

430 NUDOS Y UN VIADUCTO SOBRE EL RÍO LLOBREGAT EN PUIG REIG

Peter TANNER

Ing. ETHZ/SIA; Ingeniero de CCyP
CESMA Ingenieros
Madrid

cesma@cesmaing.com

Juan Luis BELLOD

Ingeniero de CCyP
CESMA Ingenieros
Madrid

cesma@cesmaing.com

David SANZ

Ingeniero de CCyP
CESMA Ingenieros
Madrid

cesma@cesmaing.com

Resumen

El viaducto sobre el río Llobregat en Puig Reig pone de manifiesto que unos condicionantes exigentes pueden tener un efecto catalizador en la concepción de un puente, inspirando una solución consistente en todos sus aspectos. La estética del sistema adoptado, caracterizado por su funcionalidad y su sencillez formal, ha sido mejorada a través de un diseño cuidadoso de los elementos estructurales y de los detalles constructivos. Este viaducto es un ejemplo de un concepto estructural moderno y tecnológicamente avanzado, compatible con una solución que resiste a las más severas exigencias estéticas, ya que los puentes no necesitan elementos ineficaces ni decoraciones para resultar elegantes. Por otro lado, en comparación con la solución más económica –que en la mayoría de los casos se percibe como mediocre y conservadora–, un puente estéticamente satisfactorio requiere una inversión adicional reducida que normalmente resulta asumible, particularmente en estructuras de gran visibilidad.

Palabras Clave: Viaducto, concepción estructural, tablero mixto, ductilidad, prelosas, perfiles tubulares, detalles constructivos, estética, esbeltez, lanzamiento.

1. Introducción

El desdoblamiento de la autovía C-16 entre Puig Reig y Berga, Cataluña, contribuye a reducir en media hora el trayecto entre esta ciudad y la de Barcelona. Esta obra requería la construcción de un viaducto de considerables dimensiones sobre el río Llobregat, en las inmediaciones de la localidad de Puig Reig. Según el trazado de la autovía el viaducto, que tiene una longitud total de más de 550 m, se sitúa en su mayor parte en recta, con una clotoide y una curva de 600 m de radio en la zona próxima al estribo situado en el lado de Berga, y en alzado cuenta con una pendiente constante del 1,4%. El tablero soporta cuatro carriles de tráfico rodado, dos en cada dirección, además de cuatro arcones y la mediana, con lo que su ancho total es de 23,8 m.

La vigente regulación ambiental no permitía el empleo de maquinaria pesada en las inmediaciones del río, ni la construcción de cimbras o apeos provisionales. Otros condicionantes que resultaron decisivos en la adopción de la solución final para el viaducto fueron los económicos, como suele ser habitual en la mayoría de los puentes. No obstante, debido a la situación del viaducto con su visibilidad desde la localidad de Puig Reig, los promotores deseaban una solución singular, a la vez que moderna y tecnológicamente avanzada. Por todo ello, en el presente caso resultó particularmente importante encontrar una solución con un equilibrio óptimo entre economía y estética.

2. Concepción estructural

El tablero, con una longitud total de 568 m, se resuelve mediante una viga continua de 9 vanos. Debido a la topografía del terreno, la luz del vano lateral en el lado Manresa debía ser de 60 m. En aras de conseguir una geometría armónica, el vano lateral en el lado Berga se resolvió con la misma luz, mientras que los siete vanos intermedios son de 64 m. A pesar del ratio desfavorable de 0,93 entre la luz del vano lateral y la del vano adyacente, frente a otras posibles soluciones con luces menores se adoptó esta disposición por su gran eficacia visual. Efectivamente, la elegancia de un puente viene determinada, de manera decisiva, por su transparencia y esbeltez: un puente se percibe como elegante si entre sus características destaca el empleo eficaz de los materiales, en combinación con luces más bien generosas.

El tablero del puente es mixto, formado por un cajón metálico abierto con una anchura de 6000 mm y una losa de hormigón. En la zona de las pilas el ala inferior de la viga cajón también es mixta, con el fin de incrementar la resistencia

frente a momentos negativos así como la ductilidad del sistema. Con un canto de 2550 mm para la sección metálica, la esbeltez geométrica de los vanos tipo es de 25. Visualmente, la sensación de esbeltez se incrementa a través de la losa que, en ambos lados, vuela 8,9 m sobre el cajón metálico. Cada uno de los voladizos se apoya en un nervio longitudinal, situado a una distancia de 3,5 m del borde del tablero, que transmite las cargas a una celosía espacial, a su vez conectada lateralmente al cajón metálico (Figura 1). Cada celosía está compuesta por el citado nervio, diagonales inclinadas y tirantes horizontales. En alzado, cada pareja de dos diagonales, constituidas por perfiles tubulares de 323 mm de diámetro, forman una V. Tanto los tirantes, dispuestos perpendicularmente al eje del puente, como los nervios longitudinales son mixtos, conformados por perfiles abiertos con sección ovalada, rellenos de hormigón y conectados con la losa. Ésta a su vez está formada por prelasas de 0,07 m de espesor sobre las que se vierte el hormigón in situ completando su espesor total, que varía entre 0,18 m en los bordes y 0,34 m sobre los nervios longitudinales. En la franja central de 6 m de ancho, situada sobre el cajón metálico, el espesor de la losa es de 0,24 m.



Fig. 1 Vista parcial del viaducto terminado (Fotografía: Paco Gómez)

Los nudos entre las diagonales y los nervios longitudinales están separados 8 m, igual que los tirantes horizontales que conectan estos nudos con el ala superior del cajón metálico y los nudos entre las diagonales y el ala inferior del mismo cajón (Figura 2). Debido a la inclinación de las diagonales y su disposición en V, las celosías no solamente transmiten las cargas de los voladizos a la viga cajón, sino que también forman parte del mecanismo de resistencia global del tablero, contribuyendo a la rigidez y la resistencia de la viga mixta [1]. Además, el atractivo estético del tablero se debe en gran parte a esta disposición de las celosías.

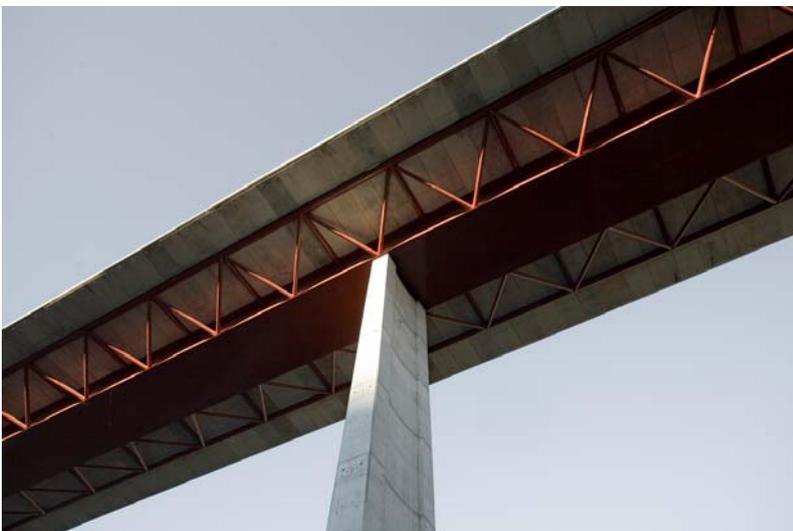


Fig. 2 Vista inferior del tablero y pila con superficies cóncavas (Fotografía: Paco Gómez)

Cada una de las pilas de hormigón armado está constituida por dos fustes de 1,3 m de ancho, separados 4,7 m entre ejes y conectados mediante una pared de hormigón con superficies cóncavas (Figura 2). De este modo resulta un elemento monolítico de hormigón, de 6 m de ancho. El canto de la sección transversal de la pila es ligeramente variable, reduciéndose a un mínimo de 1,4 m en cabeza. A estas dimensiones y formas, así como a su altura de hasta 43 m, deben las pilas su elegancia y esbeltez visual (Figura 3).

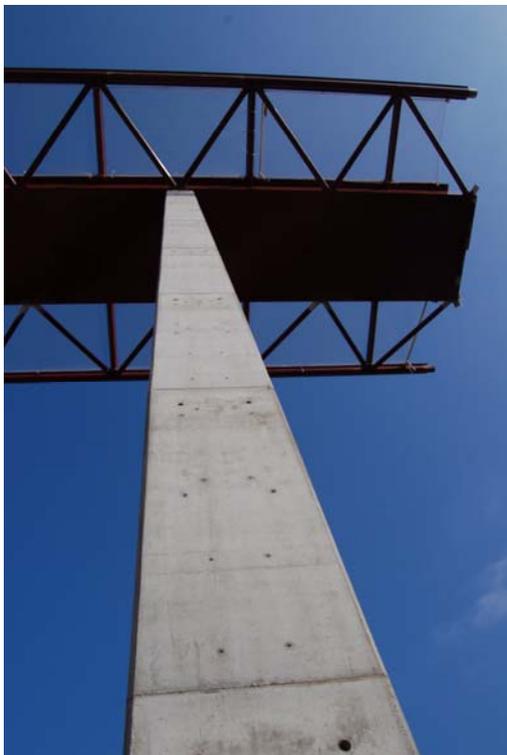


Fig. 3 Pila con una esbeltez geométrica de 25 (Fotografía: Peter Tanner)

3. Detalles constructivos

Los detalles constructivos se han concebido de manera particularmente cuidadosa ya que resultan esenciales para asegurar unas prestaciones adecuadas de los elementos estructurales, lo que incluye la correcta transmisión de las cargas, una adecuada resistencia frente a la fatiga y la rotura frágil, así como una suficiente durabilidad. Una buena concepción de los detalles constructivos también contribuye a mejorar el aspecto visual de un puente.

Las soluciones adoptadas para las uniones entre los elementos de las celosías se ajustan a los siguientes requisitos para la concepción de los detalles constructivos (Figura 4):

- Incluso en los detalles de unión que contienen piezas múltiples, los mecanismos de transmisión de las cargas son inequívocos.
- Los dispositivos de unión están concebidos de forma que respetan sus modos de resistencia más eficaces (por ejemplo, para que transmitan tensiones tangenciales en lugar de tensiones normales).
- Mediante transiciones suaves entre elementos con diferentes secciones transversales se evitan, en la medida de lo posible, las concentraciones de tensiones.
- La concepción de los detalles constructivos es compatible con los métodos de fabricación más sencillos, lo que contribuye a mejorar la calidad de ejecución, reduciendo a la vez los riesgos de la presencia de imperfecciones.

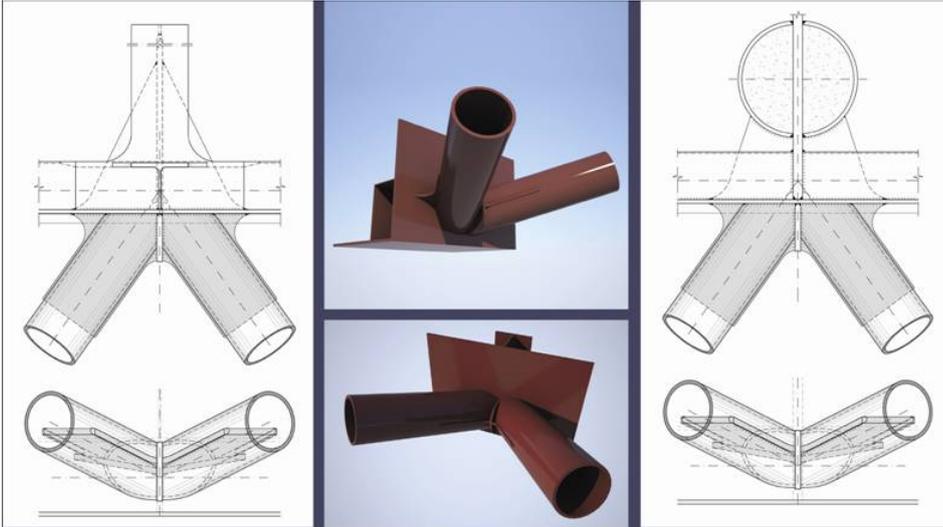


Fig. 4 Uniones entre diagonales y el cajón metálico en una sección con un diafragma tipo (izq.) y de apoyo (der.), respectivamente

4. Proceso constructivo

Una vez ejecutados los estribos y las pilas, la viga cajón metálica se colocó mediante grúas en 7 de los 9 vanos, comenzando desde el estribo situado en el lado de Berga (Figura 5). Con la ayuda de torres provisionales situadas lo más cerca posible del centro de cada vano se redujo la luz de la viga metálica en esta fase constructiva. Debido a que no se permitía la ocupación de las márgenes del río Llobregat, fue necesario recurrir al lanzamiento de la viga cajón en los dos primeros vanos. En esta operación se empleó una nariz de lanzamiento de 12 m (Figura 6) para reducir los esfuerzos y para controlar el riesgo de inestabilidad por la introducción de cargas concentradas en las almas esbeltas del cajón. Posteriormente se colocaron las prelosas prefabricadas, se completó la sección de la losa vertiendo el hormigón in situ y, finalmente, se retiraron las torres provisionales.



Fig. 5 Vista parcial del viaducto con diferentes fases de la construcción (Fotografía: Peter Tanner)



Fig. 6 Lanzamiento de la estructura metálica (Fotografía: Peter Tanner)

5. Análisis estructural

Se desarrolló un análisis elastoplástico [2] para comprobar la seguridad estructural durante la construcción y en el estado final del puente. Sin embargo, dado que debido a su flexibilidad la deformada de la estructura depende de las fases constructivas, los efectos de las acciones se calcularon según la teoría elástica, teniendo en cuenta el proceso evolutivo del sistema estructural. De acuerdo con los resultados así obtenidos, se definió una contraflecha para la viga cajón que compensara la deformación debida al peso propio, a las cargas permanentes y a la retracción y fluencia.

Referencias

- [1] TANNER P. and BELLOD J.L., "Modesty prevails: Llobregat river bridge in Spain", *Bridge Design and Engineering*, Issue 51, 2008, ISSN 1359-7493, pp. 30-31.
- [2] TANNER P. and BELLOD J.L. "Increasing reliability of composite bridges by reducing steel. Ductility versus Brittleness." In: *Composite Bridges. State of the Art in Technology and Analysis* (Martínez Calzón, Ed.). Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 2002. ISBN 84-380-0221-8.

Datos del proyecto

Propiedad	GISA (Gestió d'Infraestructures S.A.)
Ingeniería estructural	Cesma Ingenieros
Contratista	UTE FCC – COMSA – COPCISA – COPISA
Subcontratista para la estructura de acero	Iturmo
<hr/>	
Longitud total [m]	568
Ancho de tablero [m]	23,80
Acero estructural [t]	2500
Hormigón in situ	
- En estribos [m ³]	4580
- En pilas [m ³]	2700
- En tablero [m ³ /m ²]	0,22
Acero de armar	
- En estribos [t]	347
- En pilas [t]	228
- En tablero [t]	643
Coste total de la estructura [Millones de Euros]	10,2