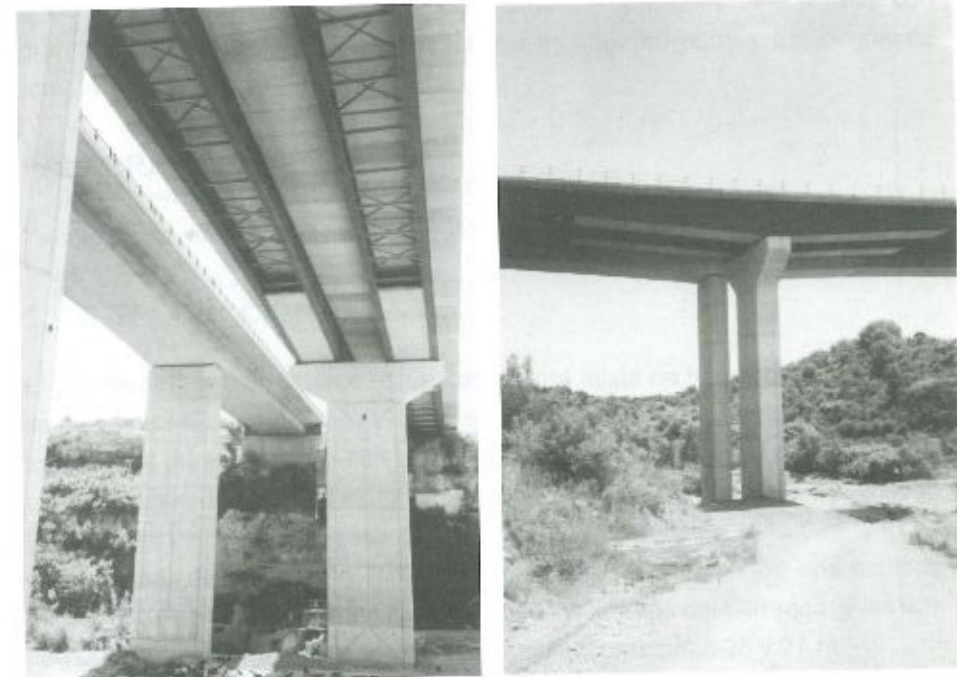


**III CONGRESO DE ACHE DE
PUENTES Y ESTRUCTURAS**

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



Realizaciones



**PUENTE MIXTO SOBRE EL RÍO MIJARES EN LA
SEGUNDA CALZADA DE LA AUTOVÍA DE LA PLANA,
TRAMO BETXI-BORRIOL**

Francisco **MILLANES MATO**¹, Antonio **CARNERERO RUÍZ**²

¹ Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IDEAM, S.A.

² Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IDEAM, S.A.

RESUMEN

En la presente comunicación se describe el puente mixto recientemente construido sobre el río Mijares dentro de las obras de la segunda calzada de la Autovía de la Plana en Castellón. A diferencia de las habituales soluciones en sección cajón, comúnmente empleadas para este tipo de puentes y luces, se optó por desarrollar una solución mixta con sección formada por dos parejas de vigas arriostradas entre sí, formado elementos de gran simplicidad, con grandes ventajas de fabricación en taller y montaje en obra, y estéticamente atractivos.

PALABRAS CLAVE

Puente mixto, arriostramientos, hormigón de fondo, bijácena, montaje con grúa.

1. INTRODUCCIÓN

El puente sobre el río Mijares es una estructura mixta de hormigón – acero que se encuentra situada en la provincia de Castellón, y salva el barranco que el río forma en el punto de cruce con la segunda calzada de la Autovía de La Plana. La distribución de luces se ajusta a la de la estructura de hormigón pretensado ya existente en la primera calzada, con una longitud total de 161.20 m, y luces entre puntos de apoyos de $48.6 + 64 + 48.6$ m, en la que los dos estribos quedan situados en los bordes superiores de las laderas del barranco, y las dos pilas se sitúan dentro de la zona de cauce, con alturas entre 25 y 27 m.

La construcción del puente se llevó a cabo durante los primeros meses del año 2004 por parte de las empresas constructoras Rover Alcisa y Dragados, unidas en la UTE Betxi-Borriol, siguiendo el proyecto previamente encargado a IDEAM. Los condicionantes para la realización del mismo fueron el desarrollar una solución que evitara la colocación de cimbras sobre el cauce del río, para independizar la construcción de las condiciones del terreno y de las posibles avenidas del cauce torrencial, típico de estas zonas, y el lograr un montaje de la estructura rápido y sencillo, que minimizase la afección a la calzada de la autovía en servicio.

Tras el correspondiente análisis de soluciones, se optó finalmente por desarrollar una solución mixta formada por cuatro vigas doble "T", unidas

superiormente por una losa de hormigón "in situ" y con doble acción mixta en la zona de pilas.

En los próximos apartados se describen las características principales de la estructura y se analizan los aspectos más destacados de la misma. Finalmente se detalla el procedimiento de construcción empleado.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y ASPECTOS DESTACADOS A RESEÑAR

Tablero

La geometría del puente en planta es recta, mientras que en alzado se encuentra dentro de un acuerdo cóncavo.

La anchura total es de 17 m dividida de la siguiente forma: 0.30 m (barrera lateral) + 3.20 m (carril - bici) + 0.50 m (barrera rígida de separación del tráfico de vehículos a motor) + 1.00 m (arcén) + 3 x 3.5 m (carriles de circulación) + 1.00 m (arcén) + 0.50 m (barrera rígida).

En alzado, el tablero presenta canto variable, con variación parabólica desde un máximo de 3.10 m en las secciones de apoyo en pilas, y un mínimo de 1.80 m en las secciones del centro del vano intermedio y de apoyo sobre los estribos, con lo que la relación canto/luz es de 1/20.6 en pilas y de 1/35.5 en centro de vano.

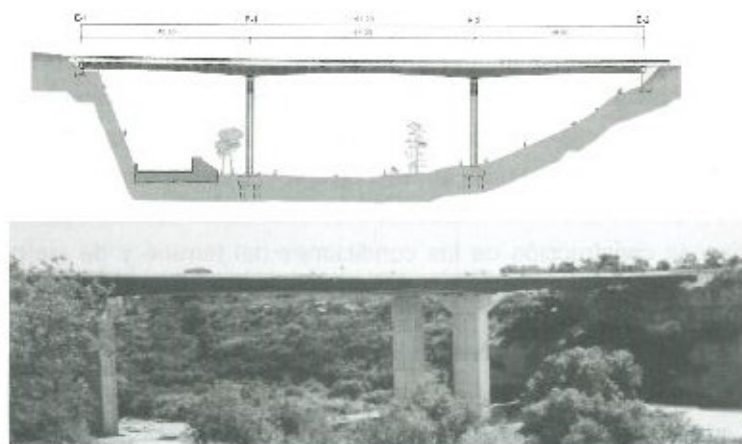


Figura 1. Alzado

Transversalmente se ha recurrido a plantear una sección formada por cuatro vigas doble "T" conectadas exclusivamente por la losa superior del tablero de 0.25 m de espesor constante, y por arriostramientos horizontales formados por perfiles laminados cada 4.00 m aproximadamente, uniéndose exclusivamente las vigas por parejas, y dejando sin conectar las vigas intermedias.

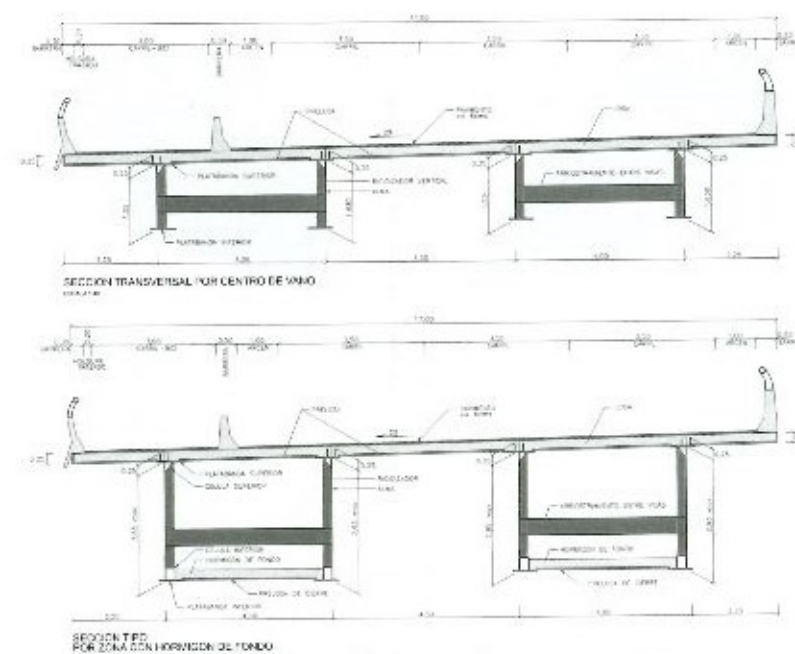


Figura 2. Secciones transversales

Este tipo de solución se ha venido desarrollando profusamente en las últimas décadas en Francia, buscando las formas más sencillas tanto de ejecución como de montaje. En España, sin embargo, se ha continuado empleando habitualmente la solución en cajón cerrado, que presenta unas indudables ventajas resistentes para casi la totalidad de los posibles casos que se pueden presentar en la práctica, pero también algunos inconvenientes de índole constructivo y económico.

En nuestro caso, la solución de vigas armadas aportaba las siguientes ventajas:

- a) Construcción en taller de la totalidad de los elementos metálicos, sólo siendo necesario realizar en obra las soldaduras transversales entre los tres tramos en los que se divide el puente para su montaje.
- b) Sencillez de transporte de cada pareja de vigas, con una anchura máxima de 4.40 m, y facilidad de montaje mediante grúas.



Figura 3. Pareja de vigas del vano central sobre camión

- c) Máximo aprovechamiento de las alas inferiores al eliminarse las reducciones por ancho eficaz, concentrando todo el acero en alas de espesores superiores a los empleados en los fondos de las soluciones cajón y suprimiendo los rigidizadores longitudinales y transversales de estos fondos.
- d) Eliminación de las celosías transversales y de las cartelas de unión, con la consiguiente reducción de los costes de material y de mano de obra en taller.

En las secciones de pila, y a diferencia de las soluciones francesas, se dispuso doble acción mixta, hormigonando la losa inferior sobre prelosas prefabricadas apoyadas sobre los bordes interiores de las alas inferiores y conectando este hormigón con los bordes laterales de la sección mediante pernos. De esta

forma se consigue un comportamiento dúctil de las secciones de pila y se eliminan los problemas de pandeo lateral del cordón comprimido.

Como inconveniente de la solución de vigas, hay que señalar que tiene una peor respuesta frente al reparto de la acción del vehículo pesado y las sobrecargas excéntricas, así como, en los puentes de planta curva, no como el que nos ocupa, para recoger los efectos de la curvatura.

Para eliminar los incrementos de costes en pintura que las soluciones de vigas presentan frente las soluciones cajón, al tener una mayor superficie expuesta a la intemperie, se optó por el empleo de acero autopatinable S355 J2G2W.

La cuantía de acero final resultante en el tablero fue de 145 kg/m².

Pilas

Cada una de las dos pilas del puente de alturas 27 y 25 m, está formada por una sección rectangular hueca de 6.90 x 2.00 m y paredes de 0.30 m construidas con encofrado trepante. La forma del fuste de estas pilas se asemeja a la de la estructura paralela previamente construida, para mantener la uniformidad del conjunto. En la zona superior se dispuso un ensanchamiento de forma trapezoidal para dar cabida a los apoyos de las cuatro vigas del tablero.

Las pilas descansan sobre un encepado de 2.3 m de canto, en el que se empotran seis pilotes de 1.5 m de diámetro trabajando por punta en la roca del sustrato inferior.

La base de la pila se protegió en todo su perímetro mediante una escollera que impidiese la posible socavación del terreno circundante en el caso de avenida del río.

Estribos

El diseño de los estribos es convencional y está formado por el muro frontal de apoyo de la estructura y los muros en vuelta y aletas de contención de tierras. Se sitúan en los bordes de las laderas del barranco y se cimentan mediante zapatas directamente a la roca.

3. ARRIOSTRAMIENTOS ENTRE VIGAS

Las funciones de los arriostramientos transversales entre vigas en los puentes bijacena franceses, sin doble acción mixta, son los siguientes:

- Mejorar el reparto de carga entre vigas frente a la acción de cargas puntuales.
- Recoger los efectos de la curvatura en planta del puente
- Eliminar los riesgos de pandeo lateral en el cordón superior de las secciones de centro de vano durante montaje, y en el cordón inferior de las secciones de pila durante las fases constructivas y una vez finalizado el puente.
- Transmitir las acciones de viento desde las almas de las vigas a la losa superior.

En nuestro caso, todas estas funciones se reducían o eliminaban salvo la última, debido a las siguientes razones:

- Se confió el reparto transversal entre vigas exclusivamente a la losa del puente, no dimensionando los arriostramientos transversales para mejorar este aspecto.
- Al ser la planta del puente recto, no existían efectos debidos a la curvatura.
- La presencia del hormigón de fondo en las secciones de pila eliminaba los riesgos de pandeo lateral de las alas inferiores de esta secciones, siendo necesario controlar exclusivamente que durante las fases constructivas, cuando estas secciones se encontraban sometidas al peso propio del metal y al peso del hormigón fresco de la losa inferior, la anchura del ala inferior fuese suficiente para evitar posibles inestabilidades. En cuanto a las alas superiores en las secciones de centro de vano, se dispuso una celosía uniendo parejas de vigas, solamente en ciertas zonas puntuales a lo largo del puente para limitar la luz libre frente a pandeo del cordón

comprimido. En concreto, en el vano lateral, se dispuso exclusivamente en los 16 m adyacentes al estribo, quedando limitada la zona con posible riesgo de pandeo a la comprendida entre el final de esta celosía y el comienzo de la zona con hormigón de fondo, donde junto con los elementos de arriostramientos se materializaban marcos transversales que bloqueaban el desplazamiento horizontal del cordón superior. En el vano central se dispuso la celosía superior en sólo en los 12.0 m a continuación de la zona con hormigón de fondo.

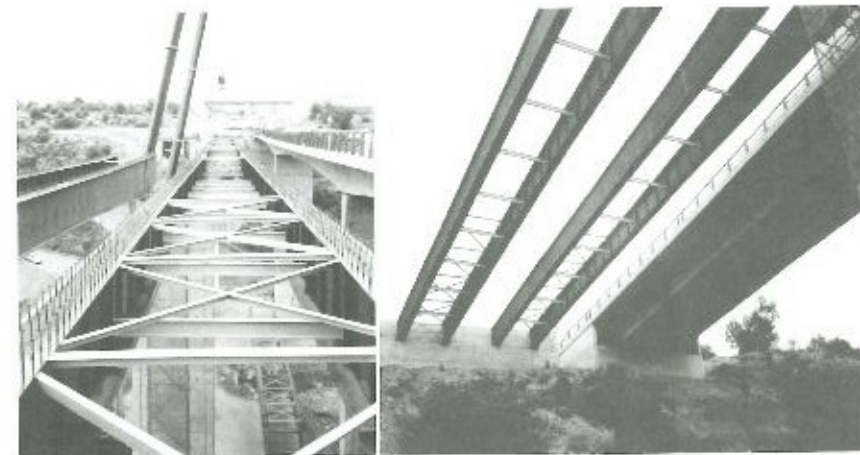


Figura 4. Vista superior e inferior de las celosías y arriostramientos

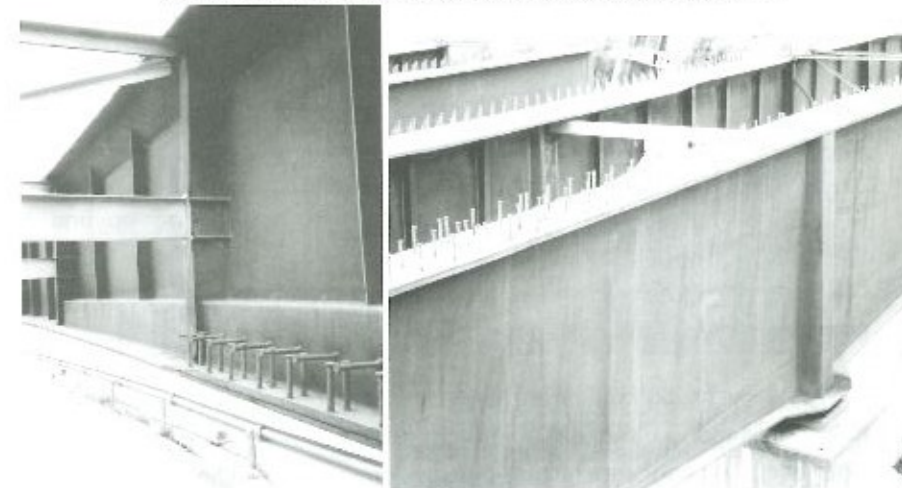


Figura 5. Detalle de la conexión de la losa inferior sobre pilas y del rigidizador sobre apoyo

Además, el arriostramiento entre vigas resultaba básico para cubrir una nueva función, derivada del uso de la doble acción mixta. La colocación óptima de la chapa que forma el ala inferior en la zona comprimida obligaba a descentrar su posición respecto al eje del alma, para conseguir de esta forma que la zona del ala que quedaba en el lado exterior de la viga, no arriostrada por el hormigón de fondo, fuese compacta. Esta disposición convertía a la sección de la viga doble "T" en asimétrica respecto al plano vertical por el alma y por tanto, con tendencia a flexionar, tanto en vertical como en horizontal. La flexión en este último sentido debía ser controlada por los arriostramientos transversales, siendo este elemento el que realmente convertía cada pareja de vigas en una sección simétrica. Este efecto, es el mismo que se produce en todas las secciones con alas descentradas respecto al punto de unión con el alma, siendo quizás más conocido en las secciones cajón de hormigón, donde es necesario considerar una tracción o compresión transversal continua en las tablas superior e inferior a lo largo de todo el puente de valor máximo:

$$F_{\max} = \frac{P \cdot v \cdot t_s \cdot b_s^2}{8 \cdot I}$$

P carga vertical por unidad de longitud

v distancia al centro de gravedad de la sección

t_s espesor del ala

b_s ancho del ala

I inercia de la sección

4. DIAFRAGMAS DE APOYO

En las secciones de apoyo sobre estribos y pilas, se dispuso una celosía transversal de arriostramiento uniendo cada pareja de vigas, cuya función básica era la de trasladar las cargas horizontales de viento desde la losa de hormigón hasta la base de apoyo de las vigas.

Bajo cada viga, se colocó un apoyo de neopreno zunchado, centrado con el alma, facilitando la transmisión directa de la carga vertical desde el alma de la viga hasta la subestructura. De esta forma se eliminaba la necesidad de trasladar transversalmente la carga por el mamparo hasta el apoyo, como ocurre habitualmente en los puentes mixtos en sección cajón, simplificando extraordinariamente los diafragmas.

Al disponer los apoyos centrados con las almas, los rigidizadores verticales situados en estos puntos quedan visibles desde el exterior, por lo que se trató de cuidar su apariencia estética, diseñándolos con sección transversal cerrada en forma de hexágono y dimensiones decrecientes en altura. El resultado final, lejos de crear una discontinuidad inaceptable en la cara externa de las vigas, marca de manera atractiva los puntos de apoyo del puente sin romper la línea formal del conjunto.

5. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El proceso de construcción del tablero del puente se planteó mediante la división de toda la estructura metálica en tres tramos. Cada uno de los tramos a su vez, quedaba dividido en dos partes, cada una de ellas formada por una pareja de las cuatro vigas que componían la sección transversal.

Dos de los tramos se correspondían con la totalidad de los vanos laterales del puente más 8.0 m del vano central, y eran los que se colocaban primero, apoyándose en los estribos y en las pilas ya construidas.



Figura 6. Montaje del vano lateral

Posteriormente se colocaba el tramo central del puente, apoyándolo en los extremos de los dos tramos previamente colocados, y soldándose a ellos, completando de esta manera la totalidad de la estructura metálica.

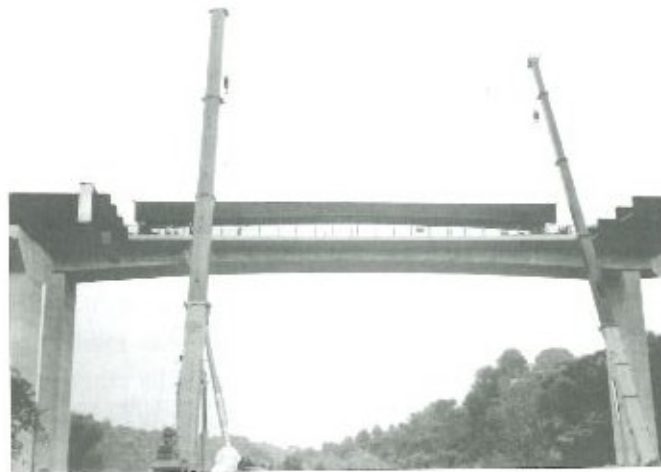


Figura 7. Montaje del vano central

A continuación se colocaban las prelosas en la zona con hormigón de fondo, se ferrallaba y se hormigonaba la losa inferior en ambas pilas.

Seguidamente, y una vez endurecido el hormigón de fondo, se colocaban a lo largo de todo el puente las prelasas superiores, se ferrallaba y se realizaba en una sola fase todo el hormigonado de la losa superior, siguiendo el orden previamente fijado para limitar los esfuerzos sobre la estructura metálica.

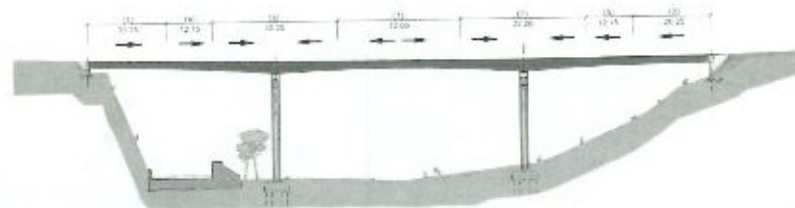


Figura 8. Fases de hormigonado de la losa

Por último, se realizaba la colocación de impostas y barreras, la impermeabilización, la pavimentación, la colocación de juntas y la prueba de carga, cuyo resultado fue plenamente satisfactorio.



Figura 9. Vistas del puente acabado

6. ORGANISMOS, EMPRESAS PARTICIPANTES

Propiedad:	Oficina del Pla de Carreteres
	Direcció General d'Obres Públiques, Divisió de Carreteres
	Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports
Autor del proyecto:	IDEAM S.A.
Empresa Constructora:	BETXI-BORRIOL UTE (ROVER ALCISA-DRAGADOS)