

PASARELA PEATONAL “PEDRO GÓMEZ BOSQUE” SOBRE EL RÍO PISUERGA EN LA CIUDAD DE VALLADOLID. UN NUEVO RECORD DE LONGITUD EN PASARELAS COLGADAS DE BANDA TESA

Javier MANTEROLA ARMISÉN

Dr. Ingeniero de Caminos
Carlos Fernández Casado, S.L.
Ingeniero
jmanterola@cfcsl.com

Juan ALONSO-VILLALOBOS MARTÍN

Ingeniero de Caminos
CONSULTING DE INGENIERÍA CIVIL, S.L.
Ingeniero
jav@cicsl.e.telefonica.net

Javier MUÑOZ-ROJAS FERNÁNDEZ

Ingeniero de Caminos
Carlos Fernández Casado, S.L.
Ingeniero
jmrojas@cfcsl.com

Antonio NARROS HERNÁNDEZ

Ingeniero Técnico de Obras Públicas
CONSULTING DE INGENIERÍA CIVIL, S.L.
Ingeniero
anh@cicsl.e.telefonica.net

RESUMEN

La nueva pasarela peatonal “Pedro Gómez Bosque” promovida por el Ayuntamiento de Valladolid ha permitido crear una nueva conexión peatonal entre los barrios de Arturo Eyries y La Rubia, separados hasta entonces por las márgenes del río desde los puentes de la División Azul y hasta el de la Hispanidad en una distancia de unos 2 Km.

La obra se enmarca dentro de un proyecto más amplio de recuperación de las márgenes del río Pisuerga iniciado por el Ayuntamiento de Valladolid, en él que en las fases siguientes también está prevista la participación de la Confederación Hidrográfica del Duero

El proyecto y la dirección de obra han sido realizados por las oficinas Carlos Fernandez Casado S.L. y Consulting de Ingeniería Civil S.L.

PALABRAS CLAVE: Pasarela, banda tesa, acero corten, losa prefabricada, hormigón ligero, vibraciones, amortiguamiento, cargas peatonales dinámicas, micropilotes, LEDs.

1. Planteamiento de la solución

La pasarela salta sobre el río Pisuerga desde una margen sobre laderas muy escarpadas hacia una zona baja inundable protegida por un muro de encauzamiento, existiendo entre ambas márgenes existe un desnivel de unos 2 m. Este desnivel posibilitó y adecua perfectamente la disposición de una pasarela colgada tipo lo que llevó a plantear una pasarela colgada del tipo “span band” o *banda tesa o tensada*.



Figura 2. Vista desde el río de la pasarela acabada

De esta forma la pasarela salta el cauce del río limpiamente de una a otra orilla con un perfil esbelto siguiendo una línea curva muy suave. La longitud del cruce es de unos 100 m, avanzando ligeramente los estribos se consiguió un vano principal de luz 85 m. (Fig. 1,2)

A partir de una solución de estructura colgada y dentro de la mayor modernidad conceptual de esta solución se ha buscado crear una obra con la máxima ligereza y la máxima transparencia. 150 años después por fin la ciudad de Valladolid puede decir con propiedad que cuenta con su Puente Colgante, en cierta manera un homenaje al fallido proyecto de puente colgante del Ingeniero de Caminos Andrés Mendizábal de 1883 que aunque no llegó a realizarse, dejó su impronta en la ciudad dando nombre a uno de sus itinerarios principales.



Figura 2. Vista desde la margen izquierda

2. Estructura

Las estructuras colgadas modernas del tipo denominada "banda tesa" se basan en establecer relaciones de flecha/luz muy pequeñas, del orden de $1/50$. La geometría teórica de una estructura colgada con carga repartida uniforme, como es el caso de esta pasarela, es la de una catenaria. Para las esbelteces referidas esta geometría es aproximable con gran precisión por una parábola de segundo grado, y esta a su vez esta por un arco circular. En nuestro caso con una luz $L=85$ m y una relación flecha luz de $1/50$ el radio resultante es de 550 m.

Los problemas de deformabilidad que presenta una estructura colgante que pueden convertir el paso de las personas (o de tráfico) en algo muy poco confortable se pueden resolver por varios métodos.

Uno consiste en aumentar la rigidez de su sección transversal -o del tablero suspendido-, que es la solución de los puentes colgantes donde se separa el elemento sustentante -el cable- de la plataforma de paso -el tablero-. En nuestro caso, donde no se produce la separación entre elemento sustentante y plataforma, y donde por condiciones de funcionalidad para el paso de peatones exigen relaciones flecha/luz adecuadas (del orden de $1/50$ referido anteriormente) se realiza sometiendo a la estructura a una gran tracción, fuerza que a su vez debe transmitirse a los estribos que actúan como macizos de anclaje. Es esta gran tracción de la estructura la que controla principalmente la deformación de la misma ante las sobrecargas, presentando un comportamiento estructural marcadamente no lineal. El control de la deformación se puede mejorar a su vez aportando mayor rigidez al tablero, pero un valor alto de éste introduce a su vez problemas de concentración de flexiones locales en los apoyos que complican su dimensionamiento. En nuestro caso se ha limitado a la pletina de acero no colaborando la losa de hormigón en el trabajo longitudinal de la estructura.

Con la relación flecha/luz de $1/50$ la catenaria resultante tiene una flecha máxima de 1.72 m. De esta manera se respetaba que el punto más bajo de la pasarela quedaba con suficiente resguardo con respecto a la lámina de agua de la avenida de 500 años y garantizaba para caudales normales un gálibo suficiente para la embarcación turística que recorre el Pisuerga. (Fig. 3)

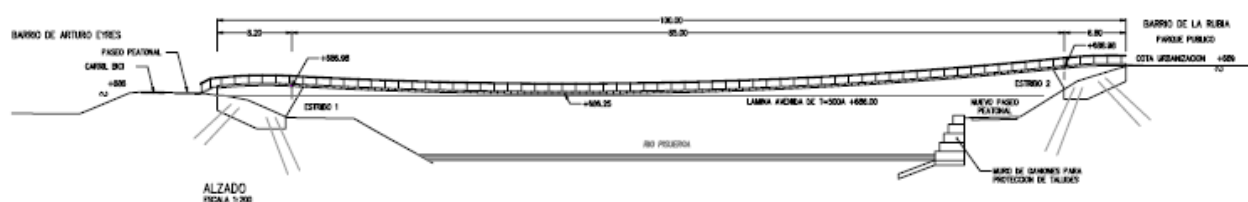


Figura 3. Alzado

En este proyecto hemos introducido dos variantes con respecto a las soluciones habituales en bandas tesa que en nuestra opinión aportan mejoras constructivas y formales.

Por un lado la estructura no se resuelve con cables de pretensado habitualmente empleados como elementos de tracción en las bandas tesas se han sustituido por pletinas de acero continuas. Esta solución permite apoyar directamente la plataforma de hormigón sobre estas bandas sin activar éste en el comportamiento longitudinal de la estructura. Con ella se elimina uno de los problemas clave de las "bandas tesa" de hormigón con cordones de pretensado: el control de las deformaciones por fluencia y retracción que este material experimenta debido a las altas compresiones a las que se le somete y a la flexibilidad de la estructura.

Se realiza con acero estructural S355 del tipo autopatinable o “cortén”, en una pletina continua de 30 mm de 94 m de largo y 3,60 m. de ancho. (Fig. 4)



Figura 4. Vista de la pletina antes de colocar losas en un día nevado.

La segunda novedad tiene que ver con la solución formal dada a la sección transversal de la pasarela. Tradicionalmente se ha adoptado la de una losa de espesor constante, de un valor muy reducido por las exigencias resistentes de la misma. En nuestro caso hemos diseñado una sección en forma de “U” en la que se levantan ligeramente en los laterales unos brazos curvos. El objetivo es aumento del canto virtual de manera que el peatón tenga mayor sensación de seguridad y de tranquilidad.

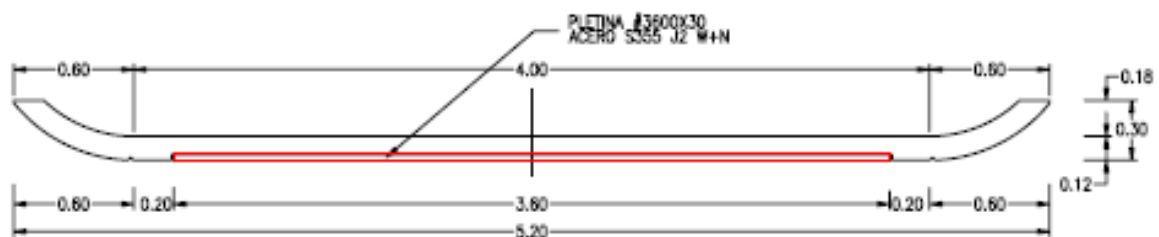


Figura 5. Sección transversal

La plataforma se realiza con piezas prefabricadas de hormigón ligero estructural sin continuidad longitudinal con espesor de 12 cm y conectadas a la pletina con pernos.(Fig. 5)



Figura 6. Vista de las piezas prefabricadas

acopiadas y durante su colocación.

3. Cimentaciones

Las características del terreno y de la obra, y de acuerdo a las recomendaciones del Informe Geotécnico, la transmisión al terreno de las reacciones de la banda (horizontales y verticales) se han resuelto por medio de cimentaciones profundas con micropilotes de armadura tubular de capacidad 125 T debidamente empotradas en el sustrato competente por medio de inyecciones. Dado que la reacción de la banda es principalmente una carga horizontal, los micropilotes se sitúan inclinados con respecto a la vertical, de manera que se consigue descomponer la reacción en una tracción (en los micropilotes traseros) y en una compresión (en los delanteros).

Los micropilotes traseros se disponen en dos filas de 8 con un ángulo de inclinación medio de 45°. Los delanteros, igualmente en dos filas de 7, con un ángulo de 25 °. Las tracciones máximas que deben resistir son del orden de 2000 T.

Tras estudios específicos de las laderas de las riberas en fase de ejecución, realizando estudios mediante la técnica de “Down Hole”, se constató que la situación de las mismas era mucho más precaria que las inicialmente previstas. Por lo que se aprovechó las inyecciones IRS con los que se ejecutaban los micropilotes para estabilizar igualmente las laderas y conseguir factor de seguridad al deslizamiento adecuados.



Figura 7. Vista desde aguas abajo.

4. Proceso de construcción

Para el montaje de la pletina se barajaron diversas alternativas y finalmente se optó por lanzarla colgada de unos cables auxiliares. Para ello primero se montó la pletina completa en una margen colocada sobre castilletes provistos de rodillos para poder así tener movilidad en la misma. Las soldaduras entre distintos tramos se realizaron con grandes limitaciones en las deformaciones relativas entre ellas para evitar quiebros. Una vez tendidos los cables auxiliares formados por cordones de acero pretensado entre ambos estribos, donde se anclaban en macizos provisionales se inició el lanzamiento. La pletina se colgaba de unos perfiles que se apoyaban en los cables auxiliares sobre rodillos para deslizar. (Fig. 9)

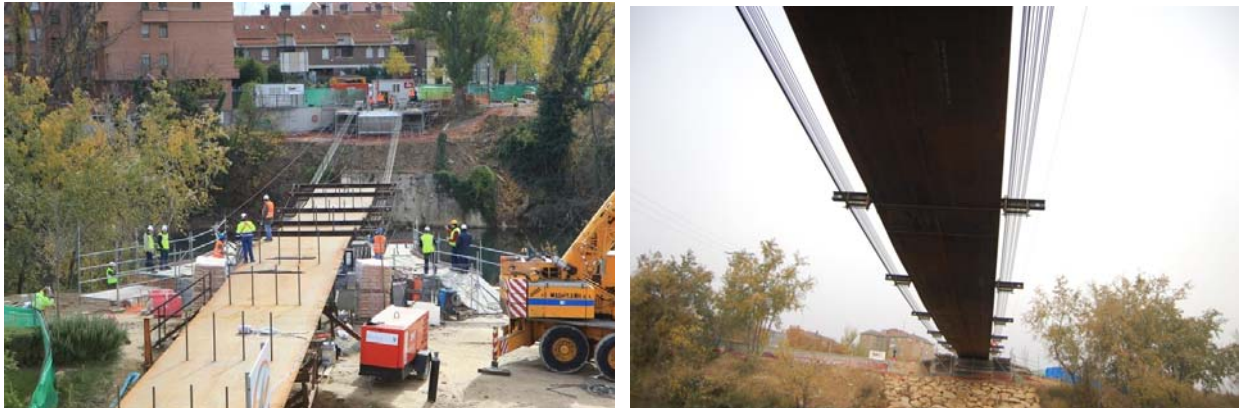


Figura 9. Vista de la pletina sobre castilletes y los cables auxiliares durante el lanzamiento.

Desde el estribo opuesto y actuando con dos gatos hidráulicos se arrastraba la pletina con dos cables de tiro. (Fig. 10)



Figura 10. Vista del lanzamiento de la pletina

La operación de lanzamiento duró unas 12 horas, realizando a lo largo de ella un exhaustivo control y monitorización del estado de la pletina y de su geometría, muy sensibles por otro lado a las condiciones térmicas. Una vez en posición se procedió al descenso y al bloqueo de la pletina

contra las tres chapas de anclaje verticales que están colocadas en los estribos conectadas con pernos al hormigón.



Figura 11. Gatos y viga de reacción para el ajuste de geometría.

Durante el lanzamiento se monitorizó la estructura, controlando que el incremento de carga progresivo de la misma se ajustaba a lo previsto. Una vez fijada desde el otro estribo se actuó sobre dos gatos de 800 T para ajustar la geometría de la pasarela a la teórica antes de proceder a su bloqueo final. (Fig. 11)

Una vez anclada se colocaron las losas prefabricadas de 0.75 m conectándolas a las pletinas con pernos. Posteriormente se rellenaron las juntas entre ellas y se colocaron los equipamientos y el pavimento.

5. Comportamiento dinámico

Con la solución de banda tesa con pletinas de acero como único elemento portante se consigue suficiente rigidez por medio de las cargas de tracción para controlar las deformaciones provocadas por cargas estáticas, pero puede tener el inconveniente de que sin embargo su respuesta frente a las cargas móviles, producidas por los peatones o el viento, sea susceptible de ser inadecuado. Esto es debido tanto al valor efectivo de la rigidez de la estructura como al escaso amortiguamiento intrínseco que proporciona su estructura en acero, que puede no ser suficiente para controlar las amplificaciones dinámicas que se producen con determinadas cargas.

Esto se agrava porque las frecuencias de los modos principales de vibración de esta estructura tan ligera está en el rango de las frecuencias normales del paso de los peatones (en el rango de 1 a 3 Hz dependiendo de la velocidad de paso). En nuestra obra los primeros modos de vibración tienen frecuencias de aproximadamente 1 Hz (Fig. 12). Esto provoca que, debido al conocido efecto de acoplamiento de paso de los peatones, sean potencialmente vulnerables frente a los problemas de resonancia.

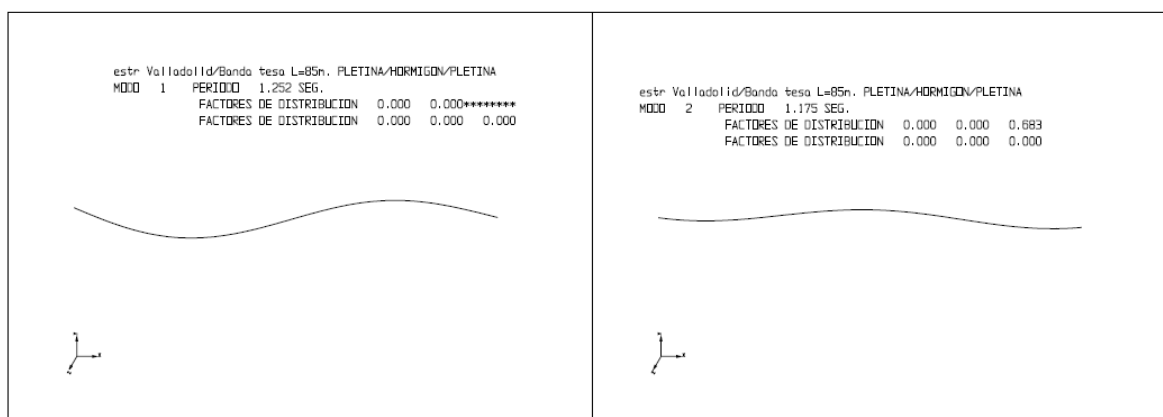


Figura 12. Modos principales de vibración de la estructura. (T1=1.25 seg, T2=1.17 seg)

Por dicho motivo se realizaron cuidadosas comprobaciones y cálculos del nivel de vibraciones que experimenta la estructura frente a las cargas dinámicas de los peatones, según la normativa más reciente relativa a este tema (Eurocódigo 1. Anejo X. Modelo de acciones dinámicas en pasarelas) para conseguir que las aceleraciones no produzcan incomodidad al usuario. Según se recogen en diversos estudios y en la referida normativa están en el rango de 0.5-0.7 m/s² para las aceleraciones verticales y de 0.10-0.15 m/s² para las transversales.

Los cálculos teóricos mostraron que la estructura cumplía con este requisito, teniendo en cuenta además que la situación real sería más favorable pues en la modelización no se incorporaba el amortiguamiento adicional que proporcionan los equipamientos. (Fig. 13)

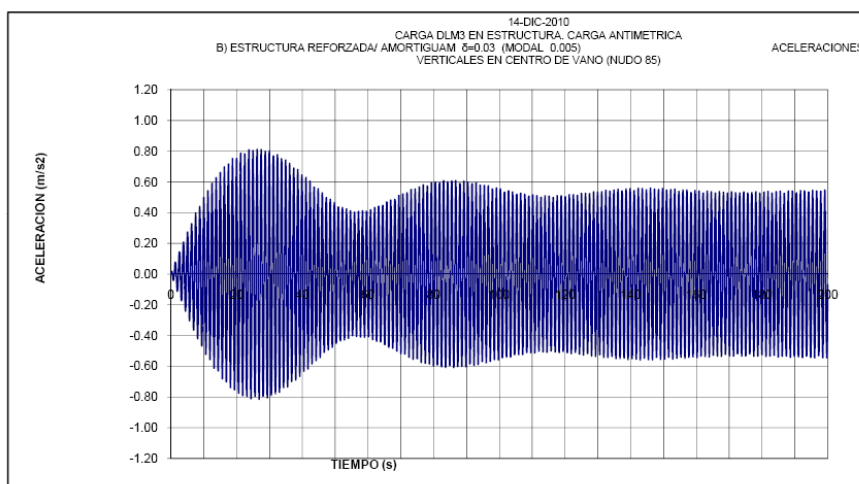


Figura 13. Gráfico de aceleraciones bajo la carga dinámica DLM3

El único detalle que hubo que ajustar para mejorar su comportamiento dinámico es proporcionar a través de las juntas entre piezas prefabricadas una cierta continuidad para rigidizar a torsión la sección. Para ello se empleó un mortero de resina sin retracción.

La obra se sometió una vez concluida tanto a una prueba de carga estática (Fig. 14) como a una detallada prueba de carga dinámica con un grupo de voluntarios, realizado diversas mediciones (Fig. 15).



Figura 14. Prueba estática. Cascada sobre el Pisuerga tras el vaciado de los depósitos

Los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios y no hubo necesidad de adoptar ningún detalle adicional de amortiguación que estaban previstos en proyecto en caso de ser necesario aumentar el amortiguamiento.



Figura 15. Un momento de la prueba dinámica.

6. Acabados finales

La singularidad de la pasarela se complementó con unos acabados de cuidado diseño y ejecución. Se remata lateralmente con barandillas de acero inoxidable acristaladas de cuidado aspecto. Los muros de los estribos se revistieron con piedra caliza blanca. Para el pavimento se eligió una solución flexible a base de caucho, parcialmente reciclado, que aumenta la comodidad al paso.



Figura 16. Vista de los estribos

La iluminación se resuelve en la misma línea, colocando tiras de iluminación LED RGB en el pasamanos de la barandilla, programada para cambiar gradualmente de tonos. Los efectos que se consiguen son muy atractivos. (Fig. 17)

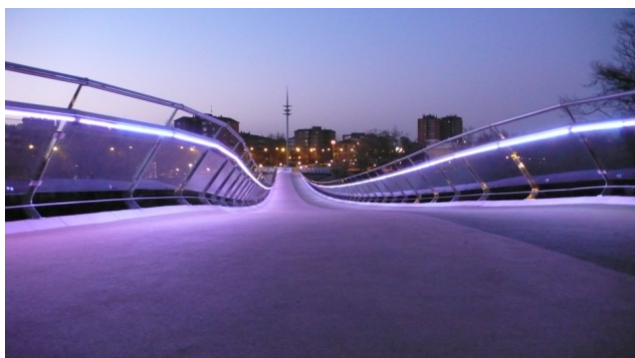


Figura 17. Vista de la iluminación con LED's RGB

Se completa la iluminación con 5 proyectores en un poste de 25 m. en la margen derecha y 18 proyectores ornamentales bajo los estribos. (Fig. 18)



Figura 18. Vista final

La obra se ha completado con un acondicionamiento de las márgenes en el entorno de la obra y en una mejora de la urbanización de las zonas próximas, incluyendo un nuevo acceso peatonal y para situaciones de emergencia hacia las márgenes desde el paseo de Zorrilla con un mirador en voladizo de 15 m. sobre el río que permite unas despejadas vistas de éste y de la nueva obra (Fig. 19).



Figura 19. Mirador en voladizo

Ficha técnica.

Propiedad:

- Ayuntamiento de Valladolid. Francisco Pérez Nieto (ICCP) Eduardo Encabo (ITOP) Pablo Gigosos (Arquitecto)

Proyecto y dirección de obra:

- Carlos Fernández Casado S.L. Javier Manterola (ICCP), Javier Muñoz-Rojas (ICCP) Sara Fernández (ICCP)
- Consulting de ingeniería civil S.L. Juan Alonso-Villalobos (ICCP) Antonio Narros (ITOP)

Construcción:

- COLLOSA. Alvaro García (ITOP), Cristobal de Alba (ITOP)

Lanzamiento de la pletina.

- Proyecto: BRISSA Gonzalo Antúnez (ICCP), Javier Pascual (ICCP),
- Ejecución: Ripoll Consulting de Ingeniería S.L. Javier Ripoll (ICCP)

Prueba dinámica

- INTEMAC. Jorge Ley (ICCP). Javier de la Cuerda (ICCP)