

Viaducto de Almonte, récord mundial en puentes arco ferroviarios

En **FCC Construcción** trabajamos para facilitar el transporte diario de las personas. En nuestra larga historia, llevamos más de 100 años construyendo puentes de todas las tipologías y sistemas constructivos actuales con la más esmerada técnica. Entre sus estructuras singulares, destaca la construcción del segundo viaducto más alto del mundo, el viaducto Gilberto Borja Navarrete (México); el segundo viaducto más alto de Europa, el viaducto de El Corgo (Portugal) y el viaducto ferroviario récord mundial en su tipología, el Viaducto sobre el río Almonte (España). Situado en la conexión ferroviaria de Alta Velocidad Madrid-Extremadura, el viaducto de Almonte cruza el río Amonte en su desembocadura en el embalse de Alcántara (Cáceres) y tiene una longitud total de 996 metros. El tramo central tiene un arco de hormigón de sección octogonal variable en ancho y en canto de 384 metros de luz.

www.fcc.es
www.fccco.es

FCC
Construction

Viaducto de Almonte, un puente arco de récord



Vista actual

Autor del proyecto

Arenas & Asociados/IDOM

Dirección de obra

Pablo Jiménez Guijarro

Propiedad de obra

ADIF Alta Velocidad

Contratante

UTE AVE Alcántara-Garrovillas
(FCC Construcción/Conduril
Engharia)

Jefe de obra

Pedro Cavero de Pablo

Asistencia y control de obra

IDOM/Arenas & Asociados

Proyecto de detalle y apoyo técnico

Servicios Técnicos de FCC
Construcción

Entre los términos municipales de Garrovillas de Alconétar y Santiago del Campo en la provincia de Cáceres, se está llevando a cabo la construcción del viaducto de Almonte, dentro del subtramo Embalse de Alcántara-Garrovillas del tramo Talayuela-Cáceres de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Extremadura que desarrolla el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF).

El proyecto fue adjudicado en octubre de 2010 por 96.482.700 €, IVA incluido, a una UTE compuesta por FCC Construcción (85 %) y Conduril Engharia (15 %) y con un plazo de 32 meses.

La obra comenzó en julio de 2011 con los caminos auxiliares y la campaña

geotécnica complementaria. La construcción en avance en voladizo del arco se inició a principios de 2013 y la finalización del arco se tiene prevista para el verano de 2015. Una vez terminado el arco quedará por ejecutar las pilastras y tablero sobre arco, remates y elementos auxiliares, con lo que la finalización de la obra está prevista para antes del verano de 2016.

Debido a la complejidad del proyecto ha sido necesario desarrollar el proyecto original con un proyecto de detalle en el que se han desarrollado diversos puntos complejos del viaducto. Entre estos detalles destacan: apoyo de pilastras en arco, entronque de conexión de los dos brazos del arco en uno solo o la conexión arco-

tablero en coronación. Este trabajo ha sido desarrollado por los Servicios Técnicos de FCC Construcción bajo la supervisión de la Asistencia y Control de Obra de ADIF.

En la construcción del puente participan de manera continua y directa más de ciento veinte personas entre ingenieros, proyectistas y trabajadores de los distintos oficios necesarios para la ejecución del viaducto. En la construcción de todo el subtramo ha habido meses en los que directamente han participado más de 200 personas.

Durante la construcción del viaducto de Almonte se habrán utilizado más de 60.000 m³ de distintos hormigones, más de 2.000 toneladas de acero de calidades S-355 y S-460, más de 1.000 toneladas de tirantes, más de 8.000 toneladas de acero corrugado y más de 6.000 ml de anclajes.

En este proyecto se están llevando a cabo los trabajos de ejecución de plataforma de la doble vía de alta velocidad donde con posterioridad se tenderán las vías, instalaciones eléctricas y de señalización y comunicaciones que conforman la superestructura de la línea.

Asimismo, contempla el movimiento de tierras necesario para la ejecución de la plataforma y la ejecución de las estructuras recogidas en el proyecto, el drenaje, tanto transversal como longitudinal, las instalaciones necesarias para el tendido de la señalización, el cerramiento de la línea, la restauración ambiental del tramo, las actuaciones arqueológicas y de servicios afectados previas a la ejecución del subtramo y las actuaciones precisas para dotar a la plataforma de los requisitos necesarios.



Vista general



Vista del lado sur de noche



Vanos de acceso al tablero

El subtramo tiene 6.265 metros de longitud y presenta la ejecución de las siguientes estructuras que salvan los diferentes accidentes orográficos del terreno por el que discurre la línea: cuatro viaductos, dos pasos superiores y un paso inferior.

Tres de los viaductos, los más cortos, tienen 14 metros de anchura y longitudes que varían entre los 251 metros del Viaducto de Santa Ana y 431 metros de los viaductos de Cagancha y Villaluengo. Todos ellos se han resuelto mediante la ejecución de cimentaciones directas y mediante la ejecución de tableros hiperestáticos hormigonados in situ apoyándose en cimbras porticadas de hasta 25 metros de altura y 45 metros de luz.

El cuarto viaducto es el viaducto sobre el río Almonte. Este elemento, con una longitud total de 996 metros, presenta un arco de hormigón armado de 384 metros de luz que salva la cola del embalse José María Oriol o embalse de Alcántara, que en la localización del viaducto penetra en el río Almonte, dando a éste una anchura de casi 350 metros. Dados los condicionantes medioambientales prescritos en la declaración de impacto ambiental que ha condicionado la redacción del proyecto, no se ha podido cimentar ninguno de los apoyos del puente en el lecho del río, motivo por el que ha sido preciso desarrollar un arco de hormigón armado que salvara ambas márgenes del río sin afectar el cauce del mismo.

Tras su construcción, este viaducto ferroviario se convertirá en el puente arco de mayor luz en el mundo para tráfico ferroviario, superando a dos puentes alemanes, Froschgrundsee y Grümphen, con arcos de luces de 270 metros y al viaducto de Contreras,



Tirantes del viaducto

también desarrollado por ADIF en la línea Madrid-Valencia de alta velocidad, de 261 metros de luz. Además, el viaducto de Almonte se convertirá en el tercer arco de hormigón mayor del mundo, por detrás del puente de Waxian que tiene un arco de 421 m en China y el puente KRK con un arco de 390 metros en Croacia, ambos de tráfico rodado.

Su longitud total es de 996 metros con un tablero resuelto mediante una sección cajón hiperestática de 14 metros de anchura y 3,10 metros de canto. Está compuesto por 23 vanos en total, de los que 21 tienen 45 metros de lon-

gitud en las zonas externas al arco y 42 metros de luz en la parte que se apoya sobre el arco. Los dos vanos extremos son de 36 metros de longitud. Sobre el arco de hormigón se levantan un total de ocho pilas donde se apoya el tablero, transmitiendo al arco las cargas y esfuerzos provenientes de la vía. En los vanos de acceso hay un total de 14 pilas, seis en el lado norte y ocho en el lado sur del viaducto, que tienen alturas variables llegando a los 65 metros de altura en alguno de los casos.

El arco se resuelve mediante una sección octogonal variable tanto en ancho como en canto, ejecutada en

hormigón armado, que presenta dos ramas en el arranque del mismo confluyendo en una única rama transcursada los primeros 90 metros de cada semiarco. La sección en el arranque presenta un ancho de 3,87 metros y un canto de 6,90 y va variando a lo largo del arco hasta llegar a la zona de clave con un ancho de 6 metros y un canto de 4,80 metros.

El proceso constructivo consiste en la ejecución de cada uno de los dos semiarcos mediante carros de avance de dovelas sucesivas, que permiten la colocación del armado y el hormigonado de las dovelas de cada



Vista inferior del viaducto

semiarco y el posterior atirantamiento de cada una de ellas mediante familias de tirantes de tiro, bien a las pilas de arranque del arco o bien a las torres metálicas de atirantamiento que se colocan encima del tablero del viaducto. Este atirantamiento es provisional y permite sustentar cada uno de los semiarcos durante la ejecución del viaducto, hasta que se cierre el arco, momento en el que este será autoestable. Finalizado el arco se retiran las familias de tirantes. Cada familia de tirantes de tiro tiene una familia de tirantes de retenida que transmiten el peso y los esfuerzos del semiarco durante su construcción, bien desde las pilas de arranque o bien desde las torres metálicas de atirantamiento, a las zapatas de retenida, que en el caso del viaducto de Almonte son las adyacentes al arranque del arco, zapatas de P4 y P5 en la margen norte y zapatas de P16 y P17 en la margen sur.

Estas zapatas a su vez están ancladas en el macizo rocoso mediante la ejecución de sesenta anclajes de 2.000 KN por cada una de ellas lo que garantiza el monolitismo de la estructura durante su ejecución. Además y previamente a la colocación de los tirantes el macizo es inyectado mediante inyecciones de consolidación que garantizan la ausencia de desplazamientos y asentamientos no deseados durante la construcción del arco.

Retos de la construcción

Conceptualmente, el proceso constructivo que se ha seguido es el mismo que el de proyecto pero ha sido ajustado en diversos aspectos destacando: número de dovelas, sistema de atirantamiento y plan de contraflechas. Este reestudio del proceso, así como el seguimiento de la construc-

ción ha sido llevado a cabo por los Servicios Técnicos de FCC Construcción. Dentro de la ejecución del arco hay que destacar como elementos más complejos:

1. Geometría del arco.

La geometría del arco con canto y ancho variables en cada centímetro de avance del mismo junto y la configuración de este, con dos brazos en los primeros noventa metros de cada voladizo y un único brazo en los restantes doscientos cuatro metros de arco, hacen que su ejecución sea un auténtico reto diario.

2. Diseño de los carros de encofrado para la ejecución del arco

El estudio de los encofrados ha tenido que efectuarse de forma detallada, introduciendo elementos que permiten modular el encofrado de manera que se obtenga la geometría deseada. Hay dos carros por cada semiarco que a partir de la dovela 15, donde el semiarco pasa de tener dos brazos a tener uno solo, se unen en una única configuración. El peso de cada carro es de 240 toneladas.

3. Ejecución de anclajes de 2.000 KN

La ejecución de estos anclajes formados por 12 cables de acero en roca ha sido una novedad, ya que nunca en España se habían perforado, colocado e inyectado tantos anclajes de esta magnitud y para este cometido. Se ha comprobado que el diseño de bulbo y longitud libre es el adecuado y suficiente para soportar y transmitir los esfuerzos que le llegan desde el arco.

4. Diseño y ejecución del hormigón autocompactable del arco de 80 Mpa de resistencia característica

La autocompactabilidad del hormigón es requerida debido a la altísima



densidad de armadura que el cálculo del arco ha demandado en su diseño. Con un hormigón tradicional sería impensable ejecutar las diferentes dovelas con garantías. Los materiales que componen este hormigón se han buscado fuera del ámbito de actuación del proyecto. Sus características tanto físicas como químicas permiten minimizar que el hormigón alcance temperaturas excesivamente elevadas no superando los 75 °C y permitiendo utilizar cantidades de cemento que están dentro de lo que la normativa española permite, menores de 500 kg/m³. Además por su carac-

ter sulforresistente evitan la posible aparición de fenómenos de etringita diferida que en hormigones elaborados con cementos estándar y en ambientes húmedos a temperaturas de 70 °C desarrollan este tipo de sales que pueden comprometer la vida útil del hormigón.

5. Diseño y ejecución del sistema de atirantamiento provisional del puente

Dentro del diseño del sistema de atirantamiento destacan la torre auxiliar, la distribución y la cuantía de tirantes y elementos auxiliares de los mismos.



Los tirantes son fabricados en obra y los elementos de anclaje y regulación de los mismos se fabrican en un taller. Estos elementos son colocados por el equipo que construye el puente durante y tras la ejecución de cada dovela. Las tolerancias exigidas en la colocación de estos elementos son muy altas, dado que la normativa sólo contempla la instalación de estos elementos de manera definitiva y no de manera provisional como es nuestro caso. Errores de más de $0,5^\circ$ en el posicionamiento hacen que se rechace la colocación de estos elementos, por lo que la misma ha de ser extremadamente cuidadosa.

6. Instrumentación de la estructura

Durante la ejecución del arco se han instrumentado diversos parámetros,

tanto del propio arco, como de las pilas, cimentaciones, tirantes y torre de atirantamiento lo que permite conocer en cada instante si el comportamiento del mismo está siendo el esperado en el desarrollo del diseño. Se han colocado elementos como células de presión en los anclajes, extensómetros de varilla e inclinómetros en las cimentaciones, extensómetros de armadura en las dovelas, clinómetros en las diferentes pilas y torres de atirantamiento, termómetros, una estación meteorológica que indica la temperatura, presión atmosférica y la dirección e intensidad del viento, todo ello recogido en un sistema de información vía web que alerta de posibles incidencias de forma automática y que permite hacer un seguimiento pormenorizado del estado

de cada una de las ramas del arco. Adicionalmente, se ha realizado un seguimiento topográfico detallado del arco, comprobando la evolución durante la construcción.

Otro aspecto destacable ha sido que una vez adjudicada la obra y antes del diseño constructivo definitivo se ha efectuado un estudio aeroelástico que ha incluido el estudio seccional con la sección finalmente utilizada y tres modelos globales: arco con máximo voladizo, arco cerrado y exento y viaducto terminado. Estas pruebas se han efectuado en la Universidad de Western Ontario, en London, Ontario, Canadá. Es la primera vez que ADIF somete a una de sus estructuras a un estudio de este tipo. **ROP**