terminado, y a la derecha, durante la fase de montaje de las estructuras metálicas del tablero.*



► Recorrido aéreo

Situando el kilómetro cero de la línea Antequera-Granada en la estación de Antequera-Santa Ana, el viaducto de Archidona comenzaría en el km 37,13 de la nueva línea férrea para terminar en el km. 40,28 de la misma, ya en el tramo de Archidona a Arroyo de la Negra. Su recorrido comienza unos 60 metros antes del cruce sobre la A-7201 (antigua MA-221), que se dirige de Archidona a Villanueva de Algaidas y pasa por la actual estación de Archidona, describiendo una amplísima curva de radio muy abierto que circula en todo su trayecto entre el sur de la línea convencional y el norte del pueblo de Archidona entre olivos y cortijos de su vega. Atraviesa sucesivamente el arroyo de la Fuente de Roque, terrenos del Cortijo de la Bondad y una gran balsa de agua, la carretera de Cuevas Altas, El Paguillo, el arroyo de la Moheda, afluente del río Guadalhorce, además de la carretera MA-5102 (antigua MA-214)

que une Archidona con Villanueva de Tapia, el camino que va de la A-92 hacia el puerto de Espetazorras, para terminar cruzando entre el antiguo y abandonado cortijo de la Moheda, al norte, y otra gran balsa de agua, al sur, avistando ya a medio kilómetro la boca oeste del túnel de Archidona, que transcurre bajo la autovía A-92.

► Características

Sus 3.150 m. de longitud se dividen en dos tramos diferentes en cuanto a su construcción, aunque continuos y sin juntas de dilatación en su gran extensión hasta llegar a los extremos; esta localización de las juntas de dilatación hace que la fuerza de frenado se transmita a los estribos donde las pilas son más rígidas y capaces de soportar esta fuerza. La singularidad más destacable del viaducto está representada por su tablero mixto de acero y hormigón, un tipo de tablero que ya se introdujo en el viaducto de las



Piedras (Málaga) por primera vez en España en 2005 (aunque este sistema ya era utilizado con frecuencia en la alta velocidad francesa) ya que hasta ese año todos los puentes de las líneas de alta velocidad españolas fueron proyectados y construidos en hormigón pretensado. La estructura mixta cuenta con las ventajas siguientes: su parte metálica se puede fabricar en taller ofreciendo mayor control de calidad y menor plazo de ejecución y tiene menos peso que la de hormigón al completo, con lo cual se reducen los costes de sus aparatos de apoyo; ofrece también menor deformación térmica y amortigua el ruido producido con el paso de los trenes.

De oeste a este, el primer tramo del viaducto es de 2.575,15 m y el segundo de 574,85 m, y su tablero corre sobre vanos isostáticos que favorecen la construcción de una estructura de tal longitud. Se inicia el viaducto con el estribo oeste, donde se ubica un aparato de dilatación de vía y un vano de 35 m de luz; continúa con 31 vanos de 50 m de luz más

La pilas están cimentadas en el terreno mediante pilotes de 25 a 50 m.

dos de 65 m en cuyo centro se ubica el único punto fijo del tablero, soportado por la pila central formada a su vez por dos pilas-tipo inclinadas hacia el centro en su parte superior formando así una letra delta; continúa con 31 vanos más de 50 m cada uno para cerrarse con otro de 35 m, tras el cual aparece el aparato de dilatación y el estribo este. Esta ubicación de los aparatos de dilatación de vía en los extremos y no en el tablero convierte al viaducto de Archidona en la estructura de mayor longitud proyectada en España con este sistema.

La pila-tipo es de tipo pórtico con forma de trapecio, lo que le confiere rigidez transversal, y está constituida por dos fustes macizos de hormigón armado de sección rectangular unidos en cabeza por un dintel horizontal igualmente rectangular. Las pilas están cimentadas en el terreno mediante pilotes hincados de 25 a 50 m. Al estar vinculadas al tablero mediante apoyos POT (apoyos estructurales capaces de soportar cargas verticales y horizontales a la vez que pequeñas rotaciones con

► *Obras de plataforma ya finalizadas en el tramo de acceso al viaducto.*

referencia a cualquier eje horizontal) y topes sísmicos, las pilas se consideran libres en sentido longitudinal y vinculadas al tablero en el sentido transversal y están preparadas para contrarrestar las fuerzas transversales como la acción del viento y la fuerza centrífuga, además de las longitudinales provocadas por las grandes fuerzas que ocasionan los trenes al arrancar o acelerar, así como los frenados bruscos, además de asegurar el punto de movimiento nulo y, por tanto, las longitudes máximas dilatables en ambos estribos. La altura de las pilas es variable, al igual que el terreno por el que se distribuyen, con una media de 25 m. Los ejes para la colocación de la catenaria se han hecho coincidir con los ejes de apoyo sobre las pilas por ser el punto donde los movimientos del tablero son mínimos bajo los efectos del paso del tren, lo que además contribuye al equilibrio estático de la obra.

El tablero mixto es de acero “tipo corten” (acero preparado contra la corrosión, más adecuado para la zona que el acero pintado) y hormigón y presenta una disposición bífoca, o de dos vigas maestras metálicas, sistema mayoritariamente elegido para los tableros mixtos, de 2,95 m de canto constante con una separación entre ellas de 6,60 m en la parte inferior y 6 m en la superior al tener las paredes exteriores de las vigas metálicas ligeramente inclinadas hacia fuera, estrechando la distancia entre ellas en

la zona más alta. Una losa superior de hormigón de 40 cm de grosor une ambas almas mientras la losa inferior, de hormigón asimismo, cierra la sección del cajón que es visitable por el interior en toda su extensión para favorecer así el acceso a las cabezas de las pilas y a los aparatos de apoyo para su inspección desde un estribo hasta el otro. La plataforma del viaducto tiene una anchura de 14 m, al igual que el resto de la plataforma de vía, y se protege con barandillas.

Iniciada la construcción del viaducto de Archidona en 2009 y finalizada en octubre de 2011, se realizaron las pruebas de carga estática sobre el tablero con el recorrido de 51 camiones articulados de 4 ejes y 38 toneladas cada uno (1.938 t) para comprobar la estructura y los efectos de su paso antes de su puesta en servicio, así como su comportamiento respecto al proyecto.

► **Fabricación y montaje**

Una gran ventaja de la construcción de los tableros mixtos de acero y hormigón, además de que se reduce el peso del tablero, es que parte de la estructura se puede realizar en taller, lo que resulta más económico y reduce los plazos de ejecución. En esta construcción se dispuso de una planta de hormigón para su suministro en exclusiva para la obra,

► *Vista aérea del viaducto al comienzo de los trabajos de montaje del tablero.*



mientras los áridos se obtenían en su mayoría del material calizo extraído de la excavación del túnel, complementado con arenas procedentes de cantera. Gracias a la disposición de esta fábrica *in situ* se podían realizar todos los días ensayos en planta previos al suministro y contrastarlos con los resultados de su recepción en obra. De esta forma se podía calibrar el tiempo abierto de la mezcla y la evolución de sus propiedades. Las dovelas metálicas del tablero se construyeron por módulos en una factoría de acero y se transportaron a la obra en camiones especiales para allí ir izándolas y posicionando sobre las pilas con grúas para proceder al soldado entre ellas, al contrario del sistema utilizado en el viaducto de Las Piedras donde, por su altitud, se fueron montando por empuje desde los estribos. Asimismo se fueron izando y posicionando las prelosas de hormigón superiores e inferiores para continuar con la realización de los hormigonados de fondo en las pilas y en la losa superior, además de preparar el tablero para su impermeabilización. Finalizadas las obras, se reacondicionaron los caminos y la vegetación que rodeaba al viaducto.

Las dovelas metálicas se construyeron por módulos en factoría

Las obras correspondientes a plataforma y vías se licitaron en abril de 2014 y se realizarán en distintas fases, estando previsto que en la segunda de ellas, desde Peña de los Enamorados a Loja, se coloquen las traviesas y balasto del tramo Peña de los Enamorados a Archidona y de Archidona a Arroyo de la Negra, en los que se encuentra el viaducto. El presupuesto de licitación es de 7.949.486 euros para el suministro y transporte de 80.000 traviesas de ancho internacional y 1.000 traviesas polivalentes con sus sujeciones.

Una obra de ingeniería de tal envergadura ha requerido el concurso de un importante número de entidades y empresas especializadas, implicadas tanto en su diseño y construcción como en el seguimiento y control de la ejecución. En cuanto a las obras y su asistencia técnica han correspondido a la empresa Drace Infraestructuras; el proyecto y bases generales para la ejecución de la estructura metálica se han llevado a cabo por la empresa Ideam; la construcción del tablero metálico lo efectuaron las empresas Megusa Negra y Horta-Coslada. Los controles de soldadura en la estructura metálica del ta-



blero han corrido a cargo de la UTE Cemosá-Tecnalia, y para la asistencia en el control de la ejecución de la estructura del viaducto, se ha contado con la UTE Geocontrol-VS (Archidona-Arroyo de la Negra) y la UTE Euroconsult-Paymacotas (Peña de los Enamorados-Archidona). En cuanto a la instrumentación del viaducto, herramienta fundamental para el conocimiento del comportamiento térmico estructural durante su construcción, fue realizado por Kinesia Ingeniería. ■

► Vista general del viaducto durante las pruebas de carga, y debajo, hormigonado de las pilas



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

Centro virtual de publicaciones

Librería virtual y descarga de publicaciones oficiales



SOLICITE SU EJEMPLAR EN TELF. : 91 597 53 85 / 53 91

Por fax: 91 597 85 84 (24 horas)

Por correo electrónico: cpublic@fomento.es

www.fomento.gob.es





VIADUCTO DE LA CALLE DEL COMERCIO

MÁXIMA PRECISIÓN





Vera Nubi

PEPA MARTÍN MORA

FOTOS: OHL

La singularidad del viaducto de la calle del Comercio, en pleno casco urbano de Madrid, reside no sólo en su proceso constructivo. Su ubicación y su diseño también le confieren unas características especiales que lo convierten en una de las infraestructuras de la alta velocidad más destacables de todo el país.



En la cabecera sur de Puerta de Atocha, en el primer tramo de 0,8 km de longitud, el viaducto que salva la madrileña calle del Comercio y la línea de Cercanías C-5 (Móstoles-El Soto-Humanes) aparece como una estructura de gran complejidad constructiva, ideada para incrementar la capacidad de la alta velocidad desde el centro del país hacia Levante y Andalucía.

El viaducto, un tablero de hormigón armado con dos celosías metálicas laterales, cubre exactamente el trazado que se desarrolla desde la zona de la antigua nave de catering de Renfe Operadora-AVE, cruza la calle del Comercio y la línea de Cercanías C-5, y continúa hasta llegar a la antigua entrada de las vías de estacionamiento de Cercanías.

Forma parte, por lo tanto, de la plataforma con la que se amplió la capacidad de acceso ferroviario de alta velocidad a Madrid entre Atocha y Torrejón de Velasco. Esta plataforma sobre la calle del Comercio alberga dos nuevas vías adicionales de alta velocidad que se sumaron a las otras dos que ya daban servicio. La construcción del viaducto fue adjudicada a la empresa OHL y el empuje del tablero corrió a cargo de Ale Heavylift Ibérica SA.

► Características técnicas

Con un radio de curvatura variable, la estructura está formada por celosías de acero de canto variable y diagonales inclinadas tipo Warren con modulación constante de 4 m a ambos lados de la plataforma ferroviaria - en este caso una estructura reticular de barras rectas interconectadas en nudos formando triángulos - unidas por vigas metálicas transversales cada 3,50 m, sobre las cuales se dispone una losa de hormigón armado de 130 m de largo.

La sección transversal del viaducto tiene una anchura útil de 14,35 m y un total de 17,35 m, distribuidos de forma asimétrica con respecto al eje del trazado: 7 m entre el eje y la cara interior de la celosía izquierda, y 7,35 m entre el mismo eje y la cara anterior de la celosía derecha, mientras que la anchura de ambas celosías es de 1,50 m.

Las razones por las que la plataforma ferroviaria sobre el viaducto es mayor que la estricta marcada por la vía, que es de 13,30 m, se deben a que en el margen derecho de la plataforma hay colocada una pantalla antirruído.

Los ejes de los apoyos son ortogonales al eje de trazado, a excepción de los apoyos del estribo E-1, en el que existe un esviaje de $17,75^\circ$, lo que unido al trazado en curva hace que cada uno de los ejes de las celosías del tablero tenga una longitud distinta. A pesar de ello se ha conseguido que el puente sea recto en su desarrollo por estos apoyos ortogonales en las pilas y el estribo E2.

La anchura de las celosías es constante e igual a 150 m, y su cordón inferior tiene un canto constante de 2 m, aunque en las zonas de unión con el cordón superior forma un canto variable de entre 2 y 3,58 m. Se ha conseguido una perfecta transmisión de cargas entre cordones y diagonales, además de una gran simplicidad constructiva de la estructura metálica, a través de la unión entre ambos elementos, que se realiza mediante cartelas laterales.

El tablero se ha realizado en acero tipo corten, resistente a la corrosión y autopatinable, y en consonancia cromática con el entorno de forma que se reducen los trabajos de mantenimiento, mientras que en el interior los elementos metálicos no realizados en este tipo de acero se han protegido mediante una imprimación de epoxi-aluminio.

► Complejidad constructiva

Los numerosos problemas que hubo que solucionar para el montaje de la estructura, como la falta de espacio o la geometría variable del trazado, supusieron un gran reto técnico. A ello se sumó el hecho de que simultáneamente se estuvieran acometiendo otros proyectos en el mismo tiempo y espacio, como fueron la terminación de los trabajos de ampliación de la estación Puerta de Atocha y las obras para desplazar lateralmente las vías de las líneas de Cercanías C-3, entre Aranjuez y El Escorial, y la C-4, entre Parla-Alcobendas-San Sebastián de los Reyes.

El proceso constructivo se dividió en seis fases debido a su complejidad. Una primera de actuaciones previas y excavaciones; ejecución de estribos y pilas en una segunda; la tercera dedicada al montaje de la



Características técnicas

Longitud total:	129,5 m en el eje
Número de vanos:	4 (45,5 m+ 38,5 m+ 28 m+ 17,5 m)
Anchura total:	17,35 m
Longitud lanzada:	115 m
Longitud montada <i>in situ</i> :	14,50 m
Acero en estructura metálica y elementos auxiliares:	1.130.000 kg
Acero en armaduras en viaducto:	680.000 kg
Hormigón blanco en viaducto:	840 m ³
Resto de hormigones:	3.700 m ³



► *Vista aérea del tablero en fase de hormigonado.*

La ubicación en un entorno urbano saturado impuso una rigurosa planificación de los trabajos

estructura metálica en plataforma; lanzamiento de estructura en la cuarta, que fue la más complicada; una quinta fase de montaje in situ del último vano, y para finalizar, la ejecución de la losa de tablero en sexto y último lugar.

La primera de ellas, que supuso más de un año de trabajos, permitió que se fueran liberando las zonas necesarias para realizar las excavaciones hasta cota

de plataforma de ejecución de los pilotes. Para ello, previamente fue necesario talar y transplantar toda la vegetación; retirar y desviar los servicios, las canalizaciones de instalaciones, comunicaciones y señales en la zona interior a las inmediaciones de Atocha; adecuar la catenaria de la línea C-5 para lograr el gálibo adecuado; levantar el haz de vías de estacionamiento de la cabecera de la estación, el retranqueo, soterrado y desmontaje de grupos de alimentación de electrificación de las vías de entrada a Atocha, así como desplazar y desmontar los pórticos y postes de electrificación de las vías de las líneas de Cercanías.



La adecuación de la catenaria de la línea C-5 para lograr el gálibo adecuado sobre la misma fue una de las operaciones más complicadas. La dificultad añadida de la localización del viaducto requirió en su diseño incorporar un canto resistente por encima de la cota de la plataforma para lograr que la estructura pasase sobre la calle del Comercio con ese gálibo necesario, que tenía que ser mayor de 10,2 m, y con una altura sobre la línea de Cercanías C-5 de más de 6,3 m.

► Estribos y pilas

La segunda de las fases fue la de cimentación de los estribos y pilas, que previamente se habían construido en terrenos ferroviarios con la mínima afectación a las calles colindantes y a las líneas de ferrocarril. La operación fue complicada teniendo en cuenta la proximidad de la ubicación del viaducto a las vías de las líneas de Cercanías. Se realizó mediante pilotes de hormigón de diámetros de 1,5 a 2 ms y profundidades de hasta 30 m, sobre los cuales se realizaron los encepados, y sobre estos los alzados.

Uno de los elementos fundamentales de esta infraestructura es la primera de las pilas, fabricada en hormigón blanco en forma de V y rematada lateralmente con dos chapas de acero tipo corten, en consonancia con el acero del tablero, que sirve de apoyo a las celosías del viaducto. Debido a la nece-

sidad de limitar la zona de arranque de la pila para evitar invadir la zona de acera que corresponde a la calle del Comercio, y a la de realizar el apoyo en dos puntos distantes de 15,85 m, su diseño es de doble fuste inclinado unido mediante un tirante pretensado en su cota superior.

La pila arranca en un pequeño plinto de medio metro sobre el encepado de cimentación, y tiene una altura hasta cota de apoyos de 10,11 m. La cimentación se realizó sobre cuatro pilotes de 2 m de diámetro y una longitud de 30 m. Para construirla se diseñó un encofrado a medida sobre una cimbra de apeo. La singularidad de su geometría y la variabilidad de cada uno de sus brazos obligaron a ejecutar en tres fases el hormigonado, la primera para la base de arranque de los brazos, la segunda para los propios brazos, y la tercera para el tirante de hormigón pretensado que cosió sus puntas.

El resto de las pilas, P2 y P2', P3 y P3', se plantearon como una pila pilote de 1,50 m de diámetro de pilote y fuste de pila de 1,5 y 1,8 m, y las alturas de los fustes van hasta los casi 7 m y la profundidad de los pilotes alcanza los 29 m.

De esta forma, el viaducto sobre la calle del Comercio consta de cuatro vanos,

► *Vista de la celosía y una de las pilas a nivel de calle.*

Proceso constructivo

- Fase 1:** Actuaciones previas y excavaciones.
- Fase 2:** Ejecución de estribos y pilas.
- Fase 3:** Montaje de la estructura metálica en plataforma.
- Fase 4:** Lanzamiento de la estructura.
- Fase 5:** Montaje *in situ* del último vano.
- Fase 6:** Ejecución de la losa del tablero.



► **Lanzamiento de la estructura metálica.**

con luces cuya distribución quedó muy condicionada por las posibilidades de apoyo en el terreno en las escasas zonas que el entorno urbano y el esvía con la línea C5 permitían, así que oscilan entre los 17,5 y los 45,5 m con una altura máxima de las pilas de 11 m. Como los vanos están formados por apoyos en dos estribos extremos y tres parejas de apoyos intermedios, todos ellos ortogonales al trazado, la distribución de luces por eje de trazado es de 45,5 m en el vano 1, 38,5 m en el vano 2, 28 m en el vano 3 y 17,5 m en el 4.

► **Montaje**

Tras ejecutar las pilas y los estribos había que montar la estructura en la zona colindante a la situación definitiva del tablero, y luego ser lanzada a su posición, un proceso que duró poco más de dos meses. Para ello, previamente era necesario ejecutar una plataforma que soportara la estructura en la fase de montaje, 900 t, y que sirviera posteriormente de zona de deslizamiento y soporte de los patines para lanzarla.

Se construyó una losa de hormigón armado para lo que fueron necesarios 600 m³ de hormigón, y 80.000 kg de acero. El montaje de piezas se realizó en taller y luego se completó en obra para proceder a su colocación mediante grúas autopropulsadas, una operación habitual en la ingeniería civil, pero no en zonas urbanas como las inmediaciones de la estación de Atocha.

El tablero se apoya verticalmente en diez puntos realizados todos ellos mediante apoyos de tipo POT: dos en el estribo E1, que representa un punto fijo para el movimiento longitudinal del viaducto, para lo cual se fijó la estructura metálica al estribo mediante un sistema de pretensado; otros dos sobre la pila P1; dos más sobre la pila P2 y P2'; otros dos sobre la pila P3 y P3', y otros dos sobre el estribo E2, en el que se ha bloqueado el movimiento transversal del tablero con una estructura tope, dejando margen para el movimiento longitudinal del puente.

Aunque el proceso constructivo se realizó de forma que afectara lo menos posible tanto al viario público como al tráfico rodado, el Área de Gobierno de Seguridad y Movilidad del Ayuntamiento de Madrid mantuvo el corte de la calle del Comercio durante los trabajos de instalación del viaducto, entre los días 1 y 10 de Agosto de 2011, y reorganizó el tráfico rodado.

► **Lanzamiento**

La más complicada de todas fue la cuarta fase, en la que había que lanzar la estructura metálica desde la posición de premontaje, en una plataforma junto al estribo E1, hasta su posición definitiva sobre la calle del Comercio y la línea de ferrocarril a través de un sistema de deslizamiento compuesto por gatos hidráulicos, patines, carriles, teflones y apoyos deslizantes fijos con rótula esférica que tardaron menos de una semana en instalarse y que permitieron proceder al lanzamiento propiamente dicho.

Sin embargo, había además que salvar toda una serie de nuevas dificultades, como la geometría y el trazado en planta de curvatura variable, un hecho que motivó la realización de hasta seis trazados para cada patín e ir lanzando y empujando en sucesivas fases la estructura hasta su posición final, una operación que llevó varios meses: la instalación de los equipos de lanzamiento se realizó en menos de una semana, el lanzamiento con todas sus fases en cinco días, y el gateo final y la retirada de equipos en otra semana.

La estructura se trasladó desde el estribo E1 sobre la calle del Comercio hasta la pila P1, desde donde continuó el lanzamiento sobre la línea de ferrocarril



► Vistas aéreas del tablero durante la fase de hormigonado.

de cercanías C5. Siguió sobre las pilas P2 y P2' para continuar sobre las pilas P3 y P3' y llegar hasta su posicionamiento último en planta. Todo ello no sin realizar previamente las necesarias correcciones de posición, en sentido transversal, mientras se producía el avance y realizando distintas operaciones para la recuperación de flecha. Una vez colocado el puente en planta fue necesario gatearlo verticalmente a su posición en cota, y en la misma operación se sustituyeron los apoyos deslizantes por los definitivos.

Para realizar esta operación se accionaron los gatos hidráulicos verticales de los patines que tomaban la carga de la estructura y se liberaron las torres de apeo temporales, se desmontaron y retiraron, y a continuación se accionaron los gatos horizontales que, situados en la base de los patines, producían el deslizamiento de los mismos sobre los teflones instalados en el interior de los carriles. Pero el hecho de que hubiese distintos trazados, y no uno sólo recto, obligaba a montar y desmontar los carriles de deslizamiento y los propios patines según se avanzaba en el lanzamiento.

Para conocer con exactitud la respuesta del puente y su evolución en el momento del empuje se pro-

cedió al registro exacto de toda una serie de vectores como los giros, desplazamientos, deformaciones y aceleraciones mediante la instalación de 38 sensores conectados a un sistema informático que se ubicó en una caja de plástico dispuesta sobre el hormigón de fondo del tablero, y que se desplazó con el viaducto durante esta fase.

Gracias a ellos los equipos encargados de efectuar el empuje obtenían al momento un conocimiento preciso del comportamiento de la estructura.

► Últimas fases

Tras el gateo de la estructura se realizó el montaje del cuarto y último vano que salva la luz entre la pila P3 y el estribo E2. Las piezas se prefabricaron en taller y se montaron en obra mediante grúa autopropulsada, una operación en la que se emplearon dos semanas.

En la sexta y última fase se ejecutó sobre la estructura metálica totalmente terminada la armadura de la losa del tablero del puente, y posteriormente se llevó a cabo el hormigonado, que se hizo en dos fases: primero hasta alcanzar una altura de 120 mm, y en una segunda hasta la cota final en superficie. ■

Together, we are
**SMARTER
SAFER
STRONGER**



**MÁS DE 25 AÑOS APORTANDO
SOLUCIONES INNOVADORAS**

WORLDWIDE HEAVY TRANSPORTATION AND LIFTING

TEL: +34 91 8845403
FAX: +34 91 8845840
WWW.ALE-HEAVYLIFT.COM
INFO@ALE-HEAVYLIFT.COM



@ALEHeavylift



/ALEHeavylift



/ALECorporate

ALE



SMARTER, SAFER, STRONGER



VIADUCTO SOBRE EL RÍO DEBA

ARMONÍA Y EQUILIBRIO

En un profundo valle cercano a Bergara (Gipuzkoa) atravesado por carreteras y un cauce fluvial se construye una de las estructuras más notables del eje guipuzcoano de la Y vasca, el viaducto sobre el río Deba. Esta obra que busca

su inserción armónica y equilibrada en un entorno natural ostenta el récord de luz de vano de alta velocidad (80 m) ejecutado hasta la fecha en España mediante autocimbra. Su conclusión está prevista para finales de año.



JAVIER R. VENTOSA

FOTOS: IDEAM



La Y vasca, trazado de alta velocidad actualmente en fase de construcción que enlazará las tres capitales de Euskadi entre sí y con el resto de la red española, tiene proyectada la ejecución de cerca de 75 viaductos y puentes, que agrupados suman más de 19 km de longitud, para salvar la complicada orografía de las provincias de Álava, Bizkaia y Gipuzkoa. Se trata de un amplio muestrario de soluciones de ingeniería, unas ya terminadas y otras en fase de ejecución, en el que figuran viaductos de gran longitud (Aramaio, Hernani), importante altura de pi-

las (Aramaio, Kinatoli), notable amplitud de luces (Nervión) y tipologías diversas, sobre los cuales circulará el tren de alta velocidad.

Al sur de Bergara (Gipuzkoa) se ejecuta un singular viaducto de magnitudes que rivalizan con las de las grandes estructuras de la línea. Su construcción se enmarca en el tramo Bergara-Bergara, de 3,1 km, puerta de entrada de la Y vasca a la difícil orografía guipuzcoana, donde el eje Bergara-San Sebastián-frontera francesa suele ser una sucesión de túneles y viaductos. De hecho, más del 72% del tramo discurre por estructuras singulares. La obra del tramo, bajo dirección del gestor vasco de infraestructuras ETS y con un presupuesto de 95,1 M€, se desarrolla desde mediados de 2011. La UTE Abergara (Sacyr, Campezo Construcción, Cycasa y Febide) ejecuta la obra civil, la consultora de ingeniería Ideam ha proyectado el viaducto y presta asistencia técnica al contratista y la UTE Tyspa-Team aporta asistencia técnica a la dirección de obra.

► **Condicionantes y alternativas**

El viaducto permitirá el paso del ferrocarril de alta velocidad sobre un valle bastante profundo, el del río Deba, que presenta una diferencia máxima de cota entre traza y terreno de unos 90 m, estando flanqueado por sendos túneles del trazado de alta velocidad. El valle tiene una anchura de 900 m a la cota del tablero del viaducto y sus laderas son relativamente escarpadas, configurando un perfil en V bastante simétrico que se rompe en uno de sus extremos por la existencia de una vía de comunicación. Se trata, por tanto, de un viaducto de gran altura y muy visible en el valle, que ha debido conjugar la integración paisajística con la minimización de afectaciones al entorno.

Su principal condicionante ha sido la presencia en el valle de diversas vías de comunicación, que han influido especialmente en la longitud de luz de los vanos. De forma sucesiva, la estructura cruza muy sesgada sobre la autopista AP-1 (Vitoria/Gasteiz-Eibar) entre los pk 2+780 y 2+840 metros, sobre las carreteras GI-267 y GI-632 en el entorno del pk 3+150, sobre el cauce del río Deba en el pk 3+320 y sobre la nueva carretera GI-632 entre los pk 3+340 y 3+370 aproximadamente. También cruza sobre varios caminos, uno de ellos muy cercano al estribo 1. En el cruce sobre la AP-1, debido al pronunciado esviaje, se ha fijado una luz mínima de 80 m. El diseño final ha debido respetar otros condicionantes, entre ellos un proceso constructivo del tablero independiente del terreno, el mantenimiento del carácter emblemático en la línea de la Y vasca y la compabili-



zación de los condicionantes anteriores con la economía de la solución estructural finalmente elegida.

El diseño del viaducto ha ido variando desde la fase inicial del concurso de ideas, en 2007, hasta la fase del proyecto definitivo, en 2011, debido a las nuevas prioridades de la propiedad, entre ellas el abaratamiento de costos, y a la búsqueda de un mejor encaje de la estructura en el valle para afectar lo mínimo posible al ramal inferior de acceso desde Bergara hacia el peaje de la autopista AP-1. Así, en la búsqueda de la mejor solución, se han propuesto sucesivamente diversas tipologías de tablero, distribución de luces y hasta número de pilas (ver recuadro adjunto).

Finalmente, el proyecto definitivo, que actualmente se ejecuta, es un tablero con sección cajón de hormigón pretensado, con un total de 900 m de longitud entre estribos, que presenta una distribución de vanos de 50+80+70+60+3x65+70+65+ 70+3x65+45 m, con un gran vano de 80 m, vanos tipo de 70 y 65 m, y 13 pilas con alturas comprendidas entre 23 y 86 m. Su anchura, de 14 m, es apta para acoger la plataforma de alta velocidad. Se trata, en suma, de una estructura armónica y equilibrada, con una distribución de luces homogénea y bien condicionada estructuralmente.

La ejecución de esta solución es posible gracias al reciente avance de la tecnología de los medios auxiliares para la ejecución de tableros de hormigón mediante autocimbra desarrollada por el grupo Puentes y Calzadas, subcontratista del tablero de la UTE Abergara, que en los últimos años ha diseñado y fabricado una autocimbra autolanzable con capacidad para ejecutar tableros de alta velocidad con vanos con luces de hasta 70-80 m. Hasta la aparición de esta autocimbra, hacia el año 2010, solo se habían ejecutado por este procedimiento en España tableros de hormigón pretensado con luces máximas de 65-66 m. El vano de 80 m del viaducto del Deba es, por tanto, el mayor vano ejecutado hasta la fecha en un viaducto de alta velocidad en España construido mediante el empleo de una cimbra autolanzable.

► Características

Tablero. La sección transversal del tablero es un cajón de hormigón pretensado con canto variable en la zona cercana a pilas, lo que hace que éste oscile entre los 3,94 m en la zona central del canto constante y los 5,94 m en la zona de las pilas. El canto variable se limita siempre a una distancia de 15 m a cada lado del eje del apoyo en pila, con el objeto

► *Vista general del viaducto con el tablero casi finalizado. En la página opuesta, detalle de una de sus esbeltas pilas centrales.*



de mantener siempre constante la geometría en los moldes de encofrados variables, independientemente de la luz del vano, manteniendo el canto constante en una gran zona intermedia del centro del vano (un 53% en los vanos de 65 m y un 62% en el vano de 80 m), lo cual le confiere una sensación de esbeltez al tablero.

El viaducto ostenta el récord de luz de vano ejecutado con cimbra autolanzable

El ancho del cajón en la base es variable en la zona cercana a pilas, manteniendo la pendiente de las almas constante, y es constante, con 6,6 m aproximadamente, en la zona de centro del vano. Las almas presentan una inclinación, aumentando en el centro del vano 0,9 m a cada lado en horizontal, con un ancho de cajón en su intersección con los voladizos de unos 8,5 m. Los voladizos laterales, de 2,7 m de vuelo, varían de espesor entre 0,41 m en el arranque hasta 0,20 m en su extremo.

El aligeramiento interior de la sección de forma trapezoidal se achafлана en las esquinas inferiores, como es habitual en este tipo de soluciones para mejorar el comportamiento a flexión transversal y a rasante de la tabla inferior, así como para permitir la disposición de los anclajes de pretensado.

Sobre las pilas se dispone un mamparo macizo con un paso de hombre hueco para permitir la inspección interior del cajón. Sobre las pilas se disponen accesos verticales que permitan la revisión y sustitución de los aparatos de apoyo.

Pilas y estribos. El diseño de las pilas ha sido muy cuidado, buscando la compatibilización entre una solución elegante que se integre en el entorno y una geometría variable con formas suaves que se separe de las clásicas pilas tabique rectangulares, demasiado sobrias y poco adecuadas con un valle tan alto y visible como el del río Deba.

En una vista frontal, las pilas del viaducto aumentan en sección de forma suave con una variación radial, con un ancho en cabeza de 6,50 m. En sentido transversal, el canto de las pilas varía de forma lineal desde la coronación con un ancho mínimo de 3,50 m hasta la base con más de 6 m en las pilas más altas.

En sección transversal, la sección rectangular exterior se achafлана con grandes biseles en las esquinas, manteniendo sus caras siempre paralelas, lo

cual crea una serie de planos oblicuos que siguen la geometría de la variación del canto con ancho variable y le confieren a la pila una estética menos brusca y mucho más elegante que las clásicas pilas pastilla. En el centro de las caras laterales, se ha diseñado un rehundido a modo de berenjeno central de dimensiones variables pero con las caras paralelas, que se va abriendo desde arriba hacia abajo creando un espacio interior a modo de entrante en V y que confiere a la pila un carácter espacial, logrando una geometría elegante y esbelta.

La sección interior de las pilas es hueca con paredes de tabiques variables entre 0,30 en los 25 m superiores, 0,40 m en los 25 m siguientes y 0,50 m de espesor en la parte inferior de las pilas más altas. La pila más alta alcanza junto al río Deba los 86 m de altura.

Respecto a los estribos, el estribo 1 es móvil y se ha diseñado con forma de caja cerrada para alojar sobre él el aparato de dilatación de vía, mientras que el estribo 2 es el punto fijo del tablero, y sobre él hay continuidad de vía.

Todas las cimentaciones son directas, salvo las de las pilas cercanas al cauce del río Deba (pilas P-7 y P-8), que se cimentan con un encepado de 15 pilotes de 1,8 m de diámetro.

Aparatos de apoyo. Estos elementos, que soportan y transmiten a las pilas y estribos las cargas verticales y los esfuerzos horizontales de la superestructura, son en el caso del viaducto del río Deba de tipo esférico, con uno fijo y otro libre en sentido transversal en cada pila/estribo, mientras que en sentido longitudinal todos los apoyos son libres salvo los de las cuatro pilas altas centrales, en las que el tablero se fija longitudinalmente a las pilas con apoyos fijos longitudinales. Esta vinculación elástica del tablero a las pilas mayores garantiza el control de deformaciones de las cabezas de estas pilas y limita los máximos movimientos impuestos en su cabeza por los producidos por dilataciones (térmicas) o contracciones (térmicas, retracción y fluencia) del tablero. Todos los apoyos del viaducto son sustituibles, presentan reglas de medición de los desplazamientos, y están protegidos por unas carcasas de protección que evitan la suciedad de la lámina de acero inoxidable.

► Proceso constructivo.

La construcción del tablero se desarrolla en 14 fases, con longitudes entre 30 y 70 m, mediante una cimbra autolanzable, de 155 m de longitud, que arrancó en el estribo 2 con dirección al estribo 1 y que avanza progresivamente a través de los vanos y de las pilas a medida que se va ejecutando el tablero. En ca-



da fase se ejecuta uno de los vanos del viaducto y un tramo en ménsula del vano siguiente. Para finales de año está prevista la terminación de todo el viaducto.

Durante las fases de hormigonado, la autocimbra se apoya de forma isostática en el extremo de la ménsula ejecutada en la fase anterior mediante un sistema de cuelgue al tablero, y en la estructura metálica (anillo) dispuesta en la pila siguiente. La luz tipo entre apoyos para la autocimbra es de 50 m para los vanos de 65 y 70 m, y de 55 m para el vano de 80 m. Los voladizos de cada fase varían entre 15, 20 y 25 m, en función de la luz del siguiente vano, de forma que se limite la luz entre apoyos de la autocimbra durante el hormigonado.

► *Se ha cuidado el diseño de las pilas para acentuar su esbeltez y ligereza.*



Las soluciones planteadas

El viaducto sobre el río Deba ha ido variando su diseño durante la fase de proyecto para adaptarse mejor a los condicionantes inferiores (las carreteras) y abaratar su construcción. Se han planteado cuatro soluciones:

Celosía empujada. Solución ganadora incluida para del concurso de ideas convocado por ETS en de 2007. El tablero tenía una distribución de vanos 50+70+60+70+110+180+110+3x60+40 m, con dos grandes pilas centrales en forma de V, reduciendo así los puntos de apoyo en el terreno, salvando la zona central con un gran vano de 180 m.

Celosía mixta empujada. Adaptación de la anterior, reduciendo la intrusión visual de las pilas centrales en forma de V, simplificando y abaratando la ejecución con un tablero de esta tipología, que incluye una distribución de vanos de 50+80+3x75+100+110+100+2x80+70 m, con pilas verticales.

Tablero mixto empujado. Nueva solución adaptada en 2009, debido al cambio de prioridades por parte de la propiedad. Se trata de un viaducto con tablero mixto algo más convencional que las soluciones de celosía mixta, similar a las proyectadas para los viaductos de Arroyo las Piedras (LAV Córdoba-Málaga) y Archidona (LAV Antequera-Granada). Tiene una distribución de luces muy homogénea (50+10x 80+50 m), con 11 pilas verticales.

Cajón de hormigón pretensado. Solución definitiva, que actualmente se ejecuta, planteada a finales de 2011. La elección por parte de la constructora de vanos tipo de 70 m y un vano de 80 m sobre la autopista ha permitido una solución algo más económica, mediante un tablero con sección cajón de hormigón pretensado, con una distribución de luces de 50+80+70+60+3x65+70+ 65+70+3x65+45 m, con 13 pilas verticales.

Las fases con voladizos de 15 m se ejecutan con la secuencia clásica de hormigonado en dos subfases: primero se hormigona la sección parcial en artesa (losa inferior y las almas) y luego la losa superior. En cambio, en las fases con voladizos de 20 y 25 m, coincidentes con las fases previas a los vanos de 70 y 80 m de luz, y debido a condicionantes resistentes de la cimbra autolanzable, se ha planteado una secuencia de ejecución del tablero en cuatro subfases. Inicialmente se ejecuta la sección artesa correspondiente a la zona de pila, que comprende la zona en ménsula y su zona simétrica respecto del eje de la pila hacia el centro del vano, a continuación se hormigona la losa superior de esa zona, tras lo cual se tesa una primera familia de cables de pretensado de negativos en la losa. Luego se hormigona la sección artesa de la zona de vano, entre la ménsula de la fase previa y la zona recién hormigonada sobre pila. Posteriormente se tesa una segunda familia de cables de pretensado de positivos en la zona del vano y se hormigona la losa superior de dicha zona. Finalmente, se tesa la familia de cables correspondiente al pretensado parabólico de continuidad, para proceder al descuelgue y avance de la cimbra autolanzable para la ejecución de la siguiente fase.



Los anillos de apoyo de la cimbra autolanzable en las pilas son dos células metálicas triangulares con un tirante horizontal pretensado que une las dos células de ambos lados, y sendos puntales inclinados que se equilibran con dos montantes verticales. La carga de la cimbra y el tablero que se ejecuta sobre ella se transmite a la pila mediante dos apoyos por lado, uno superior y otro inferior. El apoyo superior transmite a la pila las reacciones transversales y las posibles fuerzas longitudinales inducidas por el avance de la cimbra por rozamiento. Este apoyo se mantiene comprimido gracias al pretensado de unión de las dos células con barras tesadas, que evita la apertura de la unión al tender a traccionarse el tirante horizontal superior al cargar la cimbra sobre el anillo. El apoyo inferior transmite la compresión inclinada que baja por los puntales, mediante una compresión horizontal de forma normal a la pila y una reacción vertical mediante una abertura diseñada en el lateral de la pila, que permite la introducción de un tetón en su interior y transmite la carga vertical transmitida por la autocimbra a la pila.

► Instrumentación

Para controlar los esfuerzos reales en el tablero durante el proceso constructivo, se ha instrumentado la reacción del cuelgue de la cimbra en el extremo del voladizo de la fase anterior, y además se dispone de gatos en el apoyo delantero de la cimbra en el anillo. Así se conoce en cada fase el reparto real de reacciones transmitidas por la cimbra a la pila delantera, y al extremo en voladizo trasero. Este control es importante ya que permite confirmar las hipótesis de cálculo del proyecto, verificando cómo parte de los esfuerzos del hormigonado de la losa superior de una fase los asume el propio tablero con secciones parciales ya resistentes, evitando que el 100% del peso propio lo resista la cimbra. Esta instrumentación ha permitido confirmar la validez de las hipótesis realizadas, verificándose la seguridad tanto de la cimbra como de los extremos del tablero ejecutados en voladizo.

También se han instrumentado cuatro de las pilas más altas para conocer sus esfuerzos y movimientos en cabeza, así como los desplazamientos relativos del tablero. ■

► Avance en voladizo del tablero.



GRUPO
Puentes
www.grupopuentes.com

TENDIENDO PUENTES HACIA EL FUTURO

Viaducto de Deba. Récord Nacional de luz en tablero ejecutado con cimbra autolanzable



VIADUCTO SOBRE EL RÍO ULLA (EJE ATLÁNTICO)

EL ICONO DEL EJE

JAVIER R. VENTOSA

FOTOS: IDEAM

Desde su concepción, el viaducto sobre el río Ulla, entre Catoira (Pontevedra) y Rianxo (A Coruña), estaba llamado a ser la gran obra del Eje Atlántico de alta velocidad que se construye entre A Coruña y Vigo, tanto por su singular diseño y delicado encaje en un

entorno con fuertes condicionantes ambientales como por sus magnitudes de récord y sus especiales métodos constructivos. Estos rasgos son ya patentes en la estructura de acero y hormigón aún discontinua que comienza a unirse sobre el cauce fluvial.



► *El viaducto sobre el Ulla contará con el vano central de más luz entre los de su tipología.*



El Eje Atlántico de alta velocidad, infraestructura que enlazará las principales ciudades de la fachada atlántica gallega entre A Coruña y Vigo con tiempos de viaje muy reducidos respecto al tren convencional, cuenta en su trazado con más de medio centenar de estructuras de ingeniería (viaductos y túneles, la mayoría ya terminados) por donde circulará el ferrocarril. La más singular de todas, por varias razones, es el viaducto sobre el río Ulla, actualmente en fase de ejecución avanzada.

Esta estructura es la actuación de mayor alcance del Eje Atlántico y tiene un valor simbólico, ya que unirá A Coruña y Pontevedra, las dos provincias por donde discurre. Su relevancia la avala el hecho de

que el viaducto constituye por sí solo uno de los 15 subtramos del tramo entre Santiago y Vigo, además del tercero más costoso y el último en adjudicarse. Debido a esta circunstancia, y a la complejidad de la obra, el subtramo Viaducto del Río Ulla será el último del tramo Santiago-Vigo en concluirse y, por tanto, marcará la apertura de todo ese tramo y del Eje Atlántico al completo. La ministra de Fomento ha avanzado que la obra civil del viaducto estará concluida a finales de año.

► **Entorno y condicionantes**

El viaducto está situado cerca de la desembocadura de la ría de Arousa, un entorno natural de gran belleza sometido a importantes condicionantes medioambientales que han influido decisivamente en



su diseño y ejecución. La Dirección General de Ferrocarriles, promotora del proyecto, desechó por compleja la idea original de construir un viaducto con un vano de 1.000 metros de longitud y convocó en su lugar un concurso de ideas para encontrar la solución idónea. A principios de 2007 resultó ganadora la propuesta de la UTE formada por las ingenierías Ideam y Euroestudios.

La solución seleccionada estaba orientada a dar respuesta a cuatro condicionantes: el cuidado de la estética de la estructura y su integración medioambiental en el entorno; la reducción del número de pilas en el cauce fluvial; la elección de procesos constructivos lo más independientes posible del cauce y de sus riberas; y la búsqueda de la máxima transparencia y el mínimo impacto visual en el entorno paisajístico. El objetivo de todos ellos es minimizar la afección medioambiental y lograr el mejor encaje en el entorno.

Estos condicionantes decantaron la solución definitiva, plasmada en el proyecto constructivo, hacia un viaducto con tipología estructural de celosía mixta de canto variable, con una longitud entre estribos de 1.620 m, tres vanos principales con luces

225+240+225 m y función de pórtico, vanos tipo de acompañamiento de 120 m funcionando como dintel continuo y tres pilas en el cauce. Por sus magnitudes, el viaducto sobre el Ulla ostenta el vano central de mayor luz del mundo entre los viaductos de su tipología, superando en un 20% al del puente de Nantenbach sobre el río Main (Alemania); además, será uno de los 10 viaductos más largos de la red de alta velocidad española.

La ejecución del subtramo Viaducto Río Ulla fue adjudicada en agosto de 2008 a la UTE Río Ulla, formada por las empresas Dragados y Tecsá Empresa Constructora, Ideam, autora del proyecto, lleva a cabo la asistencia técnica especializada en estructuras a la dirección de obra y Tyspa se encarga de la asistencia técnica y el control y seguimiento de las obras. El presupuesto vigente del subtramo es de 117,4 M€.

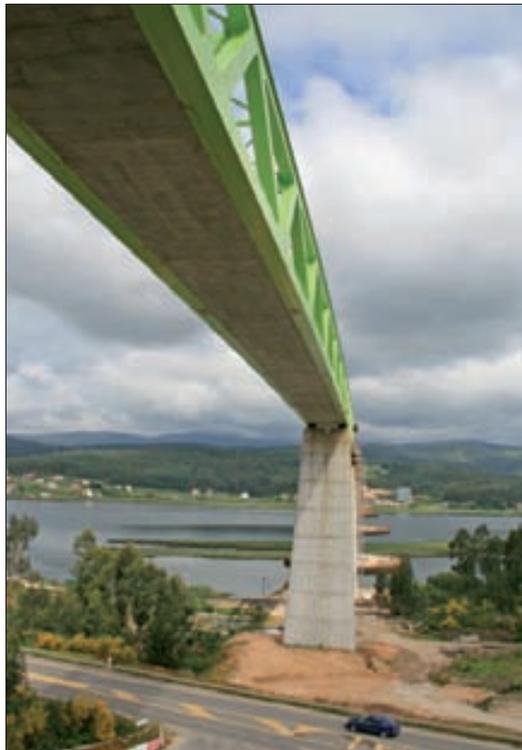
► Elementos principales

El viaducto distribuye su longitud total en 12 vanos con las siguientes luces: 50+80+3x120+225+240+225+3x120+80 m. Sus dos principales ele-

► *Trabajos de izado del tablero en uno de los tramos de acceso.*



► *Vista general del viaducto con buena parte de las dovelas ya montadas.*



mentos son las pilas y el tablero, que se describen a continuación.

Pilas. La estructura está sustentada por 11 pilas, tres situadas sobre el cauce y las ocho restantes en tierra, siendo la de mayor altura de 60 m. Las cuatro pilas centrales (P-5, P-6, P-7 y P-8), con diseño en forma de copa, son las de mayores dimensiones. Estas altas pilas se empotran en las celosías del tablero, configurando pórticos mixtos de gran rigidez en los tres vanos centrales para afrontar las exigencias de deformación de la alta velocidad. Los fustes se entroncan con el tablero a través de un nudo trapezoidal de 17 m de altura.

Las pilas principales laterales (P-5 y P-8), ubicadas en el extremo exterior de los pórticos de 225 m de luz, se proyectan con dos tabiques exentos empotrados en la base (cimentación) y la cabeza (nudo trapezoidal). Con ello se controlan los niveles de empotramiento a flexión derivados de la fuerte descompensación de luces, de 225 y 120 m, de los vanos adyacentes, así como las flexiones derivadas de los desplazamientos de carácter térmico y reológico.

Por último, el resto de pilas de los vanos de acompañamiento (P-1, P-2, P-3, P-4, P-9, P-10 y P-11) son convencionales, con sección rectangular hueca y dimensiones variables. Su altura oscila entre 20 y 52 m.

Tablero. Está formado por una celosía mixta de canto variable en los cinco vanos principales, oscilando el canto entre 17,90 metros sobre los apoyos y 9,15 metros en el centro del vano. Esa variación se consigue a través de una suave transición a lo largo del vano, con una concavidad hacia arriba en la zona de entronque con las pilas en forma de copa, lo que realza su integración visual con el cauce del río, sobre el que parece flotar. Los colores gris del hormigón y verde claro de la celosía metálica realzan ese efecto.

La celosía metálica, con un peso cercano a las 20.000 toneladas, está compuesta por dovelas de 15 metros de longitud, formadas por piezas simples (nudos, cordones, diagonales y montantes transversales) o conjuntos de nudo-cordón o nudo-cordón-nudo, que han sido fabricados en talleres metálicos de Asturias, Galicia y Portugal. En los talleres de obra se completa el ensamblaje en dovelas antes de su izado a la posición definitiva.

► Proceso constructivo

La construcción del viaducto arrancó a principios de 2009 y se espera que concluya en los últimos meses de este año. El proceso constructivo ha estado condicionado por las limitaciones impuestas por la ría, lo que ha obligado a emplear sistemas constructivos y medios de montaje que produzcan una



Mimando al entorno

El viaducto se levanta cerca de la desembocadura del río Ulla, en el Lugar de Interés Comunitario (LIC) Ulla-Deza, una zona de gran valor ambiental tanto por la flora y fauna que la habitan como por las actividades de acuicultura (básicamente marisco) que se desarrollan aguas abajo. Por ello, en el planeamiento constructivo se han adoptado importantes medidas ambientales para salvaguardar ese delicado ecosistema.

Estudios previos. La obra se desarrolla con el aval del estudio ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y de informes de instituciones científicas, como el Instituto Español de Oceanografía, que han descartado una afección sustancial al medio natural.

Tipología. Tras desechar, por motivos técnicos y de coste, el proyecto original de un puente sin apoyos en el cauce, se optó por la actual solución, con una distribución de luces que evita la afección sobre la vegetación de ribera y reduce a tres el número de pilas en el cauce. El diseño en celosía mixta integrará la estructura con el entorno, buscando la transparencia y el equilibrio de formas y proporciones en

consonancia con la suavidad del paisaje de las rías gallegas.

Ejecución. El proceso constructivo busca la máxima independencia de la ría y de sus riberas. La cimentación de las tres pilas sobre el cauce se ha ejecutado mediante procesos que limitan el contacto con el agua, como ocurre también con el tablero. Todo el material dragado se transporta a tierra para su tratamiento.

Medidas medioambientales. Durante la fase de ejecución se siguen varias líneas de actuación para minimizar el impacto sobre el entorno. Así, por medio de turbidímetros, correntímetros y boyas se miden habitualmente varios parámetros para analizar la salud de las aguas; y se toman muestras para realizar bioensayos. Para afrontar eventuales riesgos se cuenta con estudios y modelizaciones elaborados por el Laboratorio de Ecología Marina de la Universidad de Vigo y el Centro Internacional de Recursos Marinos de la Universidad Autónoma de Barcelona. Al finalizar la obra se realizará la restauración paisajística del entorno, en especial la cercana laguna de Pedras Miúdas.



► En la página opuesta, avance en voladizo del tablero. Arriba, izado de dovelas en una de las secciones del viaducto.

afección mínima al cauce. Tanto la ejecución de las cimentaciones como el proceso de transporte, izado y colocación de la celosía metálica se llevan a cabo con el mínimo contacto posible con el agua.

En una primera fase se procedió a construir las cimentaciones y las pilas que sustentarán la estructura. Tanto la ejecución de los estribos como de las pilas P1 a P4 y P8 a P11, situadas en tierra, se ha realizado en el estrato granítico mediante zapatas. Más compleja ha sido la ejecución de las pilas con

Se ha buscado una cuidadosa adaptación de la estructura al entorno

cimentación en el cauce (P-5, P-6 y P-7), para lo que se ha empleado un sistema constructivo especial con objeto de evitar afecciones a la ría, que ha creado una de las imágenes más reconocibles de la obra.

En el cauce se han construido tres islas artificiales provisionales definidas por anillos estancos dobles de tablestacas diseñados para evitar vertidos al río, comunicados con tierra por pantalanés metálicos apoyados en pilotes hincados, que se retirarán al final de la obra. Así, para las labores de cimentación se ha accedido a esos recintos desde tierra, sin necesidad de barcazas. En esos anillos, con unas dimensiones el mayor de ellos de 68 m de diámetro el exterior y 48 m el interior, primero rellenos con escollera para ejecutar los pilotes de cimentación y luego vaciados para trabajar en seco, se han construido encepados de 30x24,5+4,5 m en la P-5 y de 34,5x30x5 m en la P-6, mientras que la P-7 se ha cimentado con una zapata de 27x24x5,25 m.





Una vez terminado el alzado de las pilas, se procede a la ejecución del tablero, fase iniciada en obra a finales de 2012 y también condicionada por las limitaciones impuestas por la ría. Para esta fase se ha dividido el tablero en tres zonas, cada una de las cuales emplea un procedimiento constructivo diferente: los vanos de acceso de la margen izquierda, del lado Catoira, ya acabados; los vanos de acceso de la margen derecha, del lado Rianxo, también concluidos, y los cinco vanos centrales de canto variable, actualmente en fase de ejecución los tres vanos centrales.

Vanos de acceso del lado Catoira. En la ejecución de este tramo de 370 m de longitud (50+80+120+ 120 m), situado entre el estribo 1 y la pila 4, se han empleado dos métodos constructivos. En los vanos 3 y 4 (entre las pilas P-2 y P-3), la presencia de carreteras y una vía férrea, unida al difícil acceso a esa zona para dovelas y grúas, obligó a adaptar el método constructivo original (izado de dovelas soldadas sobre apeos provisionales) por el de lanzamiento de los vanos.

Mediante este sistema, ejecutado en tres fases, se izaron mediante grúas las dovelas del vano 4 (120 m) en la zona del parque de lanzamiento, ubicado entre el estribo 1 y la Pila 2, y se lanzó el tramo desde la P-2 hasta la P-3 mediante una estructura auxiliar y apeos intermedios, aprovechando la pendiente descendente. Posteriormente se izaron las dovelas del vano 3 en el parque de lanzamiento, se soldaron en continuidad con el tramo previamente lanzado, y



posteriormente se lanzaron los vanos 3 y 4 desde la P-3 hasta la P-4 (120 m). La fase III consistió en el izado mediante grúas de las dovelas del tramo comprendido entre la pila 2 y el estribo 1, con lo que concluyó este tramo de canto constante.

Vanos de acceso del lado Rianxo. En la margen opuesta se ejecuta este segundo tramo lateral de 320 m de longitud (120+120+80), comprendido entre el estribo 2 y la pila 9. El método de ejecución es el de ensamblaje de la estructura metálica al pie del viaducto e izado de los vanos completos, para su soldadura en continuidad con las dovelas cero ejecutadas en la cabeza de las pilas. La secuencia ejecutada

► *Trabajos de ejecución del tablero.*

► Vista general del viaducto durante el montaje del tablero y, debajo, durante la realización de las pilas.



ha sido el izado consecutivo de los vanos 12 (465 t de peso), 11 (900 t) y 10 (965 t), para lo cual se han empleado unas estructuras auxiliares y 4 gatos con capacidad de 500 t cada uno.

Vanos centrales. Este tramo, comprendido entre las pilas P-4 y P-9, salva el cauce del río Ulla. Con 930 metros de longitud, el tramo principal del viaducto es el de los vanos más largos (120+225+240+225+120 m), con canto variable y el de mayor espectacularidad. Se ejecuta mediante el avance por voladizos sucesivos compensados de la estructura metálica desde las cuatro pilas centrales (P-5, P-6, P-7 y P-8), a través del izado vertical de dovelas de 15 metros de longitud. Para ello se emplean dos parejas de carros de izado, dos fijos, que izan dovelas desde su posición en la vertical y dos móviles, que permiten la recogida de la dovela en la base de la pila, su izado a una altura intermedia, el traslado a su posición en el extremo del voladizo y su final izado hasta su ubicación definitiva para su soldadura con la dovela previa, lo que evita el empleo de barcazas. La secuencia de ejecución se inició de forma simultánea en las pilas P-5 y P-8 y continúa en la actualidad con las pilas centrales P-6 y P-7.

De forma simultánea con un cierto decalaje se está ya ejecutando el hormigón de fondo, mediante el empleo de un carro de encofrado, conectado a la celosía metálica en zonas de momentos negativos, y discontinuo en la zona de positivos, de forma que se materialice una plataforma inferior con acceso para el mantenimiento y la inspección.

Decalado respecto del hormigón de fondo, se está comenzando en la actualidad con la ejecución de la losa superior con canto variable de entre 0,46 y 0,25 m, que será hormigonada sobre prelasas prefabricadas de ancho completo (14 m). El tablero acogerá una plataforma de 14 metros de anchura sobre la que se montará la infraestructura ferroviaria, por donde el tren volará sobre la ría de Arousa. ■



VIADUCTO SOBRE **EL RÍO ALMONTE**

ARCO CON RÉCORD



► *Vista general del viaducto en construcción. Abajo infografía del estado final del mismo*

JULIA SOLA LANDERO

FOTOS: ADIF

Extremadura contará en 2015 con el puente arco para tráfico de alta velocidad ferroviaria con mayor luz principal del mundo. Esta marca mundial la ostentará el viaducto que salva el río Almonte en su encuentro con el embalse cacereño de Áncara y que

forma parte de las obras del AVE Madrid-Extremadura-Frontera portuguesa. Sus 384 m de luz superarán los 336 m del impresionante puente Nanjing Dashegguan sobre el río Yangtze, que cubre la línea de alta velocidad Beijing-Shanghai.



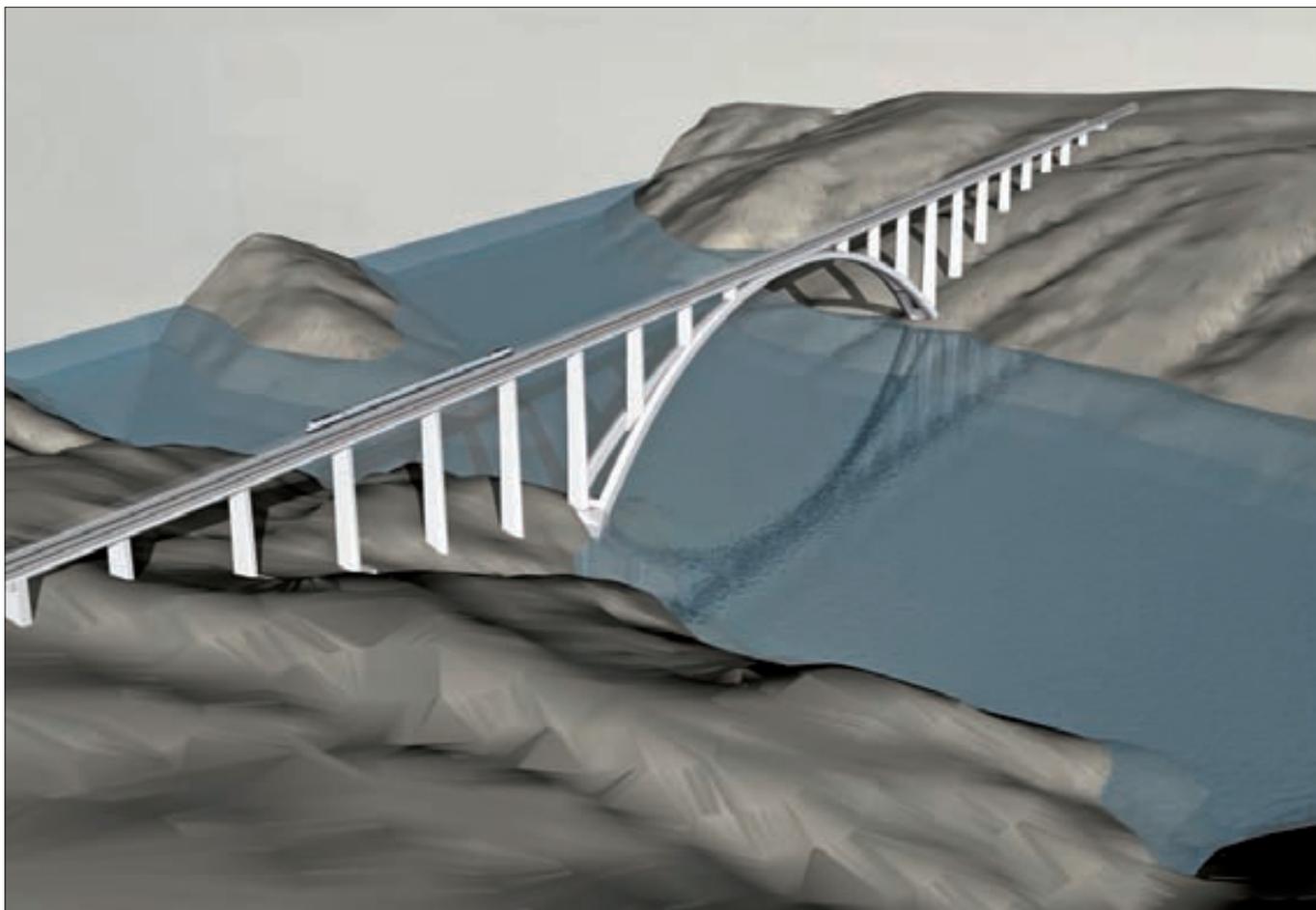
Este monumental puente con firma española ha nacido con vocación de convertirse en un referente de la ingeniería civil, porque además del récord de luz principal para tráfico de alta velocidad, ostentará dos marcas más: la de mayor puente arco ferroviario de hormigón del mundo, superando en más de 100 m al puente sobre el lago Froschgrundsee alemán en la línea Nürnberg – Erfurt, con 270 m; y la de ser el tercer mayor puente arco de hormigón sin distinción de tráfico, sólo superado por el puente Wanxian en China, de 420 m, y muy cerca del mayor de los dos puentes entre las islas de Sveti Marko y Krk en Croacia, con 390 m. En cuanto a España, el referente más cercano, aunque a considerable distancia, es el viaducto del embalse de Contreras, situado entre los límites de las provincias de Cuenca y Valencia, una de las infraestructuras más emblemáticas de la línea de alta velocidad Madrid-Valencia y que hasta ahora ha sido el mayor arco ferroviario, con 261 m de luz, realizado en un puente de hormigón a nivel europeo.

El trazado de la nueva línea ferroviaria de alta velocidad Madrid-Extremadura que comunicará Madrid y Badajoz en 3 horas y 35 minutos, está dejando, a lo largo de sus 450 km, impresionantes infraestructuras, como lo demuestra este esbelto viaducto de 996 m de longitud y 23 vanos, que se alza cerca de 100 m sobre las aguas del río y que en su encuentro con el embalse de Alcántara, donde se alza el nuevo puente, alcanza una anchura de 350 m.

► **Alternativas**

El viaducto se inserta en el subtramo de 6,3 km situado entre el citado embalse y Garrovillas, dentro del tramo Talayuela-Cáceres, en los términos municipales de Garrovillas de Alconétar y Santiago del Campo. Proyectado por el estudio de ingeniería Arenas y Asociados bajo la supervisión de Adif, antes de decidir la mejor solución posible para salvar el tramo, se llevó a cabo un exhaustivo estudio en el que se evaluaron con rigor muy diferentes posibilidades tipológicas y procedimientos constructivos: pórticos

► *Recreación 3D del viaducto acabado.*



► Junto a estas líneas, vista de la ejecución de pilas y avance del tablero. En la imagen inferior, infografía del sistema de atirantamiento del arco.



metálicos o de hormigón, arcos o atirantados con doble y simple plano de tirantes, etc.

La solución finalmente elegida es, en primer lugar, resultado de la necesidad de sortear las dificultades que ofrecía el terreno. Por eso, una de las primeras causas del récord que ostentará el arco es la imposibilidad de disponer apoyos en el embalse, lo que obliga a extender la luz del arco de orilla a orilla. Un enorme reto técnico que ratifica la posición de España en la vanguardia de la alta velocidad y la in-

Para evitar la construcción de apoyos en el embalse ha sido necesario extender la luz del arco de orilla a orilla

geniería civil. En segundo lugar, el proyecto también es fruto del compromiso con los criterios de austeridad en los costes, de durabilidad y de mantenimiento, además de con la siempre necesaria búsqueda de la mejor solución para integrar la infraestructura en un paraje natural de gran belleza, plácido paisaje donde abundan encinas, pinos y acebuches sobre los que vuelan águilas, milanos, alcotanes, buitres y cigüeñas, y donde se cobijan zorros y jabalíes.



► Arranque de los pies del arco con los carros de encofrado ejecutando las primeras dovelas. Debajo, avance del tablero desde el estribo.

Por todo ello el proyecto final plantea un viaducto constituido por tres grandes tramos o zonas bien diferenciadas. La primera, una serie de siete vanos de acceso del lado de Madrid con luces de 36 m y de 6x45 m y un tablero continuo con sección cajón. Por su parte, en la zona central, el vano principal vuela sobre el embalse de Alcántara mediante el gran arco que sostiene el tablero. Y, por último, el viaducto se cierra con una serie de ocho vanos de acceso por el lado Cáceres, de 36 m y de 7x45 m.

Con la distribución de luces entre pilas, cimentadas directamente en el terreno o pilastras apoyándose sobre el arco, se ha querido disponer de un buen número de apoyos sobre el arco y, además, poder emplear un tablero con la misma sección en toda su longitud, lo que facilita su ejecución y la posterior conservación. Una estructura que resulta ser semejante a la de un puente convencional multivano de hormigón con sección cajón.

► Arco

El arco es de hormigón autocompactante de alta resistencia - 800 kg/cm² -, y tiene una sección octogonal hueca en sus 210 m centrales, que se bifurca a continuación en dos pies por cada lado, hasta plantar la estructura sobre sus arranques. Esta bifurcación del arco en dos pies inclinados es la misma técnica utilizada en otros puentes proyectados por el mismo equipo redactor, como el puente de La Barqueta o el puente del Tercer Milenio; una técnica que en este caso permite mejorar el comportamiento del viaducto ante acciones transversales y su respuesta ante fenómenos de inestabilidad fuera del plano, lo que resulta vital en una estructura con semejante luz y con una anchura de tablero reducida debido a su carácter ferroviario. No estamos,



► *Trabajos de ejecución del tablero con cimbra autoportante.*

pues, ante un arco con una estructura clásica de configuración plana, sino ante un arco apoyado sobre cuatro puntos convenientemente separados entre sí a fin de hacer frente al empuje del viento y a los fenómenos dinámicos originados por el tránsito de trenes a gran velocidad.

Tanto por su singularidad como por las dimensiones de su luz principal se consideró necesario llevar a cabo en túnel de viento un estudio aeroelástico de la estructura, tanto en la fase constructiva como en servicio, lo que incluyó el comportamiento de los perfiles empleados en tablero, pilas y arco, y la respuesta de la estructura frente a distintas velocidades y direcciones de viento durante la construcción del puente y durante su vida en servicio.

Las cimentaciones de arco, pilas de vanos de acceso y estribos, se resuelven a través de grandes zapatas que reparten las elevadas cargas que soporta,

situadas sobre el firme rocoso. En cuanto a los estribos, allí donde termina el tablero, son de hormigón armado, cerrados con simples aletas en vuelta. Con respecto a las pilas, tanto las que se cimentan sobre el terreno como las que se apoyan en el arco, tienen sección octogonal que busca un adecuado comportamiento frente al viento. La misma geometría se mantiene en las pilas de los vanos de acceso por uniformidad y simplicidad constructiva.

► **Tablero**

El tablero se conforma como una viga hiperestática multiapoyada con sección cajón, de hormigón pretensado ejecutada in situ, y se asienta sobre pilastras separadas 42 m, lo que supone una división de la luz en 9 intervalos y permite ajustar el canto del propio arco a un mínimo que facilita la libre circulación del viento.



Tiene una sección con canto constante de 3,10 m y una anchura de 14 m que permite alojar a la plataforma de la vía doble de 10,10 m de anchura más los dos paseos de 1,75 m a ambos lados. También cuenta con una canaleta de comunicaciones y, con el fin de evitar la colisión de aves, se ha introducido una innovadora pantalla protectora. Se trata de una barrera de perfiles tubulares verticales de acero que reduce considerablemente, en relación a otros sistemas, la carga del viento y mejora, por su transparencia, la integración en el entorno.

El ancho inferior del cajón es de 6 m, los voladizos laterales de 3,30 m y los paramentos inclinados tienen una proyección horizontal de 0,70 m. La sección se maciza sobre pilastras de arco, pilas y estribos, dejando un hueco para permitir la circulación de los equipos de conservación por el interior del puente.

El arco y el tablero se vinculan en clave conformando una sección de hormigón única en una longitud de 30 m y materializando el punto fijo de la estructura, aprovechando la presencia del arco y su carácter de excelente transmisor de cargas horizontales.

► *Vista de las pilas y el avance del tablero.*



► *La ejecución del arco se inició simultáneamente desde ambas orillas.*

► Proceso Constructivo

Las obras, comenzadas en marzo de 2011 y financiadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional de la Unión Europea, se programaron ejecutando los trabajos simultáneamente desde ambos márgenes del embalse. El crecimiento del arco se realiza con carros de ejecución para el encofrado del arco, avanzando dovela a dovela, mientras se van instalando tirantes que sostienen el conjunto del arco. Una vez armado éste, el sistema provisional de atirantamiento se desmonta para acometer a continuación la construcción del tablero.

Al igual que con el arco, el avance para construir el tablero se ha realizado también de forma simultánea desde ambas orillas del embalse. Las moderadas luces del tablero – 45 m – han permitido el uso de autocimbras convencionales que se emplean desde cada uno de los estribos hacia el arco, y que funcionan como encofrados suspendidos que sostienen

los vanos completos mientras se endurece el hormigón que le otorga la forma y capacidad del tablero. La construcción del tablero se detiene al alcanzar la pila que descansa en la cimentación del arco, pues aquí hay que construir una torre de atirantamiento provisional de acero sobre dicha pila para levantar el arco mediante sucesivas dovelas.

Los medios auxiliares necesarios para la construcción del arco han sido dos torres metálicas de más de 50 m de altura colocadas sobre las pilas extremas del arco; un carro de hormigonado para cada semiarco; un sistema de tirantes de acero que soporta el semiarco construido anclándose en la parte superior de la pila y en la torre; otro sistema de tirantes que soporta la pila y la torre anclándose en las cimentaciones de las pilas adyacentes, y, finalmente, un sistema de anclajes provisionales al terreno para sujetar las zapatas de las pilas adyacentes. Para el alzado de pilas se han utilizado grúas de 141 m de altura, equivalente a un edificio de 47 plantas. ■

- ARENAS DE PABLO, Juan José; BEADE PEREDA, Héctor; CAPELLÁN MIGUEL, Guillermo; MEANA MARTÍNEZ, Ignacio: Viaducto sobre el río Almonte en el embalse de Alcántara para la línea ferroviaria de alta velocidad Madrid-Extremadura. Talayuela- Cáceres. V Congreso de ACHE. Realizaciones: puentes y pasarelas.
- BISÚS, Isaac: *Tipología de viaductos en las líneas de alta velocidad en España. Tesis doctoral*. Barcelona, 2010.
- DEL VALLE PÉREZ, José Andrés; CARRIAZO LARA, Ángel; SIMÓN-TALERO MUÑOZ, José Manuel; CHICO LÓPEZ, Pedro: Viaducto sobre el río Ulla. *Revista Hormigón y Acero*. Volumen 61, nº 258. Octubre-diciembre. Madrid 2010.
- JIMÉNEZ GUIJARRO, Pablo: La Alta Velocidad y el cruce del embalse de Contreras. Una obra singular. *Revista de Obras públicas* nº 3522 (Monográfico Línea de Alta Velocidad Madrid-Levante). Madrid, 2011.
- JIMÉNEZ GUIJARRO, Pablo, MARISTANY PIÑEYRO, Ernesto, TORRES FERNÁNDEZ, Luis M.: Construcción del puente arco del embalse de Contreras (261 m) de la LAV Madrid-Valencia con hormigón de alta resistencia (70 mPa). IV Congreso Internacional de Estructuras de ACHE. Madrid, 2008.
- LÓPEZ RUIZ, José Luis: Construcción del viaducto sobre el Ebro en la LAV Madrid-Barcelona-Frontera francesa. II Congreso de ACHE. Realización, puentes.
- MANTEROLA ARMISÉN, Javier: *El arte y los puentes*. Fabrikart. Universidad del País Vasco, 2004.
- MANTEROLA ARMISÉN, Javier; MARTÍNEZ CUTILLAS, Antonio; GIL GINÉS, Miguel Ángel: “Puente sobre el río Ebro de LAV Madrid-Barcelona-frontera francesa”. II Congreso de ACHE. Realización, puentes.
- MANTEROLA ARMISÉN, Javier; ASTIZ SUÁREZ, Miguel Ángel; MARTÍNEZ CUTILLAS, Antonio: Puentes de ferrocarril de alta velocidad. *Revista de Obras Públicas* nº 3.386. Madrid, abril 1999.
- MANTEROLA ARMISÉN, Javier; NAVARRO, Juan A.; MARÍN MARTÍNEZ, Borja; MARTÍNEZ CUTILLAS, Antonio; FUENTE GARCÍA, Silvia: Puente de ferrocarril de alta velocidad sobre el embalse de Contreras. IV Congreso Internacional de Estructuras de ACHE. Madrid, 2008.
- MILLANES MATO, Francisco; MATUTE RUBIO, Luis; ORTEGA CORNEJO, Miguel; MARTÍNEZ AGROMAYOR, Daniel; BORDÓ BUJALANCE, Enrique: Desarrollo de soluciones mixtas y metálicas para viaductos de Líneas de Alta Velocidad españolas. *Revista Hormigón y acero*, volumen 62, enero-marzo 2011.
- MILLANES MATO, Francisco y otros : Viaducto de Archidona (L.A.V. Antequera-Granada), 3.150 m de dintel mixto sin juntas de dilatación. Madrid, 2013.
- MILLANES MATO, Francisco; PASCUAL SANTOS, Javier; CANERERO RUIZ, Antonio; MARTÍNEZ AGROMAYOR, Daniel; BARTOLOMÉ, Óscar: Viaductos sobre el río Jalón y sobre el río Ginel en la LAV Madrid-Barcelona. II Congreso de ACHE. Puentes y estructuras de edificación. 2002.
- MILLANES MATO, Francisco; PASCUAL SANTOS, Javier; ORTEGA CORNEJO, Miguel: Viaducto “Arroyo las Piedras”. Primer viaducto mixto de las líneas de Alta Velocidad Españolas. *Revista Hormigón y Acero* nº 243, primer trimestre 2007.
- MILLANES MATO, Francisco y ORTEGA CORNEJO, Miguel: Viaducto empujado mixto “Arroyo las Piedras”, un empuje a 100 m de altura en las LAV españolas. Ponencia para las II Jornadas sobre la vida de los puentes. La construcción en el proyecto y el proyecto en la construcción.
- MINISTERIO DE FOMENTO: Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril. Centro de Publicaciones. Madrid, 2008.
- QUINTA, Laura y otros: La alta velocidad, ¿oportunidad para el desarrollo?. Clave económica. Antequera, 2011.
- REGUERO MARTÍNEZ, Alberto: Tipologías de viaductos en la LAV Madrid-Barcelona-frontera francesa. *Revista de Obras Públicas*. Junio 2004.
- REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS (Redacción): El viaducto del arroyo de las Piedras. El puente de mayor altura y uno de los de mayor longitud del AVE Córdoba –Málaga. *Revista de Obras Públicas* nº 3.470. Madrid, octubre 2006.
- SERNA GARCÍA-CONDE, José: *Los puentes del tren*. Presentación y epílogo de Javier Rui-Wamba. Colaboración de Mercedes López. Fundación Esteyco. Madrid, 2006
- VALDIVIESO, J.V. y MOLINERO, J.: Duplicación de la línea de ferrocarril Sevilla-Cádiz. Tramo Aeropuerto de Jerez de la Frontera-Cádiz. Subtramo El Portal. *Revista de Obras Públicas*. Madrid, 2006.

Agradecimientos

Arenas&Asociados, AZVI, Carlos Fernández Casado S.L., Ideam, MC2 Estudio de Ingeniería S.L., Estudio de Ingeniería y Proyectos (EIPSA), departamentos de Comunicación y Prensa de Adif, Corsan-Corviam, Dragados, OHL.

Revista del Ministerio de

Fomento



VIADUCTOS SINGULARES DEL SIGLO XXI (CARRETERAS)



MONOGRÁFICO
Julio-Agosto 2013

PVP: 6 €



SOLICITE SU EJEMPLAR EN TELF. : 91 597 53 85 / 53 91
Por fax: 91 597 85 84 (24 horas)
Por correo electrónico: cpublic@fomento.es

Crecimiento basado en la Innovación

Ferrovia Agroman 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.

Con más de 80 años de experiencia y más de 50 años de actividad en 50 países de 5 continentes distintos y más de 650 proyectos realizados con éxito, Ferrovia Agroman es pionera en el proceso de internacionalización de su actividad y referente en la aplicación de las técnicas más avanzadas en la ejecución de sus obras.

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 641 EXTRA julio-agosto 2014**
VIADUCTOS SINGULARES DEL SIGLO XXI (FERROCARRIL)

Autor: Secretaría General Técnica; Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento

Año de edición: septiembre 2014

Edición digital:

1ª edición electrónica: septiembre 2014

Formato: Pdf

Tamaño: 12 MB

NIPO: 161-14-005-6

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

P.V.P. (IVA incluido): 3,00 €

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.

