

Viaducto Rambla Portuaria Montevideo

Montevideo harbour Viaduct

Javier Torrico Liz^a, Francisco Prieto Aguilera^b, José Romo Martín^c,

Pablo Castro Peyronel^d, Antonio Dieste Friedheim^e, Horacio Pieroni^f, Gabriela Martínez^g

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Dtor. División de Puentes y Obra Civil. jtl@fhcor.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Director Departamento Obra Civil. fpa@fhcor.es

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Consejero Delegado. jrm@fhcor.es

^d Ingeniero Civil. CyD Ingenieros. Director. pcastro@cyd.com.uy

^e Ingeniero Civil. CyD Ingenieros. Director. adieste@cyd.com.uy

^f Ingeniero Civil. METRA Ingenieros. Director. h.pieroni@metra.com.ar

^g Ingeniero Civil. Saceem. Directora de Proyecto

RESUMEN

El nuevo viaducto portuario de Montevideo alivia el acceso al puerto desde la ciudad y amplía el predio portuario al elevar el tránsito vehicular y liberar espacio para los movimientos portuarios y de ferrocarril. La estructura consta de dos rampas de acceso, dos viaductos de acceso resueltos con tableros de vigas prefabricadas, y una zona central en arco. Este tramo central en arco se resuelve con un arco de tablero intermedio formado por un cajón mixto, conectado al arco mediante péndolas y apoyado en sendas pilas en V en las pilas de los viaductos de acceso. La estructura fue inaugurada en diciembre de 2022.

ABSTRACT

The new Viaduct in the Montevideo harbour improves the access conditions to the port from the city and enlarges the port area by raising vehicular traffic and freeing up space for port and rail movements. The structure consists of two access ramps, two precast concrete beams access viaducts, and a central arch bridge. The central part is an intermediate arch bridge formed with a composite box girder deck supported on V-shaped piers and on the access viaducts extreme piers. The viaduct was inaugurated in December 2022.

PALABRAS CLAVE: arco, cajón, jabalcones, péndolas

KEYWORDS: arch, box girder, strut, hangers

1. Introducción y antecedentes

El viaducto que se presenta en esta comunicación es el resultado de un concurso de proyecto y obra, planteado con el objetivo principal de generar una mejora en la circulación de la zona portuaria de Montevideo, aumentando la capacidad de la rambla, eliminando la interferencia con la circulación de

camiones portuarios y con los cruces ferroviarios y generando un acceso único al recinto portuario y nuevas vías de circulación internas al puerto.

El proyecto fue financiado por la Asociación Nacional de Puertos.

La construcción del viaducto de 1800 m de longitud, elevado unos 8 m sobre la zona

portuaria, ha aumentado en un 50% la capacidad del tránsito, pasando de dos a tres carriles en cada sentido, y ha permitido al puerto ganar una superficie de algo más de 5 hectáreas.

El grupo liderado por Castro y Dieste, con el apoyo de FHECOR y METRA ha trabajado para el consorcio formado por SACEEM y GRINOR en la redacción del proyecto de licitación y en el proyecto de construcción del nuevo viaducto, y ha realizado trabajos de Asistencia Técnica al Consorcio constructor durante las obras.

Se resumen a continuación los aspectos principales del proyecto y de la ejecución de las obras.

2. Descripción del puente proyectado

La solución adoptada para la redefinición de la circulación en la rambla portuaria consta de dos rampas de acceso, dos viaductos de acceso resueltos con tableros de vigas prefabricadas, y una zona central en arco.

Los tramos de vigas tienen 21,70 m de luz tipo. Las vigas se prefabricaron y pretensaron in situ. Se ejecutaron vanos de hasta 41,30 m, que se resolvieron mediante vigas postesadas. Las pilas están formadas por un fuste con sección en H y un dintel con dos grandes voladizos pretensados.

El tramo de viaducto resuelto con un arco de tablero intermedio se ubica en una alineación recta en planta y en un acuerdo vertical en alzado. En esta zona de la estructura la calzada presenta un bombeo del 2%. El tramo tiene una

longitud total de 160 m, distribuidos en 5 vanos de luces 15,50 m, 19,50 m, 90,00 m, 19,50 m y 15,50 m.

El tablero de este tramo del viaducto es una sección mixta, formada por un cajón bicelular y una losa superior de hormigón armado que se apoya en sus laterales sobre unos jabalones metálicos.

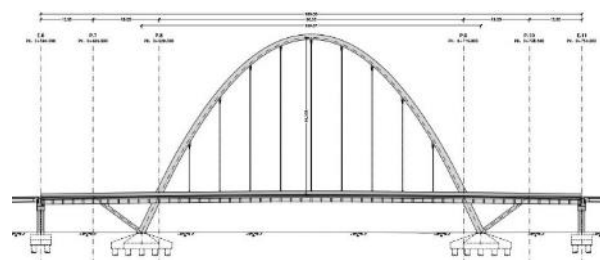


Figura 1. Alzado del tramo de viaducto en arco

El ancho del tablero es variable entre 24,20 m y 26,20 m desde los estribos hasta la sección de arranque del arco. En el vano principal el ancho es constante e igual a 26,20 m.

La sección transversal tipo de la vía está formada por 3 carriles de 3,40 m por sentido, dos arcones exteriores de 0,50 m, dos arcones interiores de 0,50 m, dos barreras de contención exteriores y dos interiores de 0,40 m cada una, y una mediana de anchura variable, en función de si se encuentra en la zona de arco o no.

El canto del cajón metálico es de 1,85 m, y la losa superior tiene espesor variable entre 0,25 m y 0,35 m, resultando un canto máximo del cajón mixto de 2,10 m.

La sección consta de diafragmas transversales cada 2,25 m, distancia a la que se han colocado también los jabalones de apoyo de los voladizos de la losa superior.

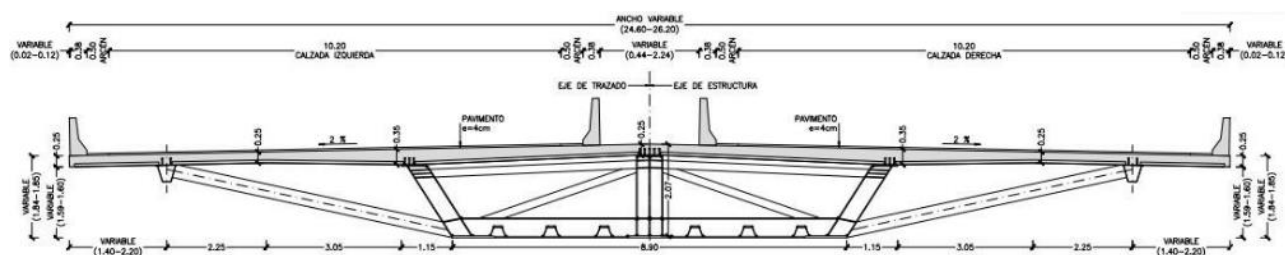


Figura 2. Secciones transversales del tablero por diafragma intermedio

La luz del arco entre los puntos de intersección con el tablero es de 90 m. La flecha del arco en centro de vano es aproximadamente igual a 46.50 m, de modo que la relación flecha/luz es de 1/2 aproximadamente.

El arco tiene directriz parabólica y sección triangular de ancho y canto variables. En el arranque, las dimensiones de la sección del arco son 2,00 m de ancho y 2,00 m de canto. En la sección de clave las dimensiones son de 3,00 m de anchura en la base y 1,50 m de canto.

Esta geometría responde a las necesidades resistentes del puente. En la zona de clave, y para contrarrestar la inestabilidad fuera del plano vertical de su plano del arco, se dota al arco de una mayor inercia de eje vertical. Por otra parte, en la sección de empotramiento en el arranque en la que la flexión longitudinal es más importante se adopta un canto mayor que en la sección de clave.

La vinculación entre el arco y el tablero se materializa mediante péndolas resueltas con cables cerrados de 90 mm de diámetro nominal. Las péndolas están dispuestas en un único plano central, separadas cada 9 m.

El tablero del tramo central se apoya en sus extremos en las pilas extremas de los viaductos de acceso, y en dos pilas intermedias en V. Los brazos de estas pilas en V tienen sección transversal rectangular, de ancho igual al ancho inferior del cajón. Una de las ramas de las pilas en V da continuidad a la directriz del arco en sus arranques, mientras la otra es sensiblemente más vertical y recoge la tracción del tablero.

La cimentación de las pilas en V se resuelve mediante un encepado de dimensiones máximas en planta de 18 x 15 m, con canto variable. La sección del encepado por un plano vertical paralelo al eje de trazado es un trapecio de altura variable entre 1,75 y 4,70 m. El encepado se encuentra apoyado en 18 pilotes de diámetro 1,50 m de y de aproximadamente 30 m de longitud.

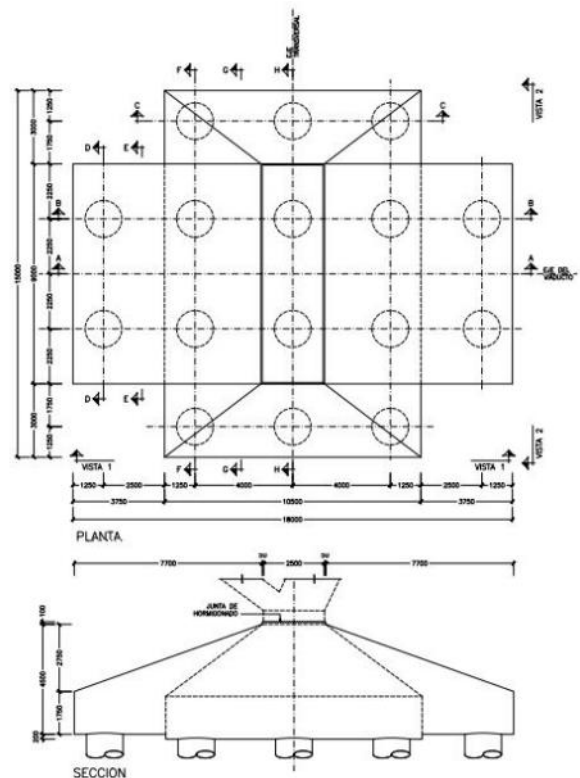


Figura 3. Encepado de pilas en V. Planta (arriba) y sección transversal (abajo)

En los nudos de intersección de las pilas en V con el tablero y el arranque del arco se produce una transmisión de esfuerzos importante entre el arco, el tablero y las ramas de la pila en V.

En las ramas exteriores de la pila en V esta transferencia de esfuerzos del cajón a la pila se ha resuelto mediante la incorporación de una serie de cuchillos verticales bajo las vigas del tablero, 2 bajo cada viga lateral y 4 bajo la viga central. Estos cuchillos se han conectado a sendas placas bases perpendiculares al eje de la pila, tal y como se muestra en la figura 4. Con el fin de transmitir las tracciones al resto de la pila se disponen barras roscadas de 40 mm de diámetro, atornilladas a la placa base. Además, en el interior del cajón se han dispuesto dos diafragmas ciegos, y se ha hormigonado el espacio comprendido entre ellos, para dar continuidad a la sección de la pila, reducir levemente la tracción, y contar con un mecanismo adicional de transferencia de parte de la carga.

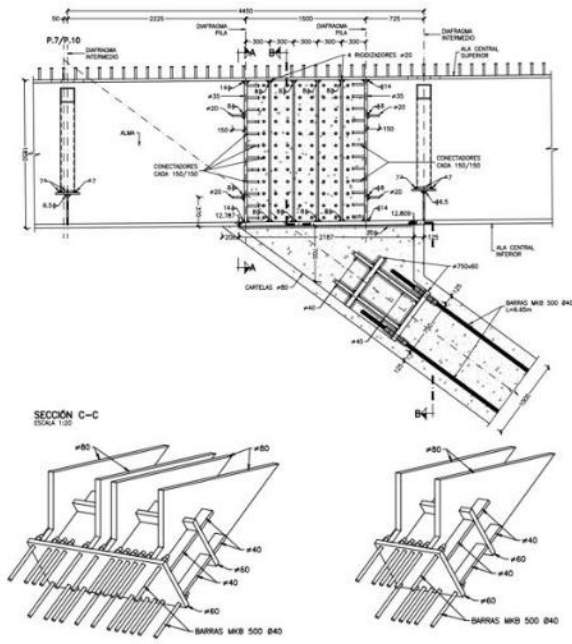
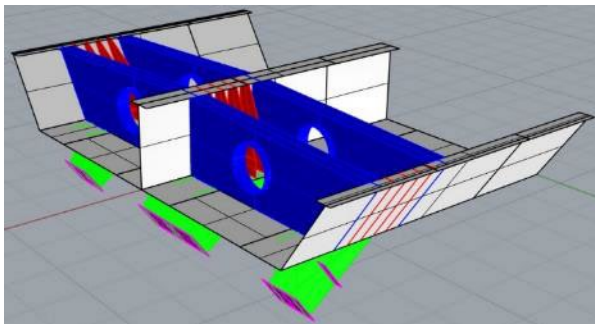


Figura 4. Sistema de conexión pila extrema - tablero.
Vista isométrica y secciones

En el nudo de arranque del arco, el sistema de transferencia de esfuerzos de las vigas laterales del cajón a la pila es semejante al diseñado para las pilas extremas. Es decir, bajo cada viga se disponen dos cuchillos verticales conectados a una placa base perpendicular al eje de la pila. A esta placa base se conectan una serie de barras roscadas que transmiten la tracción existente en los paramentos de la pila a los elementos metálicos conectados al cajón.

La solución diseñada en la zona central consiste en prolongar las chapas laterales del arco dentro del cajón para una transferencia directa de la compresión.

También en este nudo se han plantado dos diafragmas ciegos en el interior del cajón, uno trasero vertical y dispuesto ligeramente desplazado de la intersección del vértice superior del arco con el ala central del cajón, y el otro

levemente inclinado siguiendo el plano de arranque de la chapa de fondo del arco. El espacio comprendido entre ambos diafragmas se ha hormigonado, así como los 2,00 m inferiores del arco, en previsión de eventuales impactos accidentales contra esta zona.

Tanto la prolongación de las chapas laterales del arco como los diafragmas tienen continuidad en el interior de la pila buscando un reparto lo más uniforme posible en la transmisión de la compresión del arco a la pila.

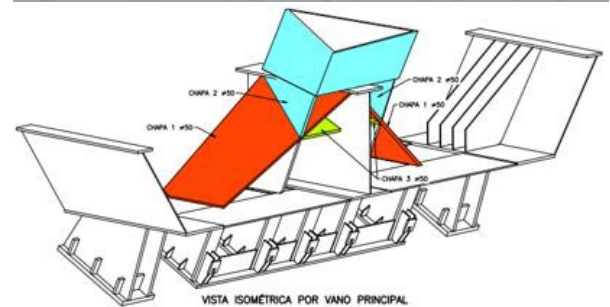
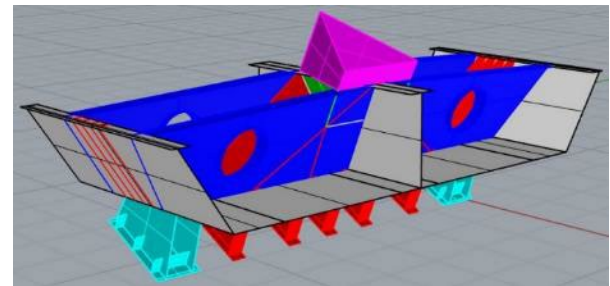


Figura 5. Sistema de conexión pila - tablero - arco.
Vistas isométricas

En ambos nudos se han realizado diversas comprobaciones estructurales:

- Verificación de tensiones transmitidas al hormigón de las pilas
- Dimensionamiento de armaduras en pilas y su conexión a la estructura metálica
- Comprobación de placas base y cuchillos
- Comprobación de diafragmas y rigidización del tablero
- Verificación tensional de elementos metálicos

Las verificaciones anteriores se han realizado empleando, desde simple modelos de bielas y tirantes, hasta modelos de elementos finitos tridimensionales formados por elementos shell.

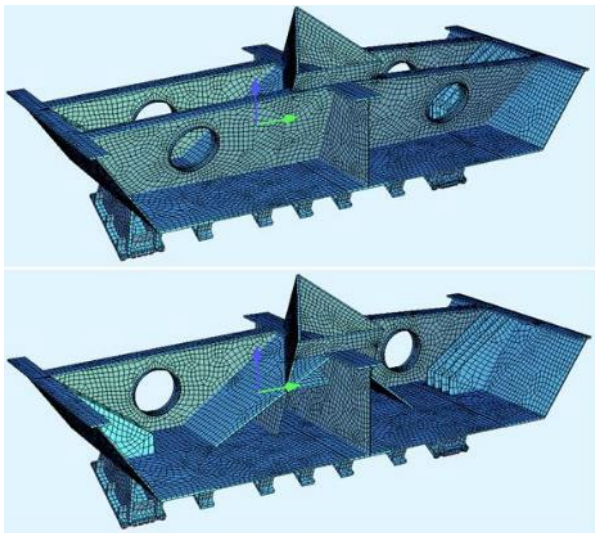


Figura 6. Modelo FEM nudo pila – tablero - arco

3. Construcción del viaducto

El consorcio constructor Saceem – Grinor ha realizado toda la obra civil de hormigón, además de la extensión de colectores, un relleno sobre la bahía para ganar terreno al mar y la mejora de las áreas operativas del puerto. La construcción y el montaje de la estructura metálica del tramo en arco fue adjudicada por el consorcio a Dizmar.

3.1 Viaductos de acceso

Para la ejecución de los viaductos de acceso se optó por el empleo del máximo número de elementos prefabricados para reducir el tiempo de ejecución.

Durante la construcción de los pilotes, encepados y fustes de las pilas se fueron prefabricando a pie de obra las vigas y los voladizos de los dinteles.



Figura 7. Recinto tablestacado para encepado

Para ejecutar las cimentaciones se crearon recintos estancos y secos de tablestacas.

Las rampas de acceso se construyeron con muros perimetrales de hormigón armado y un relleno interior de material granular.

Los dinteles de las pilas están divididos en dos tipologías según el trazado en planta del viaducto. En los tramos rectos, el espesor del alma del dintel es constante y los voladizos son prefabricados. Únicamente se hormigonó in situ el núcleo central del voladizo y el tramo de dintel sobre el fuste.



Figura 8. Montaje de tramos prefabricados de dintel

Por otro lado, los dinteles donde se producen los quiebros del trazado se proyectaron con un espesor de alma variable que permitió que todas las vigas tuvieran la misma longitud.



Figura 9. Dinteles en tramos curvos

Estos últimos dinteles se hormigonaron in situ debido a las irregularidades geométricas de los mismos.

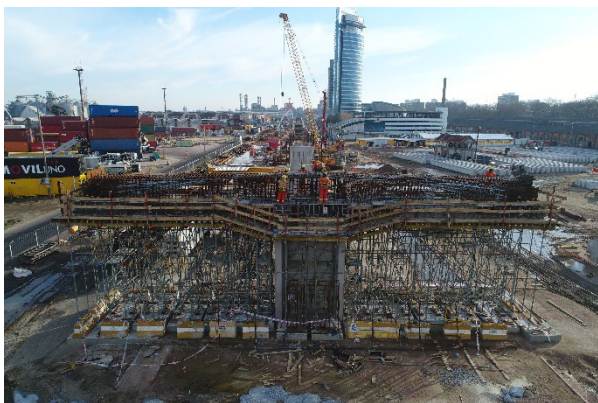


Figura 10. Ferrallado de dintel

Los dinteles fueron postesados en su dirección longitudinal debido a la potente luz de los voladizos.

Tras el postesado se procedió a colocar las vigas prefabricadas que previamente habían sido ejecutadas y acopiadas a pie de obra.



Figura 11. Colocación de vigas prefabricadas

La construcción de los viaductos de acceso concluyó tras el hormigonado de la losa sobre prelosas colaborantes.

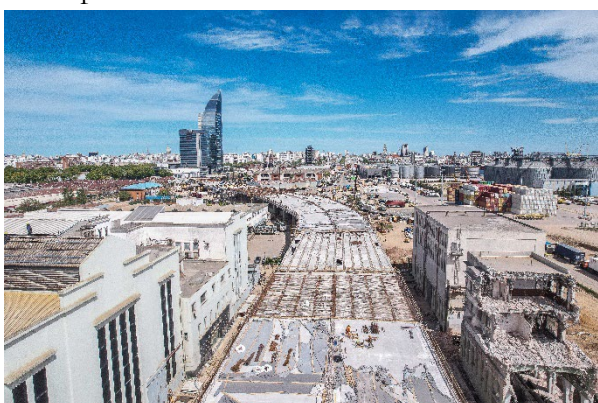


Figura 12. Hormigonado de losa

3.2 Pilas en V

La construcción de las pilas en V se realizó en varias fases debido a la alta complejidad de la zona a ejecutar dadas las altas cuantías de armadura y a la conexión entre el hormigón y la parte metálica del tablero.

En una primera fase se ejecutaron los pilotes y el encepado sobre un recinto estanco de tablestacas.

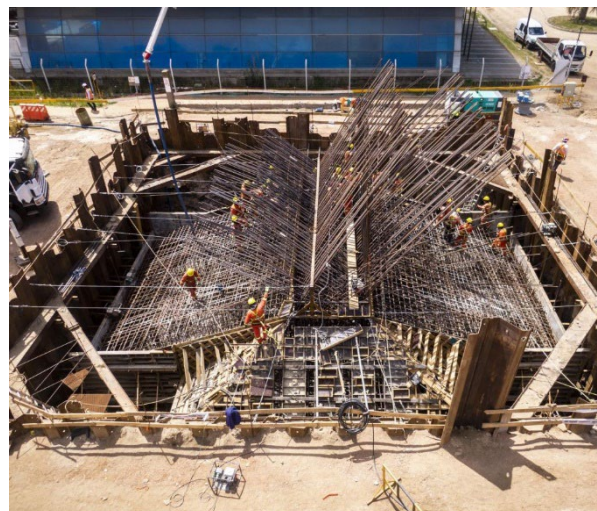


Figura 13. Armadura del encepado de la pila en V

Tras el hormigonado del encepado, relleno del volumen excavado restante y retirada de las tablestacas se procedió al ferrallado completo de las dos palas de la V.

En una tercera fase se hormigonó únicamente la parte inferior de las palas. Los cuchillos para la transferencia de cargas del tablero a las pilas estaban soldados al tablero y en su posición final se encontraban dentro de las pilas. También era necesario enhebrar las barras de armado de las pilas que se conectaban a las placas base de los cuchillos, tras su colocación en la posición definitiva. Estos hechos requirieron que el hormigonado de la parte superior de los fustes se realizase tras la colocación del tablero en su posición definitiva.

3.3 Fabricación de la estructura metálica

La parte metálica del puente fue fabricada en los talleres de Dizmar, en Porriño, transportada por carretera hasta el puerto de Vigo y desde allí en dos buques hasta el puerto de Montevideo, en un viaje de 20 días.



Figura 14. Cuchillo de conexión tablero - pila



Figura 15. Montaje de diafragmas de pilas en taller

Durante la fabricación y el transporte, el núcleo del tablero se dividió en cinco partes y el arco en cuatro tramos.

Los jabalcones y las vigas de borde se ensamblaron en tramos de no más de 4 jabalcones, con sus correspondientes vigas de borde, y se transportaron de forma independiente al tablero dadas las limitaciones de ancho del transporte por carretera.



Figura 16. Carga del tablero al buque en el puerto de Vigo

3.4 Montaje de la parte metálica

El montaje de la parte metálica comenzó con la instalación de los dos tramos de tablero extremos, de 39 m de longitud, apoyados en los estribos del viaducto de acceso y en sendas bancadas. También se colocó una línea de apeos sobre la parte hormigonada de las pilas en V.



Figura 17. Tramos de montaje

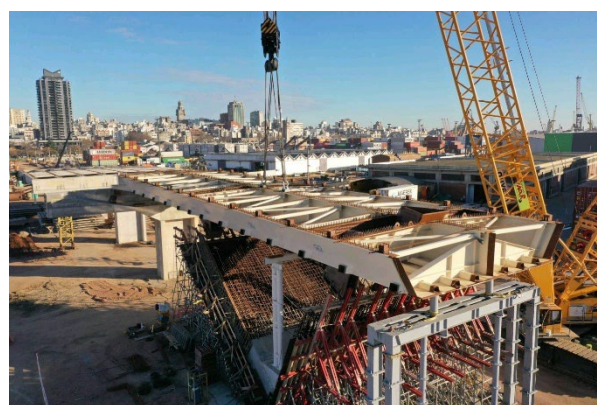


Figura 18. Colocación del tramo de tablero extremo

Los tres tramos restantes se instalaron apoyados en los tramos extremos y en dos bancadas adicionales. Las longitudes de estos tramos eran algo menores que las de los tramos extremos y del orden de 30 m.

Las cuatro bancadas tenían incorporadas sobre su dintel superior un par de gatos hidráulicos que permitía corregir cualquier desvío vertical de la rasante del tablero.

Una vez colocados los cinco tramos del núcleo del tablero se instalaron los jabalcones y las vigas de borde. Los jabalcones se soldaron a los muñones existentes en el tablero y se sujetaron con barras pretensadas provisionales que conectaban la viga de borde con el ala superior del tablero.



Figura 19. Montaje del tablero completado

Tras ello, se hormigonó la parte superior de los alzados de las pilas y los diafragmas de las pilas.

El montaje del arco se realizó en tres fases, dos correspondientes a cada uno de los arranques y la última para colocar la clave. Los tramos de arco se dividieron en longitudes similares, 46 m para los arranques y 48 m para el tramo de clave.



Figura 20. Montaje del arranque del arco

En los tramos de arranque del arco se dispuso un apeo durante todo el proceso de montaje.

Las uniones entre los tramos de arranques y la clave se ejecutaron de forma parcial para poder liberar las grúas en el menor plazo de tiempo posible dado que el viento limitaba la capacidad de trabajo de la grúa durante determinadas horas del día. Las soldaduras entre arranques y arco se remataron en días posteriores y, una vez finalizadas, se retiraron las torres de apeo de los arranques.



Figura 21. Montaje de la clave del arco

3.5 Péndolas

Tras el cierre del arco se instalaron las péndolas. El tesado de las péndolas se realizó mediante el apriete de barras pretensadas que, en su extremo superior reaccionan contra una orejeta que va conectada al terminal de la péndola mediante un bulón. El extremo inferior va solidarizado al cajón metálico mediante un sistema de chapas y cartelas que transmiten la carga de la péndola al alma central del cajón.

A continuación se muestra un detalle de la conexión entre el terminal inferior de la péndola y el tablero.

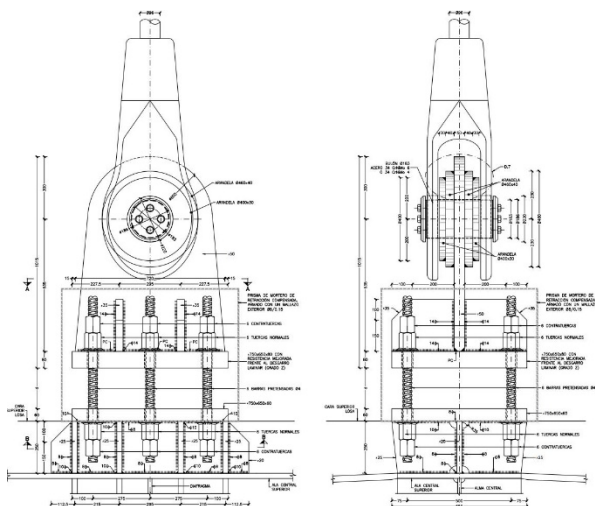


Figura 22. Detalle de conexión péndola - tablero

El espacio existente entre las bases de anclaje del terminal y del tablero era diferente para cada péndola y dependía del alargamiento previsto de la péndola durante el tesado y los desplazamientos del tablero y del arco.

El tesado de las péndolas se realizó en 5 fases, comenzando por la péndola de centro de vano. En la siguiente fase, se tesaron las dos péndolas adyacentes a la central y se retesó la central. El proceso se repitió hasta la quinta y última fase, donde se tesaron las péndolas extremas y se retesaron las restantes hasta el 100% de la fuerza de tesado.



Figura 23. Arco tras el tesado de péndolas

Tras verificar que la rasante del tablero se ajustaba a los valores teóricos esperados, se

rellenó el espacio entre las bases de anclaje del terminal y el tablero con chapas en forma de peine y de espesores variables.

3.6 Losa superior

Sobre el tablero metálico terminado se dispusieron prelosas colaborantes apoyadas transversalmente sobre las tres almas del tablero y las dos vigas de borde.



Figura 24. Instalación de última prelosa en el tramo del arco

La losa del tablero se ha hormigonado por fases sobre las prelosas. En primer lugar, se hormigonó el tramo central de la losa, sobre el cajón metálico. Una vez endurecido en tramo central, se hormigonaron los tramos laterales entre las almas exteriores y el borde del tablero.



Figura 25. Losa totalmente hormigonada



Figura 26. Vista general aérea de la obra terminada

Referencias

- [1] Romo J., Corres H. A new composite arch bridge in Alzira (Valencia). Nordic Steel Construction Conference 95. Malmö.
- [2] Romo J. Puente sobre el río Guadalquivir en Montoro (Córdoba). V Congreso Internacional de Estructuras de Ache. Asociación Científico-Técnica de Hormigón Estructural, ACHE. Pp.715-716. ISBN: 978-84-89670-73-0. Barcelona 25-27 de octubre de 2011.