

III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

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



Realizaciones



PASARELA SOBRE EL RIO CARRION (PALENCIA)

José **ROMO MARTÍN**, Mariano **MARTÍN CAÑUETO**

Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A.

RESUMEN

La pasarela de San Juan de la Cruz conecta el margen izquierdo del río Carrión con la zona deportiva Isla dos Aguas. La obra forma parte del acondicionamiento y urbanización de los márgenes del río a su paso por la ciudad de Palencia.

PALABRAS CLAVE

Pasarela atirantada, estructura metálica, tirantes, planta curva, prueba de carga dinámica.

1. CONDICIONANTES

Como condicionantes principales en la conexión entre ambos márgenes del río se presentaba un desnivel importante en alzado y una escasa distancia en planta entre los puntos de acceso a la pasarela.

2. SOLUCIÓN ESTRUCTURAL

Con los condicionantes anteriores quedaron descartadas las soluciones con tablero recto al conllevar una excesiva pendiente longitudinal y se dieron paso a soluciones curvas con un mayor desarrollo del tablero, y por tanto, una menor pendiente longitudinal.

Decidido que el desarrollo del tablero estaría formado por un cuarto de circunferencia faltaba por ubicar la posición del mástil de atirantamiento del tablero, bien en el centro de la circunferencia, o bien en el exterior de la misma. Para no afectar al cauce del río se decidió ubicar el mástil de atirantamiento en el exterior de la circunferencia ubicándolo en la isla quedando entonces una pasarela en curva atirantada desde el borde exterior del tablero.

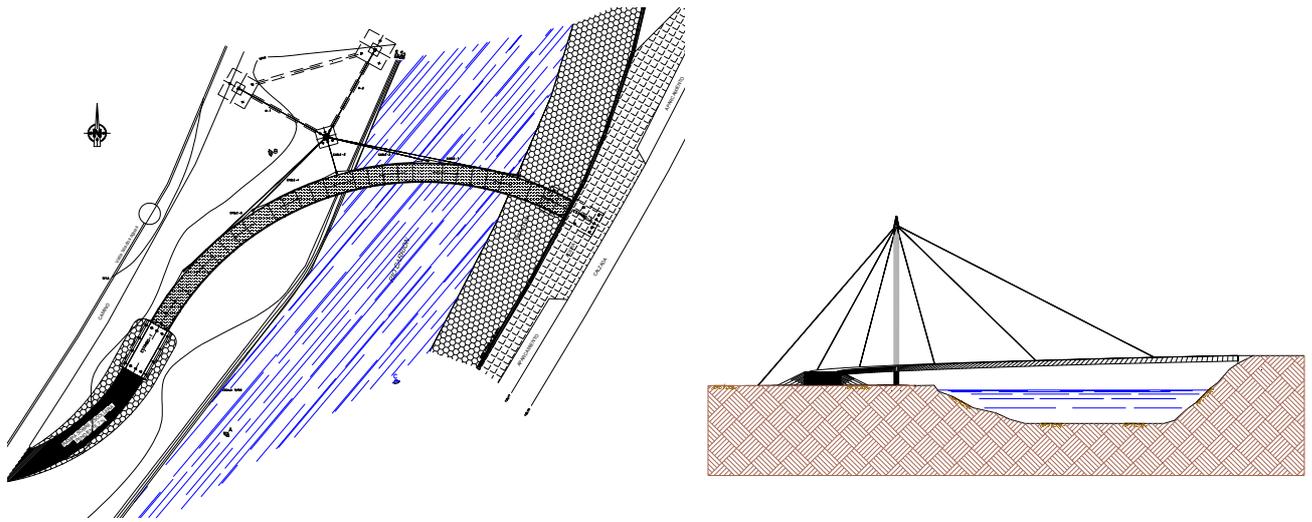


Figura 1. Planta y perspectiva de la pasarela



Figura 2. Vista general de la pasarela

3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

3.1. Tablero

La pasarela tiene 70.68 m de desarrollo estando formada por un cuarto de circunferencia de 45.00 m de radio. Longitudinalmente el tablero salva un desnivel de 1.80 m con una pendiente constante igual al 2.5 %. El tablero está formado por una sección triangular metálica con un canto de 0.60 m y un ancho de 3.00 m.

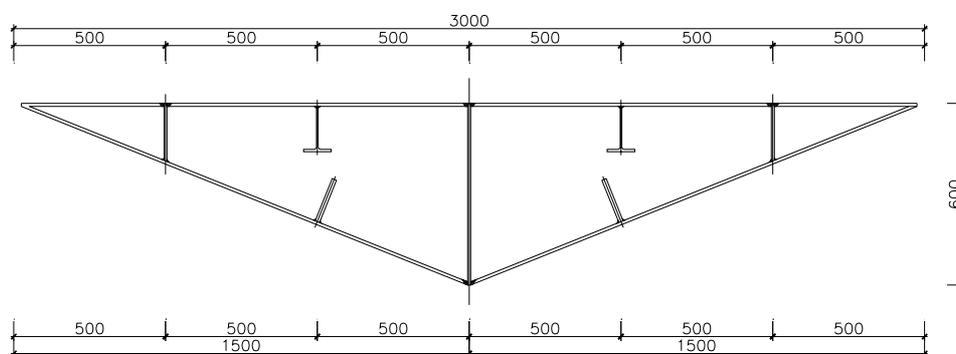


Figura 3. Sección tipo del tablero

Las chapas del tablero son de espesor 15 mm en las proximidades a los estribos y 10 mm en el resto. Tiene diafragmas transversales cada 2.209 m, está atirantada del borde exterior en cinco puntos, con una secuencia de luces de 8.83 + 13.24 + 13.24 + 13.24 + 8.83 m.



Figura 4. Vista inferior del tablero

3.2. Mástil de atirantamiento

El mástil de atirantamiento está situado en el exterior de la circunferencia alineado en la bisectriz del arco. Tiene una altura de 18 m y está formado por una sección circular metálica de diámetro exterior 508 mm y espesor 25 mm.



Figura 5. Vistas del mástil de atirantamiento

Para evitar la pérdida de la geometría en la cabeza del mástil, como consecuencia del axil transmitido por los cables, se ha dispuesto un cilindro macizo metálico en el interior del mástil de diámetro 160 mm y 1.00 m de alto. A este cilindro van soldadas las orejetas que se conectan a los cables y en él se transmiten y equilibran los axiles entre los mismos.

3.3. Tirantes

Se disponen 5 tirantes delanteros que sujetan el borde exterior del tablero y dos cables traseros a modo de retenida. Todos los cables son cables cerrados doble Z siendo de diámetro $\phi 34$ mm los delanteros y $\phi 40$ mm los de retenida.

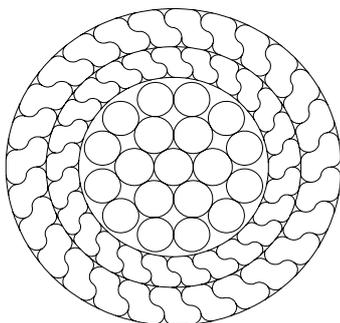


Figura 6. Detalle y sección de tirante cerrado doble Z

3.4. Cimentación y estribos

Los cables traseros se anclan a un macizo de hormigón formado por un encepado de $4.50 \times 4.50 \times 2.50$ m³, cimentado sobre tres micropilotes verticales de diámetro 180 mm. El mástil se cimienta en un encepado de $2.80 \times 2.80 \times 1.40$ m³ sobre seis micropilotes de carga útil 750 kN con una inclinación de hasta 25°. La cimentación de los cables de retenida y del mástil está unida mediante vigas de atado de 1.00 m de canto y 0.50 m de ancho que transmiten la componente horizontal del axil de los cables hasta el encepado del mástil.

Con la inclinación de los micropilotes bajo el mástil se equilibran los axiles transmitidos por las vigas de atado. La componente vertical transmitida por los cables de retenida se equilibra con el peso de los macizos de hormigón a los que se anclan los cables.

El estribo 1, situado en la Isla dos Aguas, está formado por un bloque de hormigón de 8.00 m de longitud, 3.50 m de alto y 4.50 m de ancho con las caras laterales inclinadas. Está cimentado mediante 14 micropilotes, 7 de los cuales están inclinados para absorber las componentes horizontales de los esfuerzos transmitidos por el empotramiento del tablero metálico.

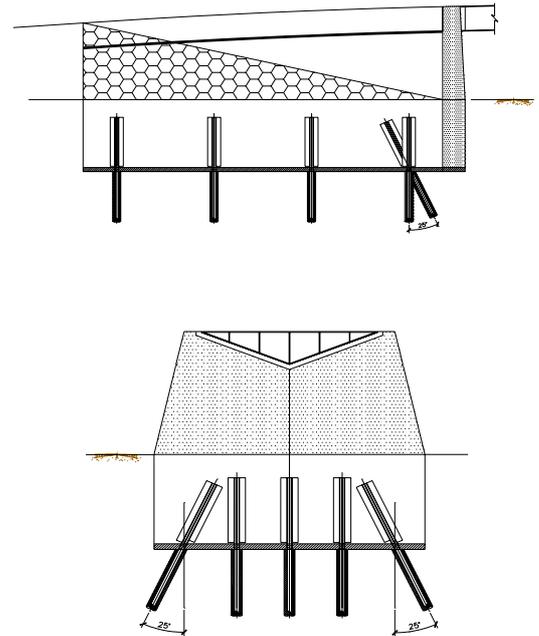


Figura 7. Estribo 1 en Isla dos Aguas

El estribo 2, situado en la acera, tiene un ancho de 4.00 m y una altura de 4.50 m. Su geometría se adapta a pendiente de la escollera en la zona del río. La cimentación del estribo 2 es similar a la del estribo 1.

4. PROCESO CONSTRUCTIVO

4.1. Cimentación

Las obras fueron llevadas a cabo por la constructora COPASA, S.A. iniciándose las cimentaciones en mayo de 2003. Para la cimentación de los encepados y los estribos se realizaron un total de 40 micropilotes de longitud 20 m con inclinaciones máximas de hasta 25°.



Figura 8. Ejecución de micropilotes

A continuación se procedió al armado y hormigonado de las cimentaciones y estribos. En los estribos se dejó anclada la chapa metálica mediante en la que posteriormente se materializaría el empotramiento del tablero.



Figura 9. Armado estribo Isla dos Aguas

4.2. Montaje del tablero

El tablero fue montado en taller en seis tramos por TALLERES IZARD, S.A. En obra se dispusieron 5 castilletes provisionales, uno bajo cada cable delantero, con la capacidad de posicionar a la cota deseada el tablero.

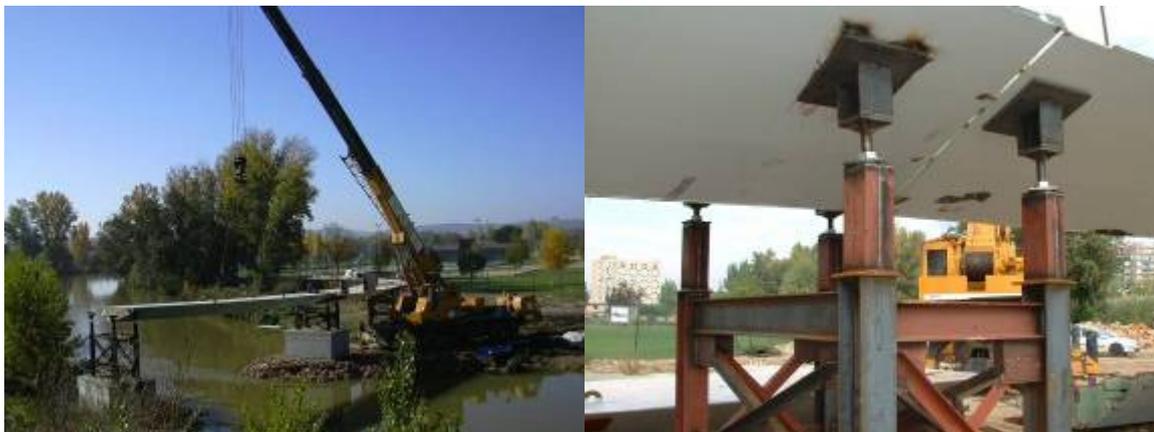


Figura 10. Montaje tablero sobre castilletes

Para la realización de uno de los castilletes fue necesario crear una península provisional en el cauce del río. Una vez montados los tramos del tablero se procedió a soldarlos entre sí dándole continuidad al tablero.

4.2. Tesado de los cables

Una vez montado el tablero y el mástil se procedió al tesado de los cables comenzándose por los cables de retenida.



Figura 11. Tesado de los cables de retenida

Mediante el empleo de una cesta se enhebraron los cables de retenida al mástil y con el empleo de dos trácteles, uno por cada encepado de retenida, se aproximaron los cables hasta conectarlos a los encepados. El control de la tensión en los cables se hizo de forma indirecta controlando las deformaciones en la cabeza del mástil.

La puesta en carga de los cables delanteros se realizó mediante dos formas distintas dependiendo de la posición del cable. Para los tres cables centrales se aprovechó la flexibilidad del tablero y mediante el empleo de gatos en los castilletes provisionales se elevó el tablero hasta poder conectar los tres cables centrales al tablero con axil nulo en los mismos (ver figura 12 izquierda).



Figura 12. Gatos bajo castilletes (izda.) y tesado cables extremos (dcha.)

Para conectar los cables más próximos a los estribos se recurrió al empleo de gatos que llevaban los cables hasta su posición teórica (figura 12 derecha). Una vez colocados todos los cables se procedió al descenso del tablero poniéndose en carga automáticamente la totalidad de los cables delanteros. El control de tensiones en los cables se llevó a cabo mediante los gatos de los cables extremos e indirectamente mediante la geometría del tablero así como con la verticalidad final del mástil.

5. PRUEBAS DE CARGA ESTÁTICA Y DINÁMICA

5.1. Prueba de carga estática

Para la realización de la prueba de carga estática se emplearon 26 palés de bordillos de 1.80 T/palé. La prueba se realizó mediante 2 escalones de carga y 2 de descarga. Se realizó un control de flechas del tablero y de la posición de la cabeza del mástil confirmándose el comportamiento previsto en la prueba de carga.



Figura 13. Prueba de carga estática

5.2. Prueba de carga dinámica

Posteriormente a la prueba de carga estática y para confirmar los resultados obtenidos en el proyecto se decidió realizar una prueba de carga dinámica. Durante la fase de proyecto se había obtenido una frecuencia principal de la estructura próxima a los 2 Hz. Este resultado motivó que se realizase un análisis dinámico para evaluar la aceleración vertical del tablero provocada por el paso de un peatón y estudiar la necesidad del empleo de amortiguadores en fase de proyecto.

El movimiento del peatón se modelizó mediante una fuerza dinámica normalizada según una serie de Fourier y de frecuencia 2 Hz y un paso de cálculo igual a 0.1 s. Como criterio de aceptación o rechazo de la aceleración vertical se consideró el valor $a = 0.50(f_0)^{1/2} = 0.70 \text{ m/s}^2$, obteniéndose del modelo de cálculo una aceleración vertical máxima igual a 0.46 m/s^2 , y por lo

tanto, aplazándose hasta que la estructura estuviese terminada la necesidad del empleo de amortiguadores.



Figura 14. Acelerómetros e instrumentación

La prueba de carga dinámica fue realizada por INTEMAC y en ella se confirmó que la frecuencia de la estructura estaba en torno a 2 Hz. Para comprobar que las aceleraciones verticales estaban dentro de límites aceptables se midieron las mismas ante el paso de un peatón, dos, cuatro y un grupo así como distintas velocidades de paso. En todos los casos las aceleraciones verticales se mantuvieron por debajo de los 0.40 m/s^2 confirmándose las hipótesis de proyecto y descartándose la necesidad del empleo de sistemas de amortiguación.



Figura 15. Pasarela finalizada y abierta al público

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cable stayed bridges. R. Walter, B. Houriet, W. Isler, P. Moia, J.F. Klein. Thomas Telford, Second edition 1999.
- [2] Cable supported bridges. Concept and design. Neils J. Gimsing. Wiley, Second edition 2000.
- [3] Vibrations in structures. Induced by Man and Machines. Hugo Bachmann, Walter Ammann. IABSE-AIPC-IVBH 1987
- [4] Problemas de vibraciones en estructuras. ACHE