

II CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

Realizaciones, Puentes.



Nuevo Puente Juan Pablo Duarte sobre el Río Ozama, en Santo Domingo

Tirantes BBR Cona Stay

José Manuel Illescas Villa

Roberto Sánchez de Pablo Muela

1.- RESUMEN

Se trata de un puente de hormigón de 648 m de longitud, cuyo tramo principal de 346,9 m es atirantado. El ancho del tablero es de 33,55 m en el tramo principal y 30 m en los viaductos de acceso. El puente principal cuenta con un vano central de 180 m de luz. Las torres son tipo H, disponiéndose los tirantes en 8 haces de 6 tirantes dobles.

La obra, proyectada por la oficina CARLOS FERNANDEZ CASADO, ha sido ejecutada por un consorcio formado por las empresas FCC CONSTRUCCION, DRAGADOS y COCIMAR. En cuanto a los tirantes, se ha utilizado el nuevo sistema BBR Cona Stay.

El puente fue inaugurado en diciembre de 2001.

2.- ANTECEDENTES

La ciudad de Santo Domingo está ubicada en la desembocadura del río Ozama. Si bien inicialmente el núcleo urbano se desarrolló alrededor del puerto natural, en la margen derecha del río, el desarrollo posterior extendió también la ciudad hacia la margen izquierda. Por ello, en los años 50 se construyó el puente Juan Pablo Duarte, convirtiéndose en la principal vía de comunicación entre ambas orillas. Se trata de un puente colgante que dispone de 4 carriles de tráfico viario.

La gran cantidad de tráfico que soportaba la vía a la que daba servicio dicho puente, ha hecho necesaria una actuación que incrementara su capacidad. Para ello, la Secretaría de Obras Públicas y Comunicaciones de la República Dominicana decidió realizar un desdoblamiento, construyendo, aguas arriba, un nuevo puente con una plataforma más ancha (6 carriles). El proyecto fue encargado a la oficina CARLOS FERNANDEZ CASADO y la ejecución fue adjudicada al consorcio FCC CONSTRUCCION – DRAGADOS – COCIMAR. El puente fue inaugurado en diciembre de 2001.

El nuevo puente se sitúa junto al antiguo con una separación entre bordes de 15,85 m. Dada esta proximidad, el proyectista optó por una solución que mantuviera una relación de homogeneidad con el puente existente. En concreto optó por un puente atirantado de torres rebajadas cuya silueta coincide sensiblemente con la del puente colgante. Esta solución, por otra parte, es técnicamente adecuada para una luz de 180 m.

Este puente atirantado de torres rebajadas requiere un tablero más rígido que el de un puente atirantado normal, ya que la inclinación de los tirantes hace disminuir su eficacia.



Ilustración 1.- Maqueta del puente principal

3.- DESCRIPCION DEL PUENTE

El puente está formado por dos viaductos de acceso y un tramo principal atirantado. La longitud total es de 648 m, siendo su ancho 30 m (33,55 m en la zona atirantada)

3.1.- Viaductos de Acceso

Los dos viaductos de acceso, de 233 m y 68,20 m de longitud, se resuelven mediante tramos isostáticos realizados con vigas prefabricadas de 25m de luz. Su ancho es de 30 m.

3.2.- Puente Principal

El tramo atirantado tiene una longitud total de 346,9 m con un vano central de 180 m de luz. El ancho es de 33,55 m, lo que permite, descontando el espacio necesario para anclar los tirantes, disponer de un ancho útil de 30 m. La sección transversal está compuesta por

dos vigas cajón situadas en los bordes del tablero, unidas por vigas transversales de sección trapecial y por la losa superior.

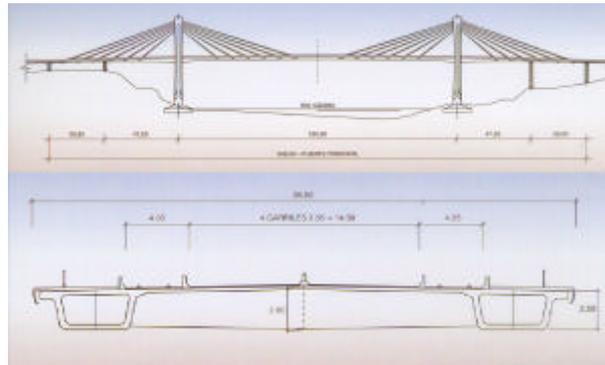


Ilustración 2.- Dimensiones puente principal

Las torres, tipo H, tienen una sección en forma de cruz con canto variable en las dos direcciones, disponiéndose los tirantes en 8 haces de 6 tirantes dobles.

4.- PROCESO CONSTRUCTIVO

En resumen, el proceso constructivo ha consistido en lo siguiente: en una primera fase se han construido las torres de atirantado y los vanos laterales, estos últimos mediante cimbrado al suelo. Posteriormente se ha construido el vano central mediante carros de avance en voladizo. Los tirantes, anclados cada dos dovelas de 5 m, eran instalados y tesados con una dovela de desfase respecto al frente de avance.



Ilustración 3.- Construcción del vano central

5.- TIRANTES

El sistema de tirantes elegido para el puente principal fue el BBR Cona Stay, cuyas características generales, así como las particulares en su aplicación a esta estructura, se resumen a continuación.

5.1.- El Sistema de Tirantes BBR Cona Stay

En los últimos años BBR ha desarrollado, en adición a sus tradicionales sistemas de tirantes HIAM y DINA, el nuevo sistema Cona Stay. Mientras que los primeros son especialmente adecuados para realizar su completa fabricación en taller y, posteriormente, ser instalados en obra, el sistema BBR Cona Stay está pensado para una instalación en obra cordón a cordón con medios de elevación ligeros.

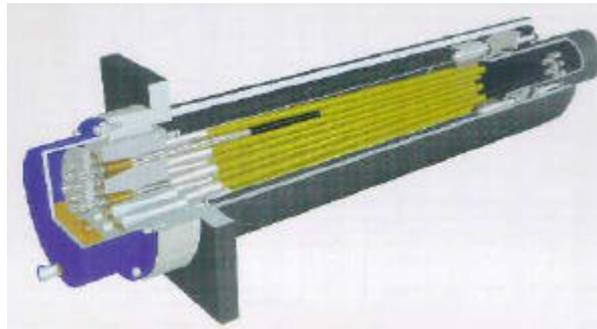


Ilustración 4.- Anclaje BBR Cona Stay

Las cuñas especiales del anclaje BBR Cona Stay garantizan un excelente comportamiento frente a solicitaciones estáticas y dinámicas.

El rendimiento de estos anclajes está contrastado por una amplia batería de ensayos. En concreto, previamente a la ejecución de los tirantes del Nuevo Puente Juan Pablo Duarte se realizaron en el laboratorio CTL de Chicago tres ensayos de fatiga, dos con anclajes 91Ø0,6" y uno con anclajes 73Ø0,6". Los ensayos, realizados de acuerdo con especificaciones PTI, fueron plenamente satisfactorios, con eficacias comprendidas entre el 95% y el 98%.



Ilustración 5.- Ensayos de fatiga anclaje BBR Cona Stay 91Ø0,6"

El proceso de montaje es sencillo y requiere pocos medios. Una vez colocados los anclajes y posicionada la vaina colectiva, los cordones se enfilan uno a uno. Los cordones, en la zona de desvío del anclaje van guiados dentro de tubos de polietileno que, tras el tesado, se rellenan con grasa o cera. El tesado se realiza con gato unifilar, siendo posible un posterior tesado de regulación con gato multicordón.

5.2.- Descripción de los Tirantes del Nuevo Puente Juan Pablo Duarte

El atirantado del tramo principal se realiza con 96 tirantes con tamaños comprendidos entre 32Ø0,6" y 84Ø0,6", dispuestos en 8 haces de 6 tirantes dobles, lo que conlleva un total de 6 familias de tirantes. La medición de cordón de acero en tirantes es de 400.000 Kg. Se anclan en el tablero cada 10 m (cada 2 dovelas). Cada dovela atirantada recibe dos parejas de tirantes en los bordes extremos. La pareja de tirantes ancla en un plano vertical en el tablero y en un plano horizontal en la torre. La disposición de anclajes en la torre es de tirantes cruzados.



Ilustración 6.- Disposición de tirantes en torre

Los tirantes están compuestos por cordones desnudos de 0,6” en vaina colectiva de polietileno de alta densidad coextruida blanca-negra con posterior inyección de lechada de cemento. El anclaje, incluida la zona de desvío de los cordones, va relleno de grasa anticorrosión. La vaina dispone de separadores interiores de polietileno para evitar el contacto continuo de los cordones exteriores con la superficie interior del conducto, de modo que la inyección de lechada de cemento rodee por completo a todos los cordones.

En el exterior de la vaina se ha dispuesto una doble hélice para mitigar las vibraciones inducidas por el efecto viento-lluvia. Los tirantes van provistos de anillos centradores, tanto a la salida del tablero como de la torre. Dichos centradores están formados por un anillo de neopreno en dos partes, dentro de una carcasa metálica en 3 partes que permite garantizar el apriete del neopreno previamente a la fijación de dicha carcasa a la salida del tubo de encofrado.

Los anclajes superiores, no regulables, permiten el tesado cordón a cordón mediante gato unifilar. Los anclajes inferiores son regulables mediante tuerca, de modo que puedan realizarse tanto la comprobación de fuerzas como, en su caso, el tesado de regulación con gato multicordón.

A la salida del tablero, los tirantes se rematan con tubos antivandalismo de acero hasta una altura de 2,50 m.

De cara a realizar un seguimiento de la tensión de los tirantes durante todo el proceso constructivo, 24 de ellos se instrumentaron mediante pequeñas células de carga monocordón, instaladas entre el núcleo y la cuña de uno de los cordones de los anclajes a

controlar.



Ilustración 7.- Disposición célula de carga

5.3.- Instalación de los Tirantes

El proceso de instalación de los tirantes consistió básicamente en lo siguiente:

Instalación de placas de apoyo – tubos de encofrado previamente al hormigonado.

Preparación y montaje de anclajes. Consiste en un premontaje de las piezas que componen el anclaje hasta su conexión con la vaina de polietileno a la salida del tubo de encofrado.

Se acoplan los tubos guía ordenados y el tubo de transición de polietileno, con su anillo desviador, al núcleo de anclaje; se rellena con lechada de cemento el espacio entre tubos guía y tubo de transición; y finalmente se introduce el conjunto en el tubo de encofrado, fijándolo temporalmente a la placa de apoyo.



Ilustración 8.- Anclajes en fase de premontaje

Preparación y montaje de la vaina. Los tramos de vaina que componen el tirante se unen mediante soldadura de espejo sobre el tablero del puente. Se enfilan en los extremos las piezas deslizantes: tramos telescópicos de vaina para las ventanas de enfilado y tubos antivandalismo. Se iza la vaina mediante grúa torre, fijando mediante unos cables el extremo superior a una distancia de aproximadamente 1 metro de la salida del tubo de encofrado de la torre y se libera la grúa.



Ilustración 9.- Izado de la vaina

Enfilado y tesado unitario de los cordones. El enfilado se realiza cordón a cordón mediante unas pequeñas enfiladoras eléctricas que se sitúan en las torres, abasteciéndose de las bobinas de cordón dispuestas sobre el tablero. El tesado con gato unifilar se realiza desde los anclajes superiores. La fuerza de tesado a aplicar a cada cordón del tirante se calcula previamente en función de las rigideces de tablero, torre y cordones. En el momento del

tesado se realizan las correspondientes correcciones por temperatura. Para garantizar el paralelismo de los cordones se procede en el siguiente orden:

- Enfilado y tesado uno a uno los llamados cordones portantes (una parte de los cordones de la zona superior del anclaje) en orden descendente.
- Enfilado del resto de cordones en orden ascendente.
- Tesado del resto de cordones en orden descendente.



Ilustración 10.- Enfilado y tesado unifilar

Comprobación de tensiones. Una vez finalizado el tesado unifilar se procede a realizar la comprobación de cargas en los tirantes, en primer lugar levantando varios cordones con gato unifilar desde el anclaje superior y, posteriormente, realizando un levantamiento del tirante con gato multicordón desde el anclaje inferior. En caso producirse alguna discrepancia, es posible una regulación de la fuerza.

Tesado de regulación. El proyecto tenía prevista una regulación de los tirantes de las familias 1 y 2 después del cierre del tablero, que se hizo con gato multicordón desde el anclaje inferior.

5.4.- Inyección y Acabados de los Tirantes

Posteriormente al tesado se realizaron las siguientes operaciones:

Inyección con grasa de los anclajes. En una primera etapa se inyectan con grasa anticorrosión uno a uno los tubos guía de los cordones entre el anclaje y el final del tubo de transición. Posteriormente se instalan e inyectan los capots de protección.

Soldadura de tubos telescópicos. Los tramos telescópicos de vaina, utilizados como ventanas de enfilado se llevan a su posición definitiva y se sueldan a la vaina mediante manguitos de electrofusión dispuestos en sus extremos.

Inyección de lechada de cemento. Previamente a la inyección se realizaron unos ensayos en laboratorio para determinar la fórmula más adecuada para la lechada, de modo que se evitara la segregación y se redujeran prácticamente a 0 los valores de reducción de volumen y exudación. Para validar los resultado se procedió a realizar en obra unos ensayos de comprobación mediante tubo vertical de 2 m. Se utilizaron equipos de fabricación de lechada de alta turbulencia. La inyección se realizó en 3 etapas:

- 1ª etapa: inyección desde el final del anclaje inferior hasta unos 3 m por encima del tablero, de modo que se superara el tubo teslescópico.
- 2ª etapa: inyección de casi toda la longitud libre, hasta aproximadamente 2 m por debajo del anclaje superior.
- 3ª etapa: inyección de los 2 m superiores. En esta etapa, dada la imposibilidad de corregir a posteriori posibles defectos de llenado, se utilizó la técnica de inyección al vacío, con la que se garantiza un perfecto llenado incluso por encima de la purga superior. La inyección al vacío consiste en extraer el aire del conducto mediante una bomba de vacío previamente y durante la inyección de lechada.

Instalación de anillos desviadores. Tras el apriete de las tres partes de la carcasa para comprimir el anillo de neopreno, se procede a soldar ésta a la brida del tubo de encofrado.

Instalación de tubos antivandalismo. Se bajan a su posición definitiva y se fijan a la carcasa de los anillos desviadores.



Ilustración 11.- Vista de los tirantes desde el tablero



Ilustración 12.- Vista inferior de los tirantes

5.5.- Plazo de Ejecución de los Tirantes

El plazo de instalación de los tirantes ha sido de 10 meses. Dentro del ciclo normal de ejecución del tablero, la instalación de los 8 tirantes de cada dovela ocupaba 4-5 días.

6.- DATOS DE LA OBRA

Propiedad: Secretaría de Estado de Obras Públicas y Comunicaciones de la República Dominicana

Constructora: Consorcio FCC CONSTRUCCION – DRAGADOS – COCIMAR

Proyectista: CARLOS FERNANDEZ CASADO, S.L.

Tirantes y pretensado: Sistema BBR

II CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

Realizaciones, Puentes



Puente sobre el río Ozama en la ciudad de Santo Domingo

Leonardo Fernández Troyano
Carlos Fernández Casado S.L.

José Ignacio González Esteban
Fomento de Construcciones y Contratas S.A.

PUENTE SOBRE EL RÍO OZAMA EN LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO



El puente Juan Bosch sobre el río Ozama en la ciudad de Santo Domingo es el desdoblamiento del puente Juan Pablo Duarte actual, un puente colgante metálico construido en los años 50 del siglo XX, con un vano principal de 180 metros de luz.

El problema del desdoblamiento ha sido un factor fundamental en el proyecto del nuevo puente. Desdoblar un puente es siempre un problema difícil, porque ambos puentes, el original y el nuevo, se estorban, tanto física como visualmente.

Físicamente porque puede haber perturbaciones entre ellos, fundamentalmente por efecto del viento. Un ejemplo claro de esta perturbación ha sido la sustitución del puente de *Plougastel* sobre el río Elorn en Francia, una de las obras maestras de EUGENE FREYSSINET. Para sustituirlo se ha construido un puente atirantado muy próximo a él, y ello obligó a poner a los arcos del puente de FREYSSINET unos “flaps” para suprimir los remolinos que formaban, porque afectaban a la inestabilidad aeroelástica del puente atirantado.

En el nuevo puente sobre el río *Ozama* se han hecho ensayos en túnel de viento mediante modelos seccionales; en estos ensayos se han estudiado los dos puentes por separado, y el efecto de uno sobre otro. La conclusión de estos ensayos ha sido que no hay ningún problema de inestabilidad por efecto del viento en ninguna de las situaciones estudiadas, a pesar de que nos encontramos en zona de huracanes.



En el desdoblamiento, la interferencia visual de los dos puentes es evidente, porque nunca podemos ver un puente aislado; siempre veremos el conjunto de los dos, aunque en cada uno de los lados dominará el puente que tengamos más próximo.



Para desdoblar un puente caben diferentes soluciones: desde la repetición del puente anterior, solución que se ha utilizado en muchas ocasiones, a una solución de contraste, utilizando un tipo de puente radicalmente diferente del inicial.

El proyecto del nuevo puente sobre el río Ozama se ha basado en dos ideas fundamentales: en primer lugar hacer un puente actual, es decir, con las tecnologías de este momento, principios del siglo XXI, y en segundo lugar hacer un puente que armonizara con el actual, el puente colgante existente. Esto nos llevó a desechar la idea de duplicar el puente colgante, porque en la situación actual de la tecnología de los puentes, una luz de 180 metros es excesivamente pequeña para un puente colgante. Por ello se ha proyectado un puente atirantado de hormigón, que es la solución que nos parece más adecuada para estas luces.

La armonización del nuevo puente con el colgante ha llevado a hacer un puente atirantado singular, porque el nuevo puente se ha proyectado con el mismo contorno del colgante, y para ello las torres del puente atirantado se han hecho de la misma altura que las del colgado; de esta forma se consigue que el área ocupada por el sistema de cables de uno y otro puente sea la misma. La



visión conjunta de los dos puentes es la superposición de los dos sistemas de cables: el cable parabólico con sus péndolas, del puente colgante, y los tirantes del puente atirantado. Esta visión es análoga a la del puente de Brooklyn en Nueva York, donde se utilizaron conjuntamente los dos sistemas de cables, cable parabólico y péndolas, más tirantes.

Hacer un puente atirantado con la misma altura de torres que un puente colgante da lugar a un puente singular, porque normalmente, para una misma luz, las torres de un puente colgante tienen aproximadamente la mitad de altura de las de un puente atirantado. Por ello, este puente, dentro de los atirantados, pertenece



a una tecnología especial, con altura de torres reducida, que generalmente se llama “*puente de pretensado extradorsal*”. Al ver el puente terminado, creo que la armonización conseguida por esa coincidencia de los contornos de ambos puentes, es un valor real del conjunto, y no solo un planteamiento teórico.

En realidad este puente se puede considerar intermedio entre los puentes de *pretensado extradorsal* y los puentes atirantados clásicos. El nombre de *pretensado extradorsal* se debe a que el comportamiento de los tirantes de estos puentes es más parecido al de un pretensado exterior que al de los tirantes de un puente atirantado clásico, porque las oscilaciones de carga en ellos para la sobrecarga, son análogas a las de un pretensado exterior, y por tanto no hay problemas de fatiga. En el puente sobre el río Ozama, en cambio, estudiado



para tráfico de carretera y para un ferrocarril metropolitano, la oscilación de carga en los tirantes para estas sobrecargas, es menor que la de un puente atirantado normal, pero es necesario tenerla en cuenta. Sin embargo, la diferencia de inclinación de los tirantes respecto de los de un puente atirantado clásico se acusa claramente en los esfuerzos en el tablero, y por ello ha sido necesario un tablero de mayor rigidez que la de un atirantado clásico, análoga a la de los puentes de pretensado extradorsal.

El tablero tiene dos cajones en los bordes, con un canto que varía desde 4 metros en apoyos a 2,50 en la mayor parte del vano principal. En los vanos

laterales va perdiendo canto, hasta llegar al extremo con 1,50 metros, el mismo que tienen los viaductos de acceso, hechos con vigas prefabricadas.

Las torres están formadas por dos pilas verticales unidas por una riostra de gran canto bajo el tablero, que sirve para dar rigidez transversal al conjunto frente a las fuerzas horizontales debidas al sismo de



cálculo. La forma de las pilas responde a la necesidad de máxima rigidez en la base y a las dimensiones necesarias para alojar los tirantes en la cabeza. Por encima del tablero las pilas son independientes.

El esquema de la estructura ha estado condicionado por las acciones sísmicas. En principio se pensó en fijar el puente en una sola torre para evitar que los esfuerzos debidos a temperatura, fluencia y retracción afectaran a las pilas, pero al evaluar los esfuerzos conjuntos de estos fenómenos se vio que era más conveniente fijar el puente a las dos torres para repartir

el sismo, a pesar de los esfuerzos adicionales producidos por la temperatura, retracción y fluencia.

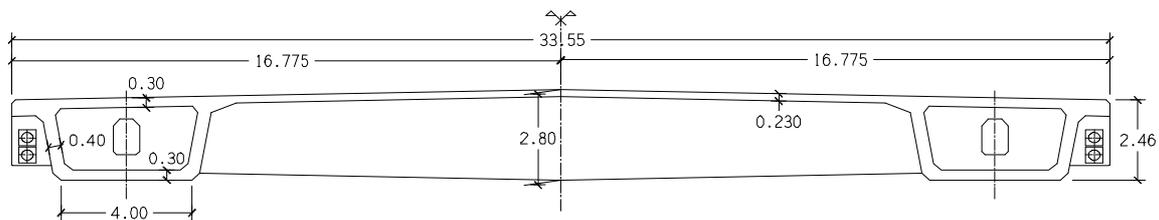


El nuevo puente sobre el río Ozama tiene una longitud total de 650 metros que se dividen en tres partes: dos viaductos de acceso, uno a cada lado del río, de longitudes de 230 metros en el lado oriental, y de 80 metros en el lado occidental. Estos viaductos están formados por tableros de vigas prefabricadas que se han montado con grúas. Entre los dos viaductos de acceso se encuentra el puente sobre el río Ozama propiamente dicho que tiene una longitud de 340 metros y una luz central que salva el río, de 180 metros, igual a la del puente colgante original.

El vano central se atiranta desde dos torres situadas en las márgenes del río. Los planos de los tirantes están situados en los bordes del puente y esto lleva a una organización del tablero clásica en este tipo de puentes, que consiste

en dos vigas longitudinales en los bordes, unidas por diafragmas transversales. Esta organización del tablero da lugar a una imagen singular del puente cuando se ve desde abajo.

El tablero tiene un ancho de 33,50 metros que corresponde a seis carriles de circulación más dos aceras de 3,50 metros. Inicialmente estaba proyectado para cuatro carriles y dos vías de ferrocarril metropolitano. Este ancho es mayor del normal en los puentes atirantados, y esto nos ha llevado a hacer las torres con dos pilas independientes por encima del tablero, unidas mediante una gran viga bajo él, para conseguir rigidez transversal en el conjunto que, como hemos visto, es necesaria para resistir los efectos de los sismos y de los huracanes.



En todo puente de gran luz como éste, el proceso de construcción es decisivo en todo su planteamiento, y por ello en este también lo ha sido. En el vano central se ha utilizado el procedimiento de construcción clásico para salvar un río, que consiste en avanzar desde las dos orillas por voladizos sucesivos atirantados, hasta llegar al centro. Los vanos laterales y los arranques del vano central, en cambio, al estar situados sobre tierra, se construyeron previamente sobre cimbra. Una vez descimbrados estos tramos, se iniciaron los voladizos, que se construían por avances de 5 metros de longitud, hasta cerrar en clave. Esta longitud de 5 metros de las dovelas hacía que una dovela sí y otra no, tuviera tirantes. Esto generaba unos



momentos de voladizo en el frente de construcción, que se resistían con barras pretensadas exteriores. Estas barras se iban soltando una vez que avanzaba la construcción y el momento del voladizo se iba trasladando.

El tablero está formado por dos vigas longitudinales en cajón atirantadas en los bordes y unidas por diafragmas transversales. Esta organización del tablero da lugar a que en un cálculo puramente elástico, se produzcan momentos torsores muy

grandes en los cajones, especialmente durante el proceso de construcción. Este mismo problema se nos planteó en el puente sobre el río Papalopan que tenía una estructura similar.

El problema se resuelve teniendo en cuenta que la torsión en este caso no interviene en el equilibrio general de la estructura, y por tanto se puede considerar la microfisuración que produce la torsión, lo que reduce considerablemente la rigidez a torsión de los cajones respecto de la rigidez a flexión de los diafragmas transversales.



Los tirantes se han anclado en el tablero cada 10 metros, y esto, unido al ancho del puente, obliga a unas dimensiones excesivamente grandes de los tirantes, lo que nos ha llevado a desdoblarlos en dos muy próximos. Estos dos tirantes se sitúan en una misma horizontal en el paso por la torre y en una misma vertical en los anclajes en el tablero, lo que produce un giro relativo entre ellos que les da una visión cambiante pero siempre unitaria, de forma que cada pareja de cables forma un solo tirante.

En principio, el proyecto se había hecho con sillas en las torres. Pero en construcción, la empresa que ha suministrado los tirantes ha sustituido las sillas por tirantes cruzados, lo que ha obligado a ensanchar significativamente las cabezas de las torres respecto de las que había en el proyecto original.

Una vez cerrado el vano central se enhebró y se dio carga al pretensado de continuidad, que se limita a la zona central del puente.

Para optimizar la ley final de esfuerzos en el tablero, y aproximarla a la ideal para tiempo infinito, se hizo un reajuste de cargas en los tirantes, una vez cerrada la clave.

