

La Alta Velocidad y el cruce del embalse de Contreras. Una obra singular

High Speed Rail and the crossing of the Contreras reservoir.
An exceptional construction

Revista de Obras Públicas
nº 3.522. Año 158
Junio 2011
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Pablo Jiménez Guijarro. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos
Director de Obra. Almedralejo (Badajoz) (España). rop@ciccp.es

Resumen: Perteneciente a la Línea de Alta Velocidad Madrid-Castilla la Mancha-Comunidad Valenciana-Región de Murcia, el tramo Embalse de Contreras – Villargordo del Cabriel es uno de los más singulares y de mayor dificultad técnica dada la compleja orografía y los condicionantes naturales y medioambientales de la zona donde se enclava.

Esto ha llevado a la ejecución de una obra de alta complejidad técnica, en la que tres túneles y tres viaductos se concatenan, destacando el Viaducto sobre el Embalse de Contreras, puente arco, que con sus 261 metros de luz ha supuesto record europeo de puente arco ferroviario, y el Viaducto del Istmo, que con pilas de mas de 70 metros de altura y vanos de 66 m, ha supuesto record de España de vano constante ejecutado con autocimbra.

Palabras Clave: Ferrocarril de Alta Velocidad; Puente arco; Hormigón de alta resistencia; Voladizos; Hoces del Cabriel

Abstract: The Contreras Reservoir-Villargordo del Cabriel section of the Madrid-Castilla la Mancha- Valencia Community- Murcia high speed railway proved to be one of the most exceptional and complicated sections on the entire route on account of the complex terrain and the natural and environmental aspects of the area in which it is set.

This required the construction of a work of great technical complexity incorporating three tunnels and three viaducts, the most outstanding of which being the 261 metre span Contreras Reservoir Viaduct, currently the largest railway arch bridge in Europe, and the Istmo viaduct with it 70 metre-plus piers and 66 m spans, this forming the largest constant span built by travelling formwork in Spain.

Keywords: High Speed railway; Arch bridge; High strenght concrete; Cantilever; Hoces del Cabriel

1. Descripción de las obras

El tramo tiene una longitud de 6.523,528 metros y se desarrolla en los términos municipales de Minglanilla en la provincia de Cuenca y Villargordo del Cabriel en la provincia de Valencia. Entre las actuaciones a realizar en el tramo, destacan las siguientes:

- Túnel de la Hoya de Roda.
- Viaducto de la Cuesta Negra.
- Túnel del Rabo de la Sartén.
- Viaducto del Istmo.
- Túnel de Umbría de los Molinos.
- Y especialmente cabe reseñar el Viaducto sobre el Embalse de Contreras

1. Description of the work

The 6,523.528 metre long section runs through the municipality of Minglanilla in the province of Cuenca and through that of Villargordo del Cabriel in the province of Valencia. This section incorporates the following constructions:

- *Hoya de Roda Tunnel*
- *Cuesta Negra Viaduct*
- *Rabo de la Sartén Tunnel*
- *Istmo Viaduct*
- *Umbria de los Molinos Tunnel*
- *The Contreras Reservoir Viaduct*

Trazado

En el trazado en planta se emplea un radio mínimo de 3.500 m, siendo la pendiente máxima del 30%, ambos valores son excepcionales en el trazado de las nuevas líneas de alta velocidad, y se han adoptado con el fin de evitar una mayor afección al entorno que rodea el Embalse de Contreras y al cauce del río Cabriel.

El tramo se inicia con una pendiente hacia el Embalse de Contreras en el túnel de la Hoya de Roda (1.999 m) seguido de los viaductos de Cuesta Negra (220 m) y sobre el embalse de Contreras (587 m). Una vez en el embalse se inicia el ascenso en el túnel del Rabo de la Sartén (375 m) y el viaducto del Istmo (830 m), finalizando en el túnel de la Umbría de los Molinos (1.502 m).

Túnel de la Hoya de Roda

Es el más largo de todo el tramo con una longitud de 1.997,30 m. El túnel presenta tres zonas de falso túnel, la primera en la boca oeste de 20,65 m, la segunda e intermedia de 193,03 m y la tercera en la boca este de 22,63 m. El sistema constructivo empleado es el Nuevo Método Austriaco y su construcción se ha acometido por cuatro bocas aprovechando la existencia de una ventana intermedia. En dicha ventana se ha ejecutado el falso túnel de 193,03 m. que conecta los dos tramos de túnel excavados en mina. Posteriormente se procedió al relleno de la ventana y a su restauración medioambiental.

Túnel de la Hoya de Roda/
The Hoya de Roda Tunnel.



Track layout

The track is laid out with minimum radii of 3,500 m and with a maximum gradient of 30%. Both of these values are unique in the layout of new high speed lines and have been adopted in order to diminish the effects on the environment around the Contreras Reservoir and the Cabriel river bed.

The section starts of on a slope down to the Contreras Reservoir in the Hoya de Roda tunnel (1,999 m), followed by the Cuesta Negra viaducts (220 m) and then over the Contreras reservoir itself (587 m). On crossing the reservoir, the section then rises into the Rabo de la Sartén tunnel (375 m) before passing over the Istmo viaduct (830 m) and coming to an end in the Umbría de los Molinos tunnel (1,502 m).

The Hoya de Roda Tunnel

The 1,997.30 m long Hoya de Roda Tunnel is the largest tunnel on the section. The tunnel has three areas of cut-and-cover tunnelling, the first, a 20.65 m section at the west portal, a second and intermediate section 193.03 m long and a third section of 22.63 m at the east portal. The tunnel was built by the New Austrian Tunnelling Method and was formed from four portals and taking advantage of the presence of an intermediate opening. This opening was formed into a 190.03 m cut-and-cover tunnel which connected the two bored sections of the tunnel. The opening was later covered and landscaped to merge with the surroundings.

The tunnel was built with an 85 m² clear internal area and was designed with curved cross-sectional vaults and side walls, with a single 6.26 m long radius, centred 1.830 m above the top of the rail. The track centreline spacing is 4.700 m. The tunnel runs mainly through sandstone and conglomerate soils and passes through a section of micrite limestone close to the east portal.

The tunnel lining was made by a 15 m long formwork carriage. The tunnel has an emergency exit, with evacuation area and access tunnel to the same, built in the form of a 150 m long cut-and-cover tunnel.

Cuesta Negra Viaduct

This 6-span 220 m long viaduct is divided into 30 + 4 x 40 + 30 m spans and is set on 5 piers with a maximum

La sección tipo a ejecutar tiene una superficie libre interior de 85 m². Se diseña con una sección transversal interior de geometría curva en bóveda y hastiales, con un solo radio de 6,26 m de longitud, cuyo centro está situado 1,830 m por encima de la cota de la cabeza de carril. El entreje de vías es de 4,700 m. El túnel se desarrolla fundamentalmente en terrenos constituidos por areniscas y conglomerados, pasando en la zona más próxima a la Boca Este a calizas micríticas.

El revestimiento de la bóveda se ha efectuado mediante un carro de encofrado de 15 m. de longitud.

Cuenta con una salida de emergencia, dotada de área de evacuación y galería de acceso a la misma, construida mediante un túnel artificial de 150m.

Viaducto de Cuesta Negra

Tiene una longitud total de 220 m y consta de 6 vanos con una distribución de luces de 30 + 4 x 40 + 30 m. Se plantean un total de 5 pilas, situándose la altura máxima de pila en aproximadamente 17 m. El canto del tablero es de 2,60 metros.

El hormigón a emplear en el tablero tiene una resistencia característica de 50 MPa. Se ha llevado a cabo mediante el empleo de cimbra porticada, en vanos sucesivos.

Viaducto sobre el embalse de Contreras

Se trata de la mayor singularidad contemplada en el proyecto, y constituye el mayor arco realizado en un puente de hormigón a nivel nacional.



Viaducto de Cuesta Negra./
Cuesta Negra Viaduct.

height of approximately 17 m. The deck slab is 2.60 metres deep.

The concrete employed in the deck has a characteristic strength of 50 Mpa and was formed span-by-span by formwork gantry.

Viaducto sobre el embalse de Contreras/
Contreras Reservoir Viaduct. (Fotografía cedida por Carlos Fernandez Casado, S.L. Oficina de Proyectos.

Contreras Reservoir Viaduct

This viaduct is the most exceptional construction of the entire project and is the largest concrete arch bridge ever to be built in Spain.



Además de su emplazamiento paisajístico, próximo a las Hoces del río Cabriel, su singularidad reside, tanto en el diseño estilizado, lo que favorece su integración en el entorno, como en la técnica constructiva aplicada, junto a las excepcionales medidas de respeto medioambiental desarrolladas en su construcción.

El viaducto consta de 14 vanos (de 36,2 m. los extremos y 43,5 m. los centrales). El tablero es de sección constante de viga cajón de hormigón pretensado, con un ancho de 14,20 m. y canto de 3,10 m.

Las pilas de los vanos de aproximación, tienen una altura comprendida entre 12,207 y 37,528 m., y su cimentación es directa mediante zapatas. El tablero en dichos vanos se ejecuta mediante el empleo de cimbra autoportante.

El arco que salva el Embalse de Contreras y su construcción responde a las exigencias planteadas en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), tiene una luz de 261 m. y una flecha de 36,944 m, lo que determina una relación flecha/luz de 1/6,77, arco rebajado pero no en exceso.

La directriz es una poligonal curvilínea en el plano vertical, correspondiente al antifunicular de las cargas permanentes. Está inscrito en planta en una línea circular de radio 3.875 m.

El arco es de hormigón armado HA-70, debido a las grandes compresiones a soportar.

Debe destacarse, por otra parte, que el trazado en la zona del viaducto está formado por dos alineaciones circulares en planta de 4.000 y 3.500 m. de radio y una curva de transición con parámetro de 1.973,44 y en alzado está situado en un acuerdo parabólico con un Kv de 25.000. Para construir el tablero se optó por inscribir el eje del tablero en la mencionada alineación circular de 3.875 m. de radio, provocándose unas excentricidades máximas entre el eje de las vías y el tablero de 0,11 m., por lo que se amplió la plataforma a 14,20 m. Debido a esta circunstancia, el arco se ve sometido a importantes flexiones de eje vertical.

Túnel del Rabo de la Sartén

Discurre en paralelo al túnel actual de la autovía, de 392,67 m de longitud, situado en una península de roca caliza del Embalse. En este punto, el mayor condicionante ha sido la proximidad de la traza a la Autovía A-3 que ha obligado a construir una pantalla de



Túnel del Rabo de la Sartén/
Rabo de la Sartén Tunnel.

In addition to its spectacular setting, close to the canyon of the Hoces del rio Cabriel, this bridge is unique in terms of the stylised design that allows it to blend in with its surroundings, its advanced construction technique and the extraordinary measures introduced during construction to ensure maximum respect for the environment.

The viaduct consists of 14 spans (36.2 m at the ends 43.5 m at the centre). The deck is formed by a prestressed concrete box girder of constant thickness, 14.20 m wide and 3.10 m deep.

The piers of the approach spans range from 12.207 m and 37.528 m high and are set directly on footings. The decks at these spans are formed by self-bearing formwork.

The construction and form of the arch crossing the Contreras Reservoir respond to the stipulations established in the Environmental Impact Statement (EIS), the arch having a 261 m span and 36.944 m rise, which gives it a rise-to-span ratio of 1:6.77, giving this a slightly diminished arch effect.

The directrix is a curvilinear polygon in the vertical plane, corresponding to the dead load non-funicular profile, this being inscribed in plan form in a circular line of 3,875 m radius.

The arch is formed in HA-70 high strength reinforced concrete on account of the high compression forces.

The track layout in the area of the viaduct is formed by two curved alignments of 4,000 and 3,500



Viaducto del Istmo/
Istmo Viaduct.

pilotes y micropilotes para salvar el desnivel con la autovía y a ejecutar la excavación del nuevo túnel mediante microvoladuras controladas y medios mecánicos (retroexcavadoras con martillos hidráulicos de gran tonelaje) para minimizar las vibraciones y no afectar al túnel existente en la autovía A-3. El proceso ha sido sometido a un exhaustivo seguimiento con la instalación de un complejo equipo técnico compuesto por sismógrafos, equipos de medición de deformaciones de roca e instrumentos de auscultación. El terreno atravesado ha presentado litologías tipo roca de calidad variable y constituida por calizas.

Se diseña con una sección transversal de geometría curva en bóveda y hastiales, con una superficie interior libre de 100 m² y un radio de 6,86 m de longitud, cuyo centro está situado 1,830 m por encima de la cota de la cabeza de carril. El entreje de vías es de 4,700 m.

Viaducto del Istmo

Tiene una longitud total de 830 m (52 + 11x66 + 52), con pilas que tienen alturas que varían entre 21,41 m y 70,25 m.

Ha sido también un viaducto de difícil planeamiento dado que su trazado en planta penetra ligeramente en el embalse con distintas profundidades. Posee un total de 13 vanos y 12 pilas, que están cimentadas sobre pilotes de 1,80 m de diámetro a una profundidad variable hasta 38 metros, para adaptarse a

m radius and a transition curve with a parameter of 1,973.44 which in elevation is set in a vertical parabolic alignment with a Kv of 25,000. In order to construct the deck it was decided to inscribe the centreline of the deck within the said 3,875 m radius circular alignment, which led to maximum eccentricities between the centrelines of the track and the deck of 0.11 m, and leading to the extension of the deck platform to 14.20 m. The arch is subsequently subject to considerable bending in the vertical plane.

Rabo de la Sartén Tunnel

This 392.67 m long tunnel runs parallel to the existing motorway tunnel and is set in a limestone peninsular protruding into the Reservoir. The main conditioning factor at this point was the proximity of the A-3 motorway. This proximity made it necessary to construct a pile and micropile retaining wall to offset the difference in height between the motorway and to excavate the new tunnel by controlled micro-blasting and mechanical means (excavators with large capacity hydraulic hammers) in order to minimize vibration and cause no adverse effects to the A-3 motorway tunnel. The process was subject to very strict monitoring with highly complex technical equipment including seismometers, rock deformation measurement equipment and auscultation instruments. The tunnel crosses through limestone rock formations of varying quality.

The tunnel is designed with a curved vault and side walls, with a clear internal surface area of 100 m² and a 6.86 m long radius, centred 1.830 m above the top of the rail. The track centreline spacing is 4.700 m.

Istmo Viaduct

The viaduct has a total length of 830 m (52 + 11 x 66 + 52), and is set on piers ranging from 21.41 m to 70.25 m high.

This design of this viaduct was complicated by the fact that the plan arrangement had to penetrate slightly into the area of the reservoir at different depths. The bridge has 13 spans and 12 piers, eight of which being set on 1.80 m diameter piles at variable depths to 38 metres in order to adapt to the existing geological formations, and the



Túnel de la Umbría de los Molinos/
Umbría de los Molinos Tunnel.

las formaciones geológicas existentes, excepto cuatro de ellas que son cimentadas superficialmente. El tablero con vanos de 66 m se ejecuta mediante auto-cimbra, con un canto constante 4,40 metros. El hormigón a emplear en el tablero tiene una resistencia característica de 50 MPa.

Túnel de la Umbría de los Molinos

Este túnel de 1.502,54 m de longitud se plantea al final del tramo, ya en la Comunidad Valenciana. Los falsos túneles a la entrada y salida del túnel son de 17,13 m y de 40,20 m respectivamente. El sistema constructivo empleado es el Nuevo Método Austriaco. El túnel atraviesa en su traza materiales del Keuper y del Jurásico Inferior, constituidos en su mayoría por calizas y materiales yesíferos correspondientes a la primera edad mencionada.

La sección tipo a ejecutar tiene una superficie libre interior de 85 m². Se diseña con una sección transversal interior de geometría curva en bóveda y hastiales, con un solo radio de 6,26 m de longitud, cuyo centro está situado 1,830 m por encima de la cota de la cabeza de carril. El entreje de vías es de 4,700 m. En los hormigones empleados se ha utilizado cemento sulforresistente por los condicionantes geotécnicos del terreno (Keuper).

Medidas de protección medioambiental

La integración con el medio ambiente y el cumplimiento de la normativa legal vigente es una de las

remaining four set on surface foundations. The 66 m long spans of the deck were formed by launching gantries in constant depths of 4.40 metres. The concrete used in the deck has a characteristic strength of 50 Mpa.

Umbría de los Molinos Tunnel

This 1,502.54 m long tunnel is set at the end of the section, in the Valencian Community. 17.13 m and 40.20 m cut-and-cover sections were employed for the construction of the entrance and exits of the tunnel and the main part of the tunnel was built by the New Austrian Tunnelling Method. The tunnel passes through Keuper and Lower Jurassic strata, formed mainly by limestone and gypsum bearing materials corresponding to the first of these periods.

The tunnel was built with an 85 m² clear internal area and was designed with curved cross-sectional vaults and side walls, with a single 6.26 m long radius, centred 1.830 m above the top of the rail. The track centreline spacing is 4.700 m. Sulphate resistant cement was employed in the concrete to the tunnel due to the geotechnical characteristics of the terrain (Keuper).

Environmental protection measures

One of the most important aspects of the work was its integration with the environment and due compliance with all environmental legislation. The specific conditions established for this section in the Environmental Impact Statement (EIS) were duly observed throughout the entire construction work.

The high-speed line was designed and built to cause minimum impact to the environment. The project took into account the existing environmental corridor and the construction work was adapted around bird nesting periods.

Special attention was given to protected species inhabiting the area of the site, such as the Golden Eagle, the Goshawk, Eagle Owl and Peregrine Falcon. In order to identify pairs of birds of prey, monitoring and controls were conducted throughout the entire works in order to restrict and adjust activities to environmental requirements.

No clearing work, blasting or earthworks were conducted from March to June and night work was

constantes de esta obra. Durante la ejecución de toda la obra, se ha ido cumpliendo las condiciones que la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) especifica para este tramo.

La línea de alta velocidad se diseña y ejecuta para causar el menor impacto en el medioambiente. El proyecto tiene en cuenta el corredor medioambiental existente y la ejecución de las obras se ha adaptado a los períodos de nidificación de las aves.

Especial atención se ha prestado a las especies protegidas que habitan en la zona de las obras, como las rapaces Águila Real, Águila Azor-Perdicera, Búho Real y Halcón Peregrino. Con el fin de identificar las parejas de rapaces, desde el inicio y hasta la finalización de la obra se ha realizado un seguimiento y control para limitar las actividades y adaptarlas a las necesidades medioambientales.

Con el objeto de minimizar la afección a las especies más valiosas, en especial durante todo el periodo de obras, en los meses de marzo a junio no se han realizado desbroces, voladuras ni movimientos de tierras y se han evitado los trabajos nocturnos.

Se ha realizado un estudio y seguimiento de sonometría (afección de ruidos) de la zona para adaptar la construcción del tramo a las especificaciones del análisis faunístico efectuado con el fin de establecer polígonos de exclusión y proponer alternativas y recomendaciones a la hora de ejecutar los trabajos.

También se han efectuado importantes campañas de readecuación geomorfológica y ambiental de laderas, incluyendo "gunitado ecológico", en las zonas donde fue necesario el empleo de gunita para el sostenimiento y se han implementado barreras de contención ecológicas, entre otras medidas medioambientales (1).

2. Viaducto sobre el embalse de Contreras

Se trata de la mayor singularidad contemplada en el proyecto, y constituye el mayor arco realizado en un puente de hormigón a nivel nacional.

Además de su emplazamiento paisajístico, próximo a las Hoces del río Cabriel, su singularidad reside, tanto en el diseño estilizado, lo que favorece su integración en el entorno, como en la técnica constructiva aplicada, junto a las excepcionales medidas de respeto medioambiental desarrolladas en su construcción.

avoided in order to minimise the effects on more valuable species, particularly during construction.

Sound-measuring studies and monitoring was made in the area to adjust the construction of the section to the specifications established by wildlife analysis in order to establish exclusion zones and to propose alternatives and recommendations during the building work.

An intense series of slope landscaping and retention works were conducted including "ecological shotcreting" in the areas where it was necessary to employ shotcrete to support these slopes and ecological retaining barriers were also established, among other environmental measures (1).

2. Contreras reservoir viaduct

This is the most exceptional construction of the entire project and is the largest concrete arch bridge ever to be built in Spain.

In addition to its spectacular setting, close to the canyon of the Hoces del río Cabriel, this bridge is unique in terms of the stylised design that allows it to blend in with its surroundings, its advanced construction technique and the extraordinary measures introduced during construction to ensure maximum respect for the environment.

The construction and form of the arch crossing the Contreras Reservoir respond to the stipulations established in the Environmental Impact Statement (EIS), the arch having a 261 m span and 36.944 m rise, which gives it a rise-to-span ration of 1:6.77, giving this a slightly diminished arch effect.

The arch is set on two large plinths that allow the spreading of the load down to the ground through direct foundations. The cross-section of the box girder varies both in depth, ranging from 2.8 m at the key to 3.4 m at the springing point, and in width, widening from 6 m at the centre of the arch to 12.0 m at its setting in the foundations. This width being necessary to support both the large bending moments at the vertical axis caused by the curved plan of the arch and the cross winds. The walls of the box girder vary from 0.6 to 1.35 m.

The directrix is a curvilinear polygon in the vertical plane, corresponding to the dead load non-funicular profile, this being inscribed in plan form in a circular line of 3,875 m radius. The non-funicular line

El arco que salva el Embalse de Contreras y su construcción responde a las exigencias planteadas en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), tiene una luz de 261 m. y una flecha de 36,944 m, lo que determina una relación flecha/luz de 1/6,77, arco rebajado pero no en exceso.

El arco está empotrado en dos grandes plintos, que permiten la difusión de la carga en el competente terreno mediante cimentación directa. La sección transversal es cajón de canto variable entre 2,8 m. en clave y 3,4 m. en arranque y ancho, también variable entre 6 m. en el centro del arco y 12,0 m. en el empotramiento en el cimiento, anchura necesaria para resistir las grandes flexiones de eje vertical proporcionadas por la curva en planta del arco y el viento transversal. Las paredes de la viga, cajón varían entre 0,6 y 1,35 m.

La directriz es una poligonal curvilínea en el plano vertical, correspondiente al antifunicular de las cargas permanentes. Está inscrito en planta en una línea circular de radio 3.875 m. El antifunicular del arco se mantiene perfectamente con los cuatro apoyos mas el de clave que se disponen sobre el arco, reduciéndose las flexiones que existirían en la zona entre columnas verticales si el arco fuese perfectamente curvo.

Proceso Constructivo

Para la ejecución del arco de hormigón, se plantea su construcción mediante dos semiarcos simultáneamente desde cada orilla del Embalse de Contreras. El primer tercio de cada semiarco se ejecuta sobre cimbra porticada con el auxilio de una pila provisional de hormigón

El resto del arco se ejecuta por avance en voladizos sucesivos atirantados a un pilono provisional metálico y contraatirando contra el primer tercio del propio arco ejecutado con anterioridad y el plinto de cimentación.

El arco y el tablero superior avanzan de forma coordinada de modo que la finalización de parte del tablero superior posibilita la ejecución posterior del arco.

Las obras comienzan con la ejecución de las cimentaciones, que son directas en todos los casos. Se realizan las cimentaciones de las pilas de las zonas del viaducto de acceso al arco, así como las de los estribos. Las cimentaciones de los plintos del arco, con más de 3.000 m³ de hormigón cada una de ellos, se realiza en 8 fases, prestando especial atención a las juntas entre las mismas, y dejando en su interior los anclajes correspondientes a parte de los tirantes traseros que se implemen-



of the arch is held perfectly by the four supports and the arch key, this reducing the bending that would exist in the area between the vertical columns if the arch were perfectly curved.

Construction Process

The concrete arch was constructed by simultaneously erecting two semi-arches from each bank of the Contreras Reservoir. The first third of each semi-arch was then built on gantry formwork with the aid of a provisional concrete pier.

The rest of the arch was erected by launching successive cantilevers cable-stayed to a provisional steel pylon and counterbraced with the first third of the arch that had been built earlier and the foundation plinth.

The arch and the upper deck advanced in a coordinated manner to allow the arch to be constructed once the upper deck had been completed.

The work began with the construction of the foundations, these being direct foundations in all cases. The foundations were built for the piers on the approach section of the viaduct together with those for the abutments. The foundations to the arch plinths, each requiring over 3,000 m³ of concrete, were built in eight stages, paying particular attention to the joints between the same and internally setting the anchors corresponding to the rear stays that would be installed



taron posteriormente. Se realizó una exhaustiva campaña de sondeos para la localización de cavidades kársticas en cada una de ellas, rellenando con mortero de cemento a baja presión todas las detectadas.

A continuación se ejecutan las cimentaciones de las pilas provisionales, en la vertical de las pilas P-7 y P-10 que se sitúan sobre el arco.

Una vez que se han realizado los plintos del arco, se ejecutan las pilas P-6 y P-11, cimentadas sobre dichos plintos y se hormigonan las pilas provisionales. Se había dado la circunstancia favorable, que coincidió con el principio de la construcción, de un ciclo sequísimo con el pantano a unos niveles tales que la cimentación de esa pila provisional había quedado al descubierto durante muchos meses.

En este momento se inicia la ejecución del arco. El primer tramo de cada semiarco, entre el plinto y la pila provisional, se realiza sobre cimbra porticada apoyada en el terreno. Una vez ejecutado el tramo cimbrado, se ejecutan las pilas P-7 y P-10 sobre el arco, para permitir que la autocimbra avance hasta dichas pilas y ejecutar la parte de tablero correspondiente.

En el arranque del arco se suman una serie de factores que requieren un especial cuidado. Se trata de la sección más solicitada en servicio y contiene una gran cantidad de armadura. A esto se une el hecho de que se emplea un hormigón HA-70 de alta resistencia, en su primera puesta en obra. Todos estos factores llevan a buscar una optimización del proceso de hormigonado. Vista la imposibilidad de hormigonar

at a later stage. Very complete soundings were carried out to locate any karstic cavities in these areas and those located were then filled with cement mortar at low pressure.

The foundations to the provisional piers were then constructed, on the vertical of piers P-7 and P-10 set within the arch.

Once the arch plinths had been constructed, piers P-6 and P-11 were then erected on the said plinths and the provisional concrete piers were formed. The start of construction work was fortunate to coincide with a very dry period and the reservoir levels were such that the foundations to these provisional piers remained exposed for many months.

Work on the arch began from this moment on. The first section of each semi-arch, between the plinth and the provisional pier, was formed in gantry formwork set on the ground. Once the formwork section had been completed, piers P-7 and P-10 were built on the arch, to allow the self-launching gantry to advance up to the said piers and construct the corresponding section of the deck.

The construction of the spring of the arch entailed a series of factors that required particular attention, this being the section subject to most stress during service and one subsequently containing a large amount of reinforcement. This together with the fact that a high strength HA-70





de una sola vez la sección completa del arco, se exige la necesidad de minimizar lo máximo posible la diferencia de edades entre los hormigones de una misma sección. Para ello, se premonta en gran medida la ferralla, llegándose a hormigonar en una sola fase la losa inferior y los hastiales, y transcurriendo poco más de un día desde ello hasta la ejecución de la losa superior. Con esto se previene en gran medida la aparición de fisuras de retracción.

Una vez desmontada la autocimbra, se procede al comienzo del avance de los semiarcos mediante voladizos atirantados. Para ello se disponen dos pilonos me-

concrete was to be employed in the works and which made it necessary to optimize the concreting process. In view of the impossibility of concreting the complete section of the arch in one single operation, it was necessary to minimize as far as possible the difference in ages between the concretes within the same section. For this reason, the reinforcement cages were largely pre-assembled and it was then possible to concrete the lower slab and side walls in one single stage and to the construct the upper slab from this point just over one day later. This procedure largely contributed to the elimination of potential shrinkage cracks.

Once the gantry formwork has been disassembled, the semi-arches were then advanced in the form of braced cantilever sections. This operation required the installation of two steel pylons over the deck and set on the vertical of the provisional piers.

From this moment on the semi-arches were built in cantilever sections by travelling formwork carriages and with successive groups of cable stays in each section. Each group of cables stays consisted of a pair of forward cables set in the built segments of the arch and a pair of rear cables anchored to the plinths or to part of the arch built by advancing formwork. In this way, a pair of cables was placed every two or three segments according to area.

In order to control the stress and strain, the construction process required a series of tensioning, retensioning and detensioning manoeuvres for each





tálicos sobre el tablero, en la vertical de las pilas provisionales.

A partir de este momento los semiarcos se ejecutan en voladizo mediante hormigonado con carro de avance, disponiéndose sucesivamente nueve familias de tirantes en cada uno de ellos. Cada familia de tirantes cuenta con una pareja de cables delanteros anclados en las dovelas ejecutadas del arco y una pareja de cables traseros anclados, bien a los plintos, o bien a la parte del arco construida mediante cimbra. De este modo, cada dos o tres dovelas según la zona, se dispone una pareja de tirantes.

El proceso constructivo, para el control de esfuerzos y deformaciones, requiere un ciclo de maniobras de tesoado, retesoado y destesoado para cada familia de cables. Dichas operaciones se realizan actuando directamente sobre los tirantes, al haberse diseñado las piezas de anclaje de los mismos con dos barras que permitan la correcta regulación de la tensión aplicada.

Se ha establecido un completo sistema de seguimiento para el control de la correcta ejecución y comportamiento de la estructura. En primer lugar, se realiza una comprobación de la adecuación de las cargas obtenidas en los tirantes durante las maniobras de puesta en carga, respecto de los valores de cálculo. En segundo lugar se realiza un exhaustivo control topográfico para controlar cualquier eventual desviación de las deformaciones reales respecto a las previstas. Por último se ha realizado un completo programa de auscultación, incluyendo la disposición de

set of cables .These operations were conducted directly on the cable stays, by means of two bars that had been fitted on the anchor pieces in order to regulate the applied tension.

A complete monitoring system was installed to ensure the correct construction and behaviour of the structure. Checks were first made to verify that the loads obtained in the cables were in accordance with design values during the loading operations. A very exacting survey was then conducted to control any subsequent deflection with respect to design criteria.



clinómetros, instrumentación de tirantes y secciones principales del arco. Todos los datos obtenidos del sistema de instrumentación pueden ser seguidos por ordenador de modo remoto.

Una vez ejecutados los dos semiarcos, se desmonta el carro de avance del lado Cuenca, procediéndose a adaptar el carro del lado Valencia para la ejecución de la dovela de cierre. Para ello, mediante un sistema de anclajes y perfiles, se niveló y rigidizó el conjunto de los dos semiarcos para posteriormente proceder al hormigonado. No fue necesario efectuar una apertura en clave del arco.

Tras el cierre del arco, se procedió a la retirada de los cables de atirantamiento y desmontaje de los pilonos. Para ello, se desapeó el arco de las pilas provisionales disponiendo en la parte superior de las mismas unos gatos cuyo objeto fue levantar el arco y posibilitar la extracción de los apoyos provisionales de neopreno, quedando el arco exento.

A continuación se comienza la demolición de las pilas provisionales y se procede a la ejecución de las pilas situadas sobre el arco. Para la realización de los vanos restantes y cerrar el tablero se emplea una cimbra porticada apoyada directamente sobre el arco ya ejecutado.

Las pruebas de carga, tanto estática como dinámica, se realizaron satisfactoriamente a principios de Junio del año 2009 (2).

3. Viaducto del istmo

Primer acercamiento

La solución contemplada en proyecto consistía en una estructura con tablero empujado y vanos de 90 metros para minimizar las pilas a situar en zona inundada del embalse. Esta incluía la previsión de ejecutar las cimentaciones desde pontona.

Al comienzo de la obra, se constató que debido al bajo nivel del pantano, se podían ejecutar todos los trabajos en seco mediante la ejecución de penínsulas, no siendo posible la navegación con pontona en la zona de cimentaciones.

Este hecho, junto a la imposibilidad de hacer compatibles los trabajos de empuje del tablero con la ejecución del túnel de Umbría de los Molinos, hizo que se produjese una reestructuración de las luces del viaducto, de forma que se matuviese la relación canto-luz.

A complete auscultation programme was then carried out, including the placing of inclinometers and instrument monitoring of the cables and the main sections of the arch. All the readings obtained from the control system were remotely monitored by computer.

Once the two semi-arches had been completed, the formwork carriage was dismantled on the Cuenca side, and the carriage on the Valencia side was adapted to construct the closing segment. This required the levelling and stiffening of the two semi-arches by means of an anchoring and support system, prior to the concreting of the segment. It was not necessary to make a key opening in the arch.

On the closure of the arch, the provisional cable stays were then removed and the pylons were dismantled. In order to do so, the arch was released from the provisional piers by means of a series of jacks set on the upper part of the same which raised the arch and allowed the removal of the provisional neoprene bearings and which then left the arch free.

The provisional piers were then demolished and additional piers were constructed in the bridge. The remaining spans and deck were then completed by means of a gantry formwork set directly on the already formed arch.

Static and dynamic load tests were satisfactorily conducted at the beginning of June 2009 (2).

3. The istmo viaduct

Initial solution

The original design solution consisted of a structure with a launched deck and 90 metre spans in order to reduce the number of piers set in the flooded area of the reservoir. This design included a provision for constructing the foundations from a pontoon.

At the beginning of the work it was noted that on account of the low level of the reservoir all the work could be performed in the dry by constructing jetties and that it would not be possible to use a pontoon in the area of the foundations.

This factor, together with the incompatibility of simultaneously performing the deck launching works and the work on the Umbría de los Molinos tunnel, led to the restructuring of the spans of the viaduct, so that they still retained their height-span ration.



Las mayores autocimbras que habían funcionado en España eran hasta vanos de 66 m, con canto variable. Se optó en el viaducto del Istmo por una solución con vanos de 66 m. y canto constante, de manera que supone record de España de vano constante ejecutado con autocimbra.

The largest spans to be built in Spain by travelling formwork up to that time were spans of 66 m and with variable depth. In the Istmo viaduct, the designers decided to employ a solution of 66 m spans with constant depth, this establishing a record in Spain for spans of constant depth built by travelling formwork.

Cimentaciones

Las cimentaciones de las pilas se hacen de dos tipos, directas en aquellos puntos en los que las pilas apoyan en roca y mediante pilotes de 1,8 m de diámetro y hasta 38 m. de profundidad aquellas que caen en zona de relleno del pantano.

En las Pilas 2 y 3 nos encontramos con un problema de empujes laterales de tierra por el relleno previo que había en la ladera debido a las obras de la autovía al que había que sumar el relleno ejecutado por nuestras penínsulas de trabajo. Como solución y ante la imposibilidad de bajar al cota de cimentación debido a la cota de embalse en el momento de ejecución de las pilas, se aumentó el tamaño de las zapatas y se anclaron los encepados a roca, trabajo que tuvo que ser ejecutado con submarinistas.

Foundations

The foundations to the piers were divided into two types: direct foundations at those points where the piers would rest on rock and 1.8 m diameter pile foundations up to 38 m deep in those areas within the water area of the reservoir.

At piers 2 and 3 a problem was caused by the lateral thrust of the soil as a result of previous backfilling on one of the slopes as a result of the motorway works and which was heightened by the backfill produced from the working peninsular platforms. As a solution and in view of the impossibility of lowering the foundation level due to the reservoir level at the time of constructing the piers, the size of the footings were increased and the pile caps were anchored to the rock, this work having to be performed with the aid of divers.

Pilas

Se ejecutaron con dos juegos de cimbras autotrepantes, ejecutándose dos puestas de 4m al día. La altura máxima de pila era de 70,40 m, por lo que tuvieron que utilizarse medios auxiliares como ascensores para que subiesen los operarios.

Piers

The piers were constructed with two sets of self-climbing formwork, forming two sections of 4 m each day. The maximum height of the pier was 70.40 m, which made it necessary to employ auxiliary equipment such as lifts to allow access by the workers.



Tablero

Se trata de un tablero de gran canto, aproximadamente 4,5 metros que se ejecutaba en dos fases, haciendo un tramo completo de 66 m cada dos semanas.

En la primera fase se ejecutaba la U de la artesa y la zona de diafragmas, de forma que las vainas de pretensado estuviesen siempre hormigonadas en la misma fase. Posteriormente y para que la autocimbra pudiese soportar el peso del vano en ejecución, se daba un primer tesado al 40 % para que la artesa colaborase y así poder colocar las prelasas que se utilizaban como encofrado perdido, ferrallar, hormigonar y ejecutar el tesado definitivo.



Deck

The deck has a large depth of approximately 4.5 metres which was built in two stages, and where a complete section of 66 m was constructed every two weeks.

In the first stage of the construction work, the "U" form of the box and the diaphragm area were built so that the prestressing tendons were always concreted during the same stage. In order to ensure that the travelling formwork could support the weight of the span under construction, an initial tensioning of 40% was made so that the box could collaborate and allow the placing of the shuttering slabs that were employed as lost formwork together with the reinforcement and then concrete prior to the final stressing of the deck.





En la zona del Estribo 2, junto a la autovía A-3 y pasa poder ejecutar éste así como el túnel del Rabo de la Sartén y debido a la cercanía de dicha autovía, fue necesario ejecutar una pantalla de pilotes anclados para realizar el sostenimiento de la A-3.

Debido a la dificultad de acceso y a tener que ejecutar parte de los trabajos desde la propia autovía, una parte de la pantalla se ejecuto con micropilotes, para posteriormente, una vez bajada la cota, proceder a hacer una plataforma de trabajo que nos permitiese ejecutar la pantalla de pilotes. ♦

In the area of Abutment 2 and in view of its close proximity to the A-3 motorway, it was necessary to construct a anchored pile retaining wall, in the same manner as in the Rabo de la Sartén tunnel, in order to protect the roadway.

On account of the difficult access and the need to perform part of the work from the motorway itself, a section of the retaining wall was erected with micropiles which, on the lowering of the level, then served as a work platform to construct the pile-based retaining wall. ♦

Referencias/References:

-(1) JIMÉNEZ GUIJARRO, Pablo. "Complejo y Singular: Línea de Alta Velocidad Madrid-Murcia. Tramo Embalse de Contreras-Villargordo del Cabriel". *Cauce 2000: revista de ingeniería civil*, 2009, nº 148, p 20-29. ISSN: 0212-761X.

-(2) JIMÉNEZ GUIJARRO, Pablo; MARISTANY PIÑEYRO, Ernesto; TORRES FERNÁNDEZ, Luis Miguel. "Construcción del puente arco del Embalse de Contreras (261 m.) de la L.A.V. Madrid-Valencia con hormigón de alta resistencia (70Mpa)". *Comunicaciones IV Congreso Internacional de Estructuras de ACHE 2008*. Madrid: ACHE, 2008. 893 p. + Memoria USB. ISBN: 978-84-89670-62-4.