

III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

LAS ESTRUCTURAS DEL SIGLO XXI
Sostenibilidad, innovación y retos del futuro



Realizaciones



PUENTE SOBRE EL RÍO GUADALQUIVIR EN LA RONDA OESTE DE CÓRDOBA

Javier **MANTEROLA ARMISÉN**¹, Antonio **MARTÍNEZ CUTILLAS**²
Javier **MUÑOZ-ROJAS FERNÁNDEZ**³

¹ Dr. Ing. Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado. S.L.

² Dr. Ing. Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado. S.L.

³ Ing. Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado, S.L.

RESUMEN

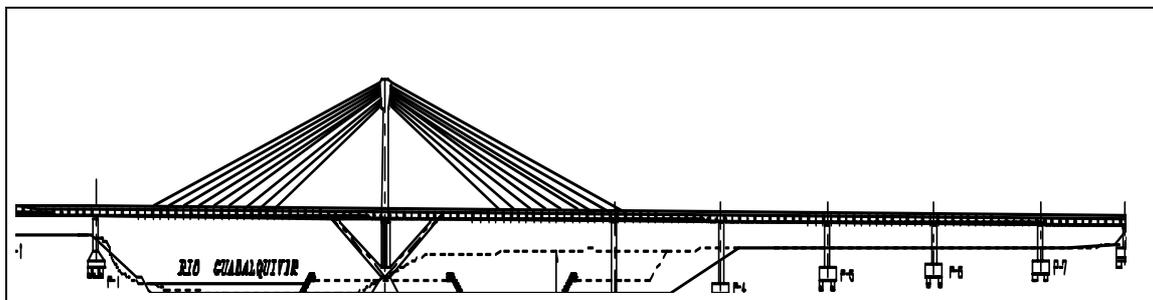
El puente de Andalucía se inscribe en un tramo de autovía dentro de la Ronda Oeste de Córdoba de unos dos kilómetros. Tiene dos calzadas con tres carriles cada una que comienza en la avenida de Cádiz y termina en la carretera del Aeropuerto cruzando el río Guadalquivir junto al polígono de la Torrecilla.

PALABRAS CLAVE

Puente extradadosado, cajón tricelular de hormigón pretensado, costillas laterales pretensadas.

1. DESCRIPCIÓN

La obra está gestionada por la empresa pública GIASA. Se comenzó la construcción de la Ronda Oeste en febrero de 2001, siendo la empresa constructora encargada de las mismas OHL, y formando parte de la asistencia técnica, Ayesa y Carlos Fernández Casado, S.L., bajo la dirección de Jesús Bobo, Giasa. El proyecto de la Ronda ha sido realizado por Sener.



El puente tiene una longitud total de 444 metros divididos en 8 vanos de luces $39+114+90+42+42+42+42+33$; los vanos 2 y 3 se corresponden con el cauce principal del río Guadalquivir. La sección transversal está formada por un cajón central tricelular de 10 metros de ancho y 2,5 metros de canto de hormigón pretensado. A este cajón se le adosan vuelos laterales conectados mediante pretensado transversal, conformando una sección con un ancho total de 29,50 metros. Para salvar las luces de 114 y 90 metros el cajón es insuficiente, por lo que se atiranta desde un pilono central mediante 9 tirantes anclados a la célula central de cajón en ambos vanos y que pasan sobre una silla situada en la

cabeza de la pila. Se ha diseñado una pila central de relativa poca altura y por lo tanto los tirantes actúan como un pretensado extradorsal sin modificar sensiblemente sus esfuerzos ante la acción de las sobrecargas.



2.- PLANTEAMIENTO GENERAL

El cruce del río Guadalquivir se ha resuelto con una solución novedosa tanto desde el punto de vista estructural como formal.

Se trata de un atirantamiento extradorsal, con una propiedad especial. Normalmente la altura de la torre, para controlar el valor de la oscilación de las tensiones en los tirantes, es del orden de 1/10 de la luz, la mitad que en un puente atirantado normal. Esto supone una cantidad considerable de tirantes para soportar la carga del dintel.

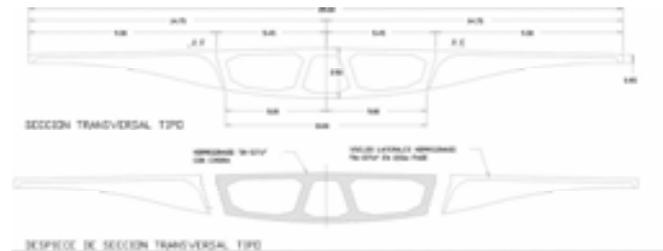
La adición de las dos pilas inclinadas que salen de la base de la pila principal introduce rigidez en el dintel, lo que permite levantar la altura de los tirantes sin que la oscilación de las tensiones en los mismos aumente. Así se reduce la cuantía de tirantes. Formalmente funciona bien, desde los extremos de la pila central salen dos tipos de soportes inclinados, unos rígidos, a compresión y otros flexibles, a tracción.

3.- DESCRIPCIÓN DEL PUENTE

3.1. Tablero

El puente está formado por un tablero continuo de hormigón pretensado con un canto constante de 2.50 m. y luces 39.00 + 114.00 + 90.00 + 4x42.00 + 33.00 m. En planta el puente se encuentra en un tramo con un trazado circular de

radio 10000 m en su mayor parte enlazando con una rama de clotoide en un tramo de 91.4 m desde el lado del estribo 1. En alzado presenta una pendiente constante del 0.5% hacia el estribo 2 (margen derecha). Transversalmente presenta bombeo a los dos lados de valor constante 2%. Se ha estudiado en todo el tablero la disposición de los pasos de hombre en los diafragmas, riostras sobre pilas y la prolongación de los puntales para que todo el tablero sea visitable para su inspección y conservación. El acceso al tablero se realiza por unos registros dispuestos en la losa inferior próxima a los dos estribos.

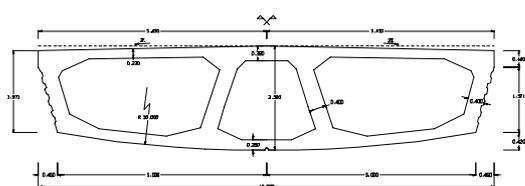


La sección transversal tiene un ancho total de 29.50 m, para incluir dos calzadas de 3 carriles de 3,50 m de ancho, arcenes exteriores de 1,00 m e interiores de 0,70 m, aceras en los laterales de 1,75 m y una mediana central de 1.60 m donde se colocan los tirantes en los tramos centrales. Se remata en los bordes con una imposta de hormigón donde se anclan defensas metálicas. En la mediana se coloca otra defensa metálica que sirve igualmente de protección de los tirantes realizada con tubos y perfiles sobre un bastidor de hormigón.

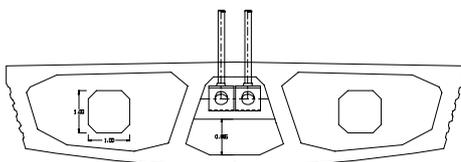
La sección está formada por un cajón tricelular como núcleo resistente central y costillas laterales para formar los vuelos. El hormigón empleado en ambos elementos es HA-50.

3.2. Cajón central

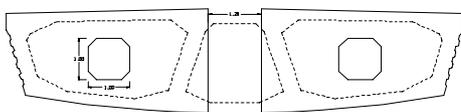
La anchura superior del núcleo central es de 10,90 m con espesores de losa constante en la zona central de los núcleos extremos de 0,20 m y de 0,36 en la zona central entre almas interiores. El canto en el eje es de 2,50 m variando hacia los extremos por el peralte de la losa superior y por el perfil de la losa inferior que es circular de 30 m de radio. La anchura inferior es de 10,00 m y el canto en los extremos de 1,97 m. Su espesor es constante de 0,26 m salvo en la zona de empotramiento con los puntales donde se recrece. Las almas son de 0,40 m de espesor excepto en las secciones de apoyos que se aumentan hasta 0,60 m y en las juntas de construcción hasta 0,55 m para colocar los anclajes de pretensado. Las almas interiores están inclinadas unos 18° hacia el eje dejando entre ellas un hueco necesario para los cajetines de los anclajes de los tirantes. Las almas exteriores se inclinan 16° hacia el exterior donde quedan ocultas por los vuelos laterales ejecutados en segunda fase.



SECCION TRANSVERSAL TIPO



SECCION TRANSVERSAL POR ANCLAJES DE TIRANTES



SECCION TRANSVERSAL POR PASO DE TIRANTE

El pretensado longitudinal está compuesto por unidades de 24-0.6" y de 19-0.6" del tipo Y1860 S7, siendo todo interior y adherente. En los vanos de acceso el trazado es ondulado con excentricidades máximas en centro de vano y pila como es habitual en una construcción vano a vano. Las juntas se colocan a cuartos de la luz disponiendo anclajes de continuidad. Únicamente en el vano 1, que presenta una luz mayor, se han colocado unos cables adicionales

tesados desde cajetines dada la falta de espacio para anclarlos en el final de la fase. Todo el pretensado de estas zonas se introduce durante la construcción del núcleo central.

En las zonas del vano central atirantado coexiste un pretensado de proceso y un pretensado de segunda fase introducido cuando la sección se ha completado con los vuelos y se han puesto en carga los tirantes. Este

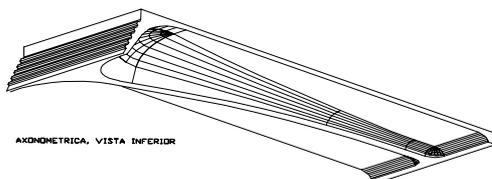
pretensado que denominamos de servicio se ancla en cajetines distribuidos en el interior de la sección. Aunque la construcción se realiza vano a vano como en los accesos, las oscilaciones de esfuerzos durante las distintas fases provisionales hasta la puesta en carga de tirantes y antes de tesar los cables

de servicio son grandes, por lo que el pretensado de proceso se realiza con cables rectos superiores e inferiores que aportan una compresión prácticamente centrada. A este pretensado se le añade posteriormente el de servicio colocado casi todo en la losa inferior, pero cuya efectividad se ve reducida en gran parte por el hiperestatismo que provoca el sistema de atirantamiento. En la zona de puntales el pretensado de servicio se coloca en la losa superior.



En las secciones sobre pilas y puntales, así como en las de los anclajes de los tirantes se sitúan riostras provistas de pasos de hombre. Fig. 5. El espesor en pilas es de 2,0 m y en tirantes de 0,70 m. Todas las riostras se pretensan con cables transversales de unidades de 9-0.6" y 12-0.6".

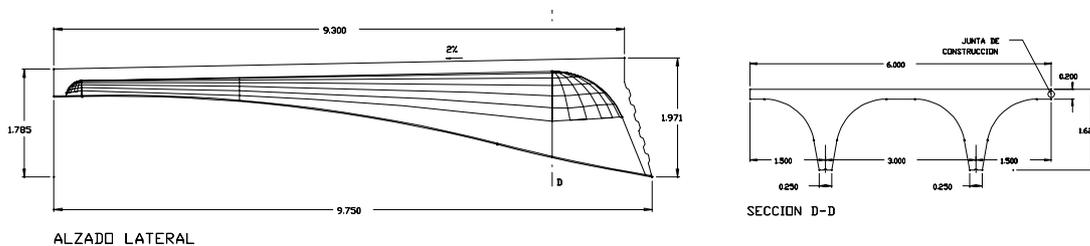
3.3. Vuelos laterales



La sección se completa con unos voladizos laterales de 9.30 m de anchura con forma de artesa invertida con curvas suaves. La geometría se crea con costillas curvas de canto y espesor variable que se enlazan longitudinalmente en la unión con el núcleo central para buscar un efecto de un volumen extrusionado más que de elementos independientes colocados perpendiculares al cajón. Los ejes de las costillas se

separan cada 3,0 m entre las cuales se coloca una losa de espesor 0,20 m. En la zona de estribos se macizan. En cada eje de costilla, rompiendo la alineación longitudinal del cajón central, se marca un berengeno que recorre transversalmente toda la sección.

Cada costilla se pretensa transversalmente con 2 cables de $9 \text{ } \varnothing 0,6$ que van de extremo a extremo. En el proyecto inicial al emplearse piezas prefabricadas era necesario disponer dos juegos de cables de pretensado independientes para cada lado y había que cruzarlos en el núcleo central. Con el cambio propuesto al ir de lado a lado no son necesarios los anclajes intermedios. La unión de las paredes de las costillas con el núcleo central se refuerza con llaves de cortante en forma de denteado.



3.4. Tirantes

El sistema de atirantamiento elegido corresponde a lo que se denomina “pretensado extradorsal”, sistema estructural intermedio entre el puente atirantado y el puente con pretensado exterior. Esto se consigue conjugando una altura de torre más reducida que en los puentes atirantados, lo que produce una menor inclinación de los tirantes, y una adecuada rigidez del tablero. Ésta debe ser mayor que la de un tablero atirantado debido a que la oscilación de esfuerzos se incrementa por la pérdida de eficacia del sistema de atirantamiento. La ventaja del sistema radica precisamente en esto último, dado que frente a las sobrecargas de uso el atirantamiento resulta poco efectivo, resistiéndose éstas principalmente por flexión del tablero. Los cables no sufren aumentos de carga importantes y por tanto la amplitud de la oscilación de ésta que determina su resistencia a fatiga es baja. De esta forma se evitan los problemas provocados por este fenómeno, tan penalizante en los cables y los anclajes de los puentes atirantados. Esto permite por un lado aumentar las cargas iniciales y máximas en los cordones de pretensado que constituyen los tirantes con respecto a las de los puentes atirantados (0,45 fu) y emplear

anclajes más sencillos como pueden ser los empleados en pretensado exterior, notablemente más económicos y menos voluminosos que los de tirantes. El anclaje y tesado de los cables puede realizarse desde la parte inferior, en el tablero, y el paso por la cabeza de la torre se puede realizar de forma continua sin anclarlos por medio de tubos desviadores con radios de curvatura adecuados para pretensado exterior, reduciendo de esta forma la dimensión de este elemento.

En este proyecto el sistema de atirantamiento consta de 9 tirantes dobles anclados en la mediana cada 6,0 m. Están formados por cables de pretensado con un número de cordones que varía desde 40 hasta 27 de 0,6" en los tirantes 1 y 9 respectivamente. Se anclan en el interior del tablero en el eje de la sección en cajetines colocados en el borde superior.

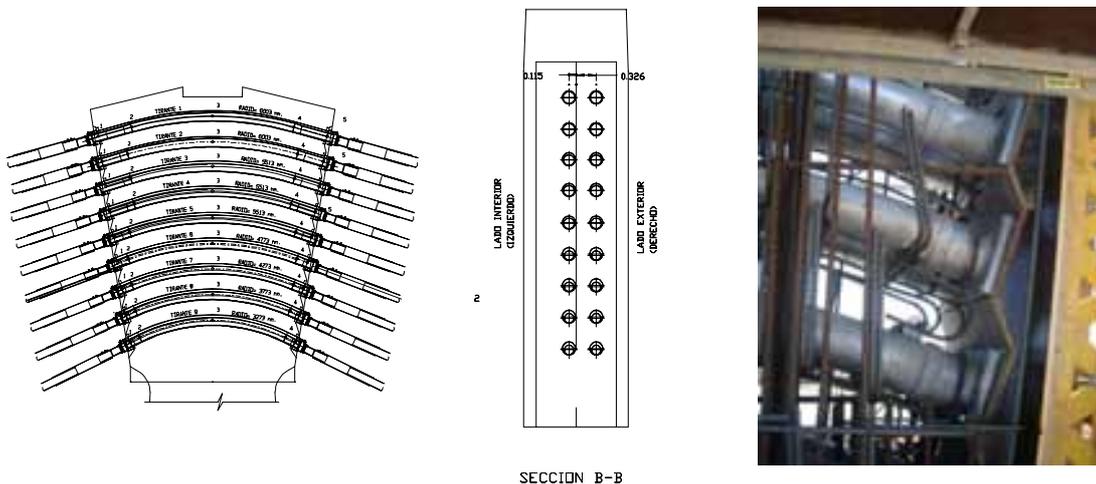
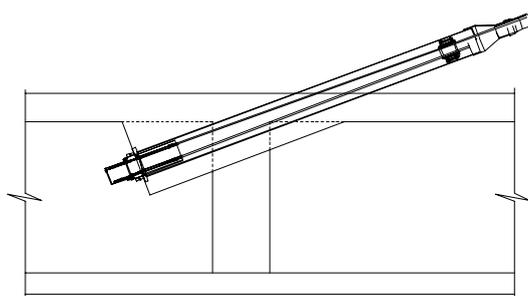
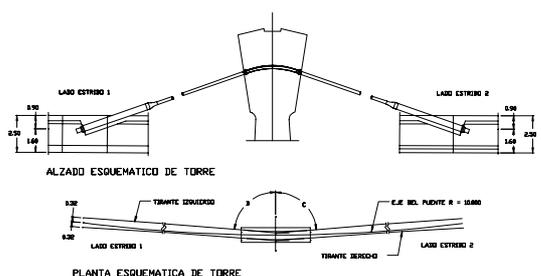


Fig. 9

El paso por la torre, se resuelve con tubos desviadores de acero con radios de curvatura entre 3,5 m y 6,0 m. Los cordones están autoprottegidos con cera y encapsulados en polietileno de alta densidad, dentro de vainas de polietileno. Al llegar a la torre la vaina se conecta con un primer tubo de acero por medio de una abrazadera. Este tubo convenientemente doblado, se introduce en el tubo colocado dentro del hormigón de la torre que hace función de silla desviadora de los cables. La protección individual de los cordones en su paso por este tubo se retira y se garantiza con una inyección de mortero de cemento que sirve igualmente para transmitir por

adherencia las cargas descompensadas entre tirantes que deben ser recogidas por la torre. Como estas cargas son muy bajas la adherencia acero-lechada es suficiente para recogerla. El deslizamiento relativo de ambos tubos se evita por el rozamiento entre ellos pero por seguridad se han colocado chapas en los extremos a modo de tope. Estas chapas estaba previsto soldarlas con cordones en ángulo a ambos tubos pero a propuesta de la casa suministradora de tirantes, VSL-CTT, se adoptó un detalle empleada en el puente de Pakse en Laos con elementos roscados.



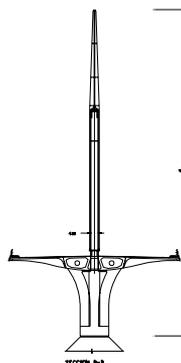
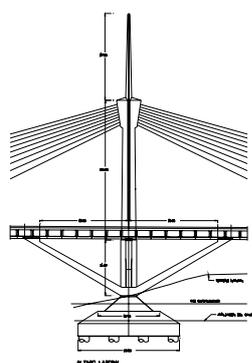
el tiempo. Las cargas máximas en servicio no superan el 65% de la carga de rotura.

3.4. Torre de atirantamiento

La torre principal tiene una altura total desde el plinto de la cimentación de 40.2 m. La sección es rectangular. Por encima del tablero tiene una anchura

El tesado de los cables se realiza desde el interior del tablero. En las secciones de anclaje de los tirantes se dispone un diafragma de 0,70 m de espesor para la transmisión adecuada de las cargas a las almas. Aunque en proyecto estaba previsto el empleo anclajes normales de pretensado, finalmente a propuesta de la citada casa suministradora se han empleado anclajes de tirantes de la serie SSI-2000. La carga inicial de los tirantes se ha determinado equilibrando una fracción del 85% de la carga permanente haciéndolos trabajar a un 58% de su carga de rotura. Al realizarse esta elección, por consideraciones exclusivamente estáticas, fue necesario estudiar la redistribución de los esfuerzos por fluencia con un cálculo paso a paso en

constante de 1.30 m, y por debajo de éste tiene un ensanchamiento para el alojamiento de los aparatos de apoyo, prolongándose hasta la base con una sección octogonal. En la sección por la torre se realiza una apertura en el tablero para que ésta pueda pasar. Longitudinalmente las dimensiones varían desde 3.20 m en la base hasta 2.20 m en la parte inferior de la cabeza. La cabeza de la misma se ensancha longitudinalmente para el alojamiento de los tubos desviadores. La posición de los tubos en la cabeza de la torre está ligeramente descentrada para contrarrestar el empuje transversal que generan los tirantes por el trazado en planta curvo del puente. Debido a las pequeñas dimensiones de este elemento minimizadas para evitar una excesiva ocupación de la plataforma los niveles de tensiones son elevados y eso ha llevado a emplear hormigón HA-50 en su arranque y HA-60 en la parte superior.



Los puntales inclinados que limitan la luz del vano atirantado en 19 m a cada lado de la torre tienen una anchura variable desde 9.50 m en su empotramiento con el tablero hasta 5.00 m en

el plinto de cimentación. El espesor es variable de 1.00 hasta 1.50 m

El plinto tiene una forma troncopiramidal de 3,0 m de altura que permite una adecuada transición de la base de la torre y los puntales hasta la cimentación, con independencia del nivel del terreno o del río.

La cimentación está formada por un encepado cuadrado de 20,50 m de lado y un canto máximo de 5,0 m sobre 16 pilotes de 2,0 m de diámetro.

3.6. Pilas y estribos

Las pilas tienen una anchura variable desde 10,00 hasta 5,60 m en una altura de 6.50 m desde la cabeza. A partir de dicha distancia la anchura permanece constante. El espesor de las mismas es constante de 2.0 m. Para prever la futura ampliación del cauce, las pilas 3 y 4 se construirán con la altura correspondiente a dicha situación. Las alturas oscilan desde 6.50 hasta 16.67

m. Todas las pilas están cimentadas con pilotes de 1.50 m de diámetro. La pila 1 tiene 8 pilotes y el resto de las pilas 6.

Los estribos están formados por un muro frontal y 2 aletas. El muro tiene 1,20 m de espesor y una anchura de 31,27 m en el estribo 1 y 29,50 m en el estribo 2 y alturas respectivas 5,90 m y 6,84 m. Las aletas tienen una longitud de 5,0 m. Los muros van cimentados sobre un encepado de 18,00 m por 6,50 m y 6 pilotes de 1,50 m.

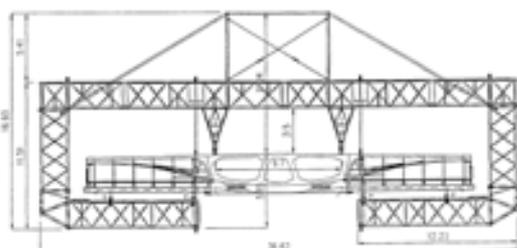
Los apoyos son de neopreno-teflón en caja, tanto libres como guiados, para cargas desde 1000 T en el estribo E2 hasta 2400 T en la pila P1.

Las juntas de dilatación están dimensionadas para unos movimientos máximos de 130 y 250 mm en los estribos 1 y 2 respectivamente.

4. CONSTRUCCIÓN

La construcción de la sección transversal tiene una secuencia con una primera fase de ejecución del cajón central y una segunda en la que se le adosan los vuelos laterales.

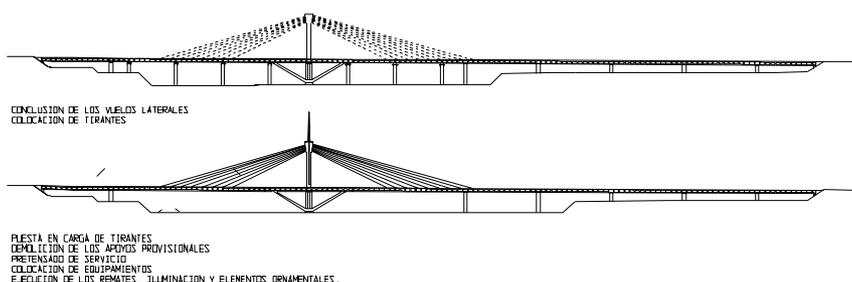
Longitudinalmente la ejecución del cajón central se ha realiza in-situ vano a vano. En los tramos de acceso fuera del cauce del río se realiza con cimbra apoyada en el suelo. El tramo sobre el río, con los dos vanos atirantados, se realiza igualmente in-situ sobre cimbra pero de dos formas distintas. El tramo situado junto a la torre de atirantamiento se realiza como el de los accesos con cimbra apoyada en una península provisional desde la que se realizan la cimentación y la torre y el tramo sobre el río con la ayuda de cimbra autoportante y pilas provisionales intermedias cada 27 m. Las pilas provisionales se cimentan con pilotes en el cauce actual del río o sobre la



ampliación del mismo que se ha llevado a cabo simultáneamente. Una vez desapeada la estructura se procederá a demoler estos elementos auxiliares. Los tirantes se colocan una vez realizados los vuelos laterales y sirven para levantar parcialmente la estructura de sus apoyos provisionales, aunque se ha dejado previsto que sea necesario el empleo de gatos auxiliares.

Una vez realizado el núcleo central la sección se completa con los vuelos laterales realizados con la ayuda de un carro especial para la sujeción de los moldes que permite desplazar los encofrados apoyándose sobre el núcleo construido. La ejecución de estos vuelos se decala convenientemente con las del núcleo central dejando al menos un vano intermedio entre el frente de uno y el inicio del otro.

Una vez concluida la sección transversal de los tramos atirantados se colocan los tirantes y se ponen en carga de forma simétrica hasta conseguir las cargas teóricas. Posteriormente se retiran los apoyos provisionales, demoliéndose las estructuras auxiliares.



El plazo de construcción previsto era de 18 meses. Las secuencias de construcción del tablero se han ido modificando con respecto a lo inicialmente previsto durante la ejecución para intentar reducir el plazo. De forma resumida las fases de construcción han sido las siguientes:

- Construcción de las cimentaciones, estribos, pilas definitivas, pilas provisionales y torre.

- Construcción por fases del núcleo central del tablero desde los estribos. Esta construcción se inicia casi simultáneamente desde ambos extremos avanzando hacia la torre.
- Construcción de los tramos atirantados sobre cimbra autoportante.
- Construcción del vano de la torre dejando un hueco en la zona ocupada por el puntal que se hormigona conjuntamente con éste. Cierre del vano de la torre contra los vanos contiguos sobre cimbra autoportante.
- Construcción de los puntales de la torre y hormigonado de riostras del tablero comunes.
- Simultáneamente con la construcción del núcleo central y con un decalaje de un vano se empieza la construcción de los vuelos desde el estribo-2. Una vez llegado a la pila 4 se desmonta el carro y se traslada al estribo 1 para avanzar la construcción hacia los tramos atirantados.



- Montaje de los tirantes y puesta en carga de los mismos una vez contruidos los vuelos del vano atirantado.
- Desapeo y demolición de las pilas y cimientos provisionales.
- Terminaciones y acabados.