

Título de la comunicación completa al VIII Congreso de ACHE de Santander, que puede llegar a los 150 caracteres con espacios*

New Pumarejo Bridge over the river Magdalena in Barranquilla. Colombia

Javier Manterola Armisen^a, Javier Muñoz-Rojas^b, Sara Fernández^c, Juan A. Navarro^d,

^aDr. Civil Engineering. Carlos Fernández Casado S.L. Madrid

^bCivil Engineering. Carlos Fernández Casado S.L. Madrid

^cCivil Engineering. Carlos Fernández Casado S.L. Madrid

^dCivil Engineering. Carlos Fernández Casado S.L. Madrid

RESUMEN

xxxx

ABSTRACT

The new bridge over the River Magdalena overall length reaches 4 km, distributed in the 1,865 m of the work's main trunk and 1,920 m of the different branches on the left riverbank.

The main feature is 830 m long cable-stayed bridge with a 380 m central span necessary to comply with the new requirements of navigation.

The entire deck is made of prestressed concrete. With the aim of unifying the construction solutions for both the main bridge, approach viaducts and secondary branches, a precast segmental solution was chosen.

The construction of the approach viaducts is to be carried out span by span, erecting the segments with a powerful upper launching gantry. In a first stage, the central prefabricated box section is installed, followed by a second stage in which the lateral cantilevers are added by means of transverse form travelers and supported over prompts. The construction of the cable-stayed stretch is to be carried out by balanced cantilevers; the segments are to be floated and lifted into place with the help of frames placed at the advance fronts.

PALABRAS CLAVE: separadas por comas, Garamond 11 pt., ejemplo, arco, viga, 1 línea máximo.

KEYWORDS: separated by comas, Garamond 11 pt., for example: arch, beam, 1 line maximum

1. Introducción

El nuevo puente sobre el río Magdalena sustituirá al puente proyectado por Riccardo Morandi en 1972 con objeto de mejorar las condiciones de navegación del río y aumentar la capacidad viaria del cruce. Es una de las actuaciones prioritarias que está acometiendo el INVIAS, organismo del M° de Obras Públicas encargado de las carreteras de Colombia.

Las nuevas condiciones de navegación en el requieren un canal de más de 300 m sin pilas en él y las necesidades de paso de los buques a levantar la rasante de la nueva obra hasta una altura de 45 m. Por otro lado el previsto crecimiento del tráfico de vehículos a medio plazo requiere una plataforma de enorme anchura para alojar 6 carriles. Todo esto da como resultado unas dimensiones excepcionales, con estructuras que suman más de 60000 m² de tablero en una longitud total de casi 4 km, distribuida en 1865 m en el cuerpo central de la obra y en 1920 m en diversos ramales en la margen izquierda y un vano principal de más de 380 m, el mayor del país también.

Dadas estas magnitudes, la premisa que ha guiado el diseño es la de plantear una solución constructiva basada en las capacidades actuales de los procedimientos constructivos de puentes más industrializados de manera que se consiga realizar de la forma más económica y rápida.

Igualmente otro aspecto importante ha sido el plantear una solución con una solución constructiva y con una imagen unitaria.

A lo largo de la obra pues pueden distinguirse diversas zonas:

- El viaducto de acceso de la margen derecha hasta el canal principal de navegación, de 830 m de longitud

- El puente principal sobre el canal de navegación que se salva con una estructura de 830 m con un vano central de 380 m.
- El viaducto de acceso de la margen izquierda que cuenta con tres vanos de 70 m, el último de los cuales sirve de elemento de transición para enlazar con diversos ramales
- Finalmente cuatro ramales, que habilitan los distintos movimientos de tráfico y de peatones con los viales de la ciudad.

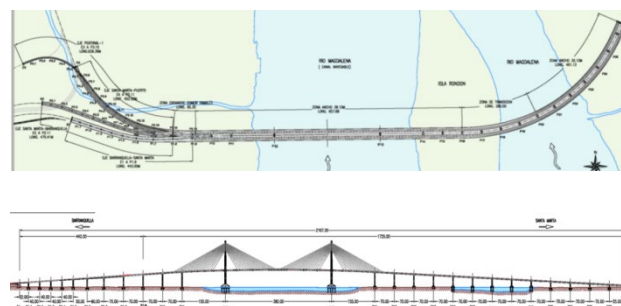


Fig. Alzados de los vanos de acceso de margen derecha

Desde el punto de vista de la configuración longitudinal de la obra y a pesar de su gran longitud

el tablero es continuo de estribo a estribo, fijándose exclusivamente en las pilonos del puente atirantado y liberando por medio de apoyos pot el resto de pilas.

Todo el tablero está realizado en hormigón pretensado. Para unificar las soluciones constructivas, tanto en el cuerpo central como en los ramales, se ha planteado una construcción prefabricada por medio de dovelas conjugadas en la mayor parte de la obra.

2. Viaducto de Acceso

El acceso de la margen derecha de 830 m de longitud consta de trece vanos con distribución $12 \times 70 + 55$ m, presentando una planta curva de radio 461m

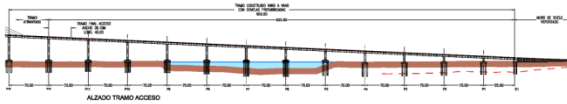


Fig. Alzados de los vanos de acceso de margen derecha

La anchura del tablero varía de 35.10 m en estribos a los 38.10 m en la conexión con la zona atirantada, para alojar doubles calzadas con tres carriles y aceras a ambos bordes.

La sección del tablero es un cajón bicelular que se prolonga lateralmente por vuelos que se soportan sobre puntales de concreto rectangulares cada 5 m. Se forma con un cajón trapecial central bicelular de geometría constante con 3.65 m de canto, anchura de losa inferior 12,0 m almas exteriores ligeramente inclinadas para dar una anchura superior de 16,2 m. se prolonga con vuelos apoyados sobre puntales dispuestos cada 5.0 m. La diferente anchura de la sección se acomoda extendiendo estos vuelos, dejando el cuerpo central idéntico en todo el puente.

Los esperores de las losas, que se acartelan en todos los encuentros, varían entre 0.30 m y 0.25 m, los de las almas entre 0,40 y 0,65m.

El tablero se ejecuta en dos fases: primero el cajón central de 16.20 y posteriormente los vuelos in situ apoyados en los puntales prefabricados

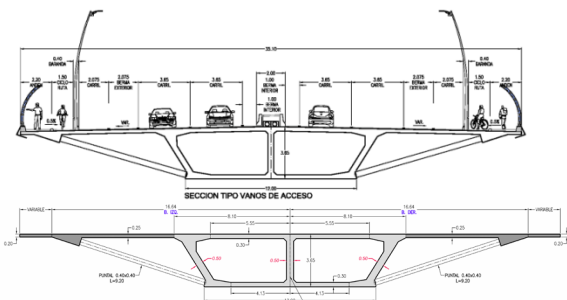


Fig. Distribución funcional y estructural en el tablero

El acceso en la margen izquierda lo forman otros tres vanos de 70 m. Los dos primeros son idénticos a los del otro acceso, y el tercero es un vano especial con una planta variable que se va ensanchando progresivamente para enlazar con los cuatros ramales en los que se divide la plataforma para conectar con la red viaria de la ciudad. Este vano, a excepción del resto se realiza in-situ para poder acomodar su geometría tan variable.

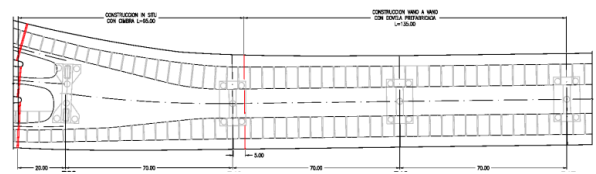


Fig. Planta acceso margen izquierda

Las pilas son elementos verticales de concreto reforzado con sección hexagonal hueca. En sentido longitudinal presentan una dimensión constante de 2,50 m y transversalmente variable, abriéndose en cabeza para disponer los aparatos de apoyo.

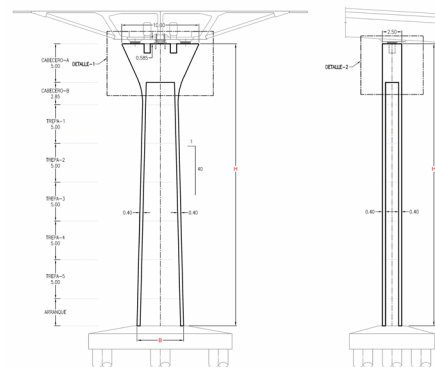


Fig. Pilas

3. Puente Principal

La solución planteada para el cruce sobre el brazo principal del río situado junto a la margen izquierda por donde discurre el canal de navegación de 300 m es un puente atirantado simétrico con dos torres con un vano central de 380 m con un punto más alto sobre las aguas de 45 m. Tiene 830m de longitud, compuesto por cinco vanos de luces 70-155-380-155-70, los tres centrales colgado de sendas torres centrales de atirantamiento por medio de tirantes dobles anclados en el eje de la sección.

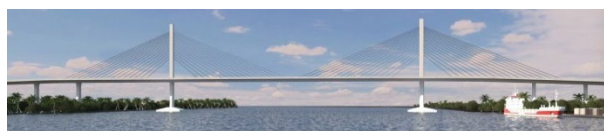
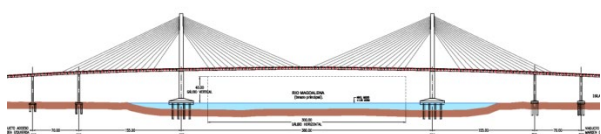


Fig. Alzado y vista del tramo atirantado.

La configuración del atirantamiento es clásica en semiarpa con ventanas de 40 m sin tirantes en las zonas próximas a las torres donde el tablero está apoyado. En el vano de compensación no se disponen pilas intermedias, simplemente una pila extrema. La proporción de luces de éste con el vano central (0,40 del vano principal) garantiza un adecuado comportamiento del sistema de atirantamiento y del control de las flexiones en tablero y pilono bajo cargas asimétricas.

La función de retenida contra la pila extrema no se concentra en un único cable sino que se reparte entre los últimos cuatro que se anclan a ambos lados de la pila. De esta forma se evitan unidades excesivamente potentes en uno sólo cable y se posibilita una configuración simétrica del atirantamiento con un mejor resultado formal. Los tiros verticales producidos por las sobrecargas actuando en el vano principal se contrapesan con rellenos en el interior del cajón.

Pilono y tablero están rígidamente unidos de manera que todas las acciones longitudinales

(sismo, frenado...) del puente en su conjunto sean resistidos por ellos. A su vez, dada su altura, cuentan con flexibilidad adecuada para acomodar los desplazamientos por efectos térmicos y diferidos del concreto sin introducir coacciones muy rígidas.



Fig. Vista del tramo atirantado.

La sección del tablero es prácticamente idéntica a la de los vanos de acceso, con anchura constante de 38.10 m, incrementado desde los 35.10 m para dejar sitio a la torre de atirantamiento

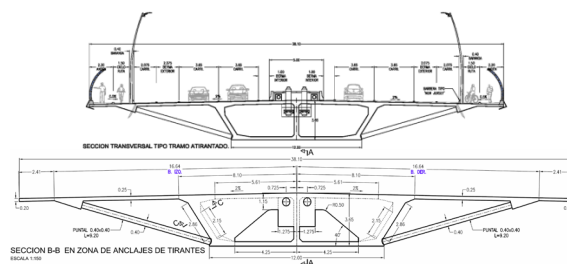


Fig. Secciones funcionales y estructurales del tramo atirantado.

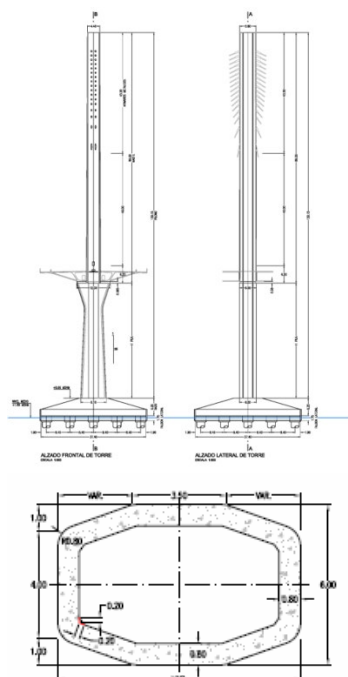
Los tirantes, que se anclan cada 10 m en el eje del puente, están formados por cordones de 0.6" con triple nivel de protección: galvanización, encerados y enfundados en polietileno, con unidades que varían entre 35 y 58 cordones.

Se anclan en el eje de la sección. En las secciones de anclaje de los tirantes se disponen diafragmas para referir las cargas de las almas exteriores a los tirantes, cuyos anclajes se realizan macizados de concreto triangulares situados en la parte superior de la sección a uno y otro lado del alma central.

Los tirantes se anclan en la torre estructuras metálicas formadas por cajones ("armarios") conectadas monolíticamente a la sección de concreto del mástil por pernos conectadores. El anclaje se sitúa sobre vigas de reparto soldadas a estos cajones inclinados según el ángulo de los

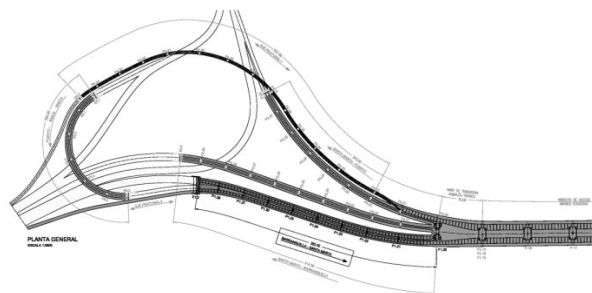
The technical drawing consists of two parts. The upper part, labeled 'PLANTA SUPERIOR', is a top-down view of the rectangular anchor system. It shows a central rectangular area with rounded corners, measuring 5.40 units in width and 2.75 units in height. This central area is surrounded by a border of 5.80 units. The overall width of the system is 6.00 units, and the overall height is 6.40 units. Four vertical rods, labeled 'VIGAS', are shown passing through the system. The central area contains four circular elements, each with a red 'X' mark, labeled 'ANCLAJE METALICO 5.40 x 2.75'. The lower part, labeled 'VISTA DE ANCLAJES', is a perspective view showing the internal structure of the system. It features a central channel with a shaded area, and two circular elements, each with a red 'X' mark, labeled 'ANCLAJE METALICO 5.40 x 2.75'. The overall width of the system is 6.00 units, and the overall height is 6.40 units. The perspective view shows the system is designed to be installed in a concrete slab, with the rods passing through the slab and the anchor system providing a secure connection.

Las torres de atirantamiento son verticales situadas en la mediana y con atirantamiento al centro del dintel. Tienen una altura total de 130.15 m. formados por una pila por debajo del tablero de 40.95 m. y un mástil a continuación de 89.20 m. Esta disposición produce un puente muy limpio y elegante que obliga a diseñar un dintel con rigidez a torsión para contrarrestar el efecto de la carga excéntrica que el atirantamiento no puede contrarrestar.

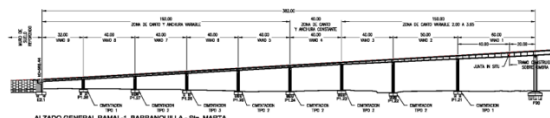


Bajo el dintel la pila tiene una geometría variable similar a la de las pilas de los accesos.

Para enlazar con los viales de la margen izquierda se habilitan cuatro ramales con trazado en planta curvo. Tres de ellos para tráfico (Barranquilla-Santa, Santa Marta-Barranquilla, Santa Marta-Puerto) y uno peatonal.

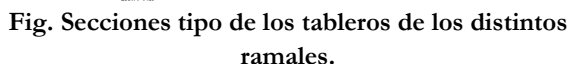


La menor altura del tablero sobre el terreno en estas obras permite modularlas con luces más reducidas. Se ha adoptado el vano tipo de 40 m, en número variable según el ramal, que enlaza con los vanos del tronco con dos vanos de transición de 50 y 60 m.



La sección transversal de los ramales para vehículos se conforma con un cajón central único común prefabricado de 6.70 m de anchura. Para acomodar las plataformas requeridas se completan con vuelos variables, en uno de los casos sobre puntales.

En los vanos de 40 m el canto es de 2 m de canto. En los dos vanos siguientes de 50 y 60 m se dispone canto variable hasta enlazar con los 3.60 m del tronco.

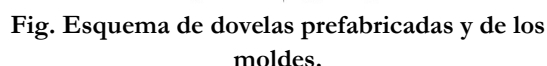


Uno de los aspectos más relevantes del proyecto es el de los procedimientos de construcción previstos para las distintas partes de la obra. Como se ha referido anteriormente, se ha buscado uniformizar, en la medida de lo posible, la construcción de la obra con el objetivo de optimizar costes y plazos. Los estudios han implicado la comparación de sistemas in-situ y prefabricados en diversas modalidades.

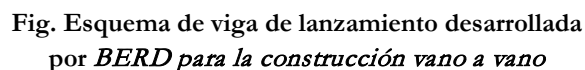
Se compararon diversos procedimientos constructivos que pueden resolver la construcción de vanos de hormigón pretensado con una luz de 70 m en sus modalidades de voladizos y vano a vano, tanto realizados in situ (carros de avance o autocimbras) como con dovela prefabricada (carros de izado en frente de voladizo, vigas de lanzamiento para voladizos, vigas de lanzamiento para vano a vano)

Un estudio comparativo realizado con la colaboración con la empresa BERD mostró que para esta obra la construcción vano a vano con dovela prefabricada era la más competitiva, incluso a pesar de los enormes cargas a resistir por la viga de lanzamiento.

principal comparten sección y los ramales se podían igualmente estandarizar a partir de una sección tipo con lo que a las ventajas en reducción de plazos se suma la reutilización de medios auxiliares (parque de prefabricación, elementos de transporte, vigas de lanzamiento para la colocación de las dovelas).



Las dovelas prefabricadas se colocadas con vigas de lanzamiento de gran capacidad, con la ayuda de un detallado estudio de la empresa BERD que ha mostrado la perfecta viabilidad de la propuesta.



Para reducir el peso de los elementos colocados y facilitar su colocación sólo se prefabrica y se coloca en una primera fase el cajón central, realizando los vuelos sobre puntales en segunda fase in-situ con carros de vuelos.

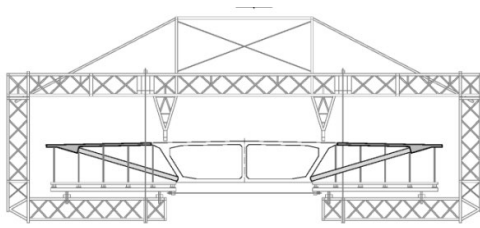


Fig. Carros de vuelos para la ejecución en segunda fase

Al igual que los vanos de acceso, en los ramales también se ha planteado un procedimiento de vano a vano con dovela prefabricada, de menor tamaño que las del tronco pero estandarizadas de manera que el mismo molde y la misma máquina sirvan para todos los ramales.

7. Tramo Atirantado

Para la construcción del tablero atirantado es necesario recurrir al procedimiento habitual empleado en grandes luces de avance en voladizos sucesivos simétricos. Para el izado de las dovelas prefabricadas se disponen marcos o elementos de izado en el frente de avance, transportando las dovelas sobre barcasas. El avance será simétrico desde las torres de atirantamiento, cosiendo las sucesivas dovelas con las anteriores por medio de barras de pretensado.

El empotramiento en las torres garantiza la estabilidad durante la construcción sin necesidad de elementos auxiliares “tie-down”, con desequilibrios máximos de una dovela de 5.0 m.

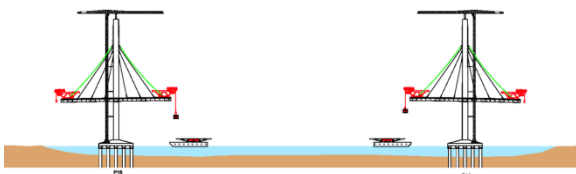


Fig. Construcción del tramo atirantado por voladizos sucesivos

Las dovelas de esta zona está previsto que se monten con los vuelos ya realizados en el parque dado que el peso adicional y las

dimensiones de estos elementos no son críticos como en los vanos de acceso.

8. Conclusiones

El nuevo cruce sobre el río Magdalena será el puente más grande construido hasta la fecha en Colombia y el que tenga el vano de mayor luz. La complejidad técnica que implica realizar una obra de esta magnitud proporciona una oportunidad para introducir en el país alguno de los sistemas más avanzados e innovadores que la ingeniería de puentes ofrece actualmente para realizar obras de forma económica, rápida y segura. Por ello cobra doble interés en tanto puede servir de escaparate para para otras obras que haya que afrontar en el ambicioso plan de desarrollo de infraestructuras puesto en marcha en el país por el Gobierno.

Los aspectos distintivos que con los que se puede resumir la obra son :

- Configuración de la obra con tablero continuo en todo el conjunto del puente, viaductos de acceso y puente principal y ramales, homogeneizando así procedimientos constructivos aportando igualmente una imagen única y singular a la obra.
- Empleo de una sección única para el tronco central de la obra con un cajón multicelular completado con vuelos sobre puntales.
- Desarrollo de la estructura de los ramales a partir de un cajón central idéntico para todos que se completa con vuelos variables.
- Vano central con un tramo atirantado de dimensiones notables que pasará a ser un elemento distintivo de la ciudad y el país.
- Recurso al técnicas construcción de puentes avanzadas con alta mecanización (prefabricación, vigas de lanzamiento, encofrados autotrepantes...etc).



Agradecimientos

Referencias