





# Paso superior sobre la Autovía Mudéjar en Sabiñánigo

Overpass over the Mudejar Highway in Sabiñanigo

### Juan Luis Bellod Thomasa

<sup>a</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cesma Ingenieros, S.L. Director General. cesma@cesmaing.com

#### **RESUMEN**

Dentro del proyecto de la nueva Autovía Mudéjar (A-23), en su tramo Caldearenas-Lanave, se proyectó un paso superior, denominado 3.6, constituido por una estructura mixta integral de canto variable con un único vano de 39,5 m de luz. El ancho total del tablero es de 10,26 m y la longitud total de la estructura de 53,5 m, incluyendo los estribos de hormigón armado con su cara frontal inclinada. La conexión tablero-estribo se formalizó mediante el anclaje de la armadura del tablero y la prolongación del cajón metálico en el interior de los muros de estribos. Esta tipología da solución al paso sobre la autovía, respetando el gálibo impuesto y evitando la necesidad de colocar un apoyo intermedio en la mediana.

#### **ABSTRACT**

Within the project of the new Mudejar Highway (A-23), in its Caldearenas-Lanave section, an overpass was designed, referred to as 3.6. It consists of a 39,5 m single span composite integral structure with variable depth. The width of the deck is 10,26 m and the total length of the structure is 53,5 m, including the reinforced concrete abutments with their inclined front face. The connection between abutments and deck is done through the anchorage of the deck reinforcement and the extension of the steel box section into the inside of the abutments. This typology solves the overpass of the highway, without invading the required clearance, while avoiding the construction of an intermediate support in the median strip of the road.

PALABRAS CLAVE: Proyecto y cálculo, estructura mixta integral, canto variable, estribo singular **KEYWORDS:** Design and analysis, integral composite structure, variable depth, special abutment

#### 1. Introducción

El paso superior 3.6 se sitúa dentro del proyecto de la nueva Autovía Mudéjar (A-23), en concreto en su tramo Caldearenas-Lanave, en la provincia de Huesca.

La Autovía Mudéjar, o Autovía de Valencia a Francia por Aragón, conecta la ciudad de Sagunto con el paso de Somport a Francia, a través de las tres capitales aragonesas, convirtiéndose no sólo en una importante vía de comunicación europea (Ruta Europea E07), sino también en un importante eje vertebrador de Aragón

#### 2. Condicionantes

El diseño del paso superior se encuentra condicionado, fundamentalmente, estricto gálibo vertical y la imposibilidad de disponer un apoyo intermedio en la mediana de la autovía, lo que limita las posibles tipologías estructurales si, adicionalmente, se pretende evitar la adopción de estructuras sobre rasante que supongan un impacto visual importante.

### 3. Concepción estructural

Con el objetivo de cumplir los condicionantes anteriores, se plantea un tablero mixto conformado por un cajón metálico abierto por arriba y una losa superior de hormigón de un único vano sobre la anchura total de la autopista, definiendo dos estribos integrales de grandes dimensiones capaces de generar un empotramiento en ambos extremos del tablero mixto, con lo que se consigue una significativa reducción del canto del mismo.



El único vano tiene una luz de 39,5 m, mientras que la longitud total de la estructura, incluyendo los estribos, es de 53,5 m. El tablero tiene una anchura de 10,26 m, dentro de la cual se incluyen dos carriles de circulación de vehículos, de 3,5 m cada uno, dos arcenes de 1,0 m de anchura y sendas barreras de protección.

La tipología mixta del tablero está formada por un cajón metálico de canto variable, entre 1,0 m en el centro de vano y 2,0 m en la sección de empotramiento en los estribos, y tres almas verticales, siendo la anchura total del cajón igual a 4,7 m. Sobre el cajón metálico se dispone una losa de hormigón armado de canto variable, entre los 0,28 m en el centro de la sección hasta los 0,20 m en los bordes (lo que permite formalizar un bombeo del 2%), que se ejecuta

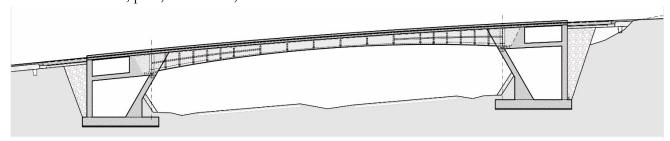
con ayuda de una chapa grecada, a modo de encofrado perdido, en la zona del cajón y mediante un encofrado tradicional sobre cimbras en los dos voladizos laterales de 2,75 m de luz, permitiendo la obtención de una gran calidad de acabado en la superficie exterior de la losa.

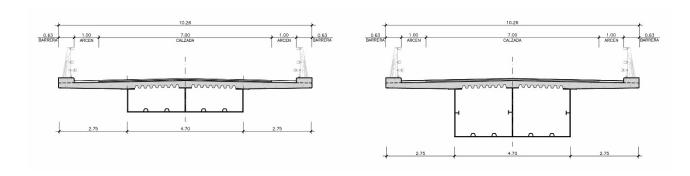
Adicionalmente, para mejorar el comportamiento de la sección mixta y optimizar la cuantía final de acero, se dispone doble acción mixta en las zonas de empotramiento en los estribos.

Para los estribos, que deben ser capaces de compensar los esfuerzos derivados del empotramiento del tablero y transmitirlos al terreno, se define una estructura espacial en la que se da continuidad al tablero mediante losas y

muros de hormigón armado. Se disponen un total de tres muros longitudinales paralelos al eje del puente, en continuidad con las tres almas del cajón, que llegan hasta la cota superior de la losa del tablero y nacen en la cimentación del estribo. Se definen además dos losas horizontales, una en continuidad con la losa superior del tablero mixto y la otra en continuidad con la platabanda inferior del mismo, para, finalmente, definir dos

muros verticales, transversales al eje del puente, que cierran el conjunto y permiten transmitir los momentos de empotramiento del tablero a la cimentación mediante un par de esfuerzos tracción-compresión, transmitiendo los esfuerzos cortantes a través de los muros longitudinales. La cimentación es superficial mediante zapata.





#### 4. Dimensionado de la estructura

Para el cálculo y dimensionado de la estructura se plantea, con objeto de representar adecuadamente su comportamiento integral, la realización de un modelo global 3D incluyendo el tablero mixto y los estribos.



Figura 4. Vista general del modelo de cálculo 3D.

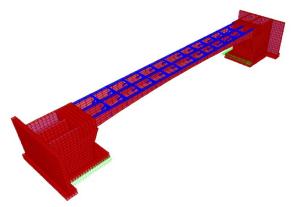


Figura 5. Vista del modelo de cálculo 3D.

Para poder estudiar adecuadamente los esfuerzos en los estribos y en la cimentación, se realiza un cálculo evolutivo con las diferentes fases de ejecución y se considera, para el apoyo de la zapata en el terreno, la adopción de muelles no lineales que permiten que la zapata se levante del terreno.

A partir de este modelo es posible realizar el dimensionado de los estribos, el armado transversal de la losa superior del tablero, la comprobación de los rigidizadores y diafragmas, y la verificación tensional y deformacional en servicio del tablero.

Para la comprobación del ELU del tablero a nivel seccional, se realiza un modelo equivalente tipo viga para el que se consideran unas rigideces equivalentes a la coacción de los estribos. Estas coacciones, de tipo lineal, se obtienen mediante la comparación de deformaciones en ambos modelos: tipo viga y 3D completo.

#### 5. Detalles

Como detalle más significativo, desde el punto de vista estructural, es necesario destacar el detalle de conexión entre el tablero mixto y los estribos, ya que debe ser capaz de transmitir el esfuerzo flector de empotramiento del tablero, que es el momento máximo al que se ve sometido el tablero.

En primer lugar, es necesario transmitir al muro trasero de los estribos la tracción que provoca el flector negativo, en la armadura y las platabandas superiores. Para ello se prolonga la armadura de la losa superior del tablero hasta solaparla con la armadura vertical del muro, de forma que la transmisión de esfuerzos directa, compensando la fuerza de desvío compresiones en los muros verticales. Para garantizar la transmisión de la tracción de las platabandas superiores, se prolongan estas últimas por el interior de la losa superior de los estribos, incorporando los esfuerzos de tracción a la armadura de la losa mediante pernos conectadores.

De igual modo, para transmitir los esfuerzos de las almas a los muros verticales de los estribos, se prolongan las almas embebiéndolas en los muros e incorporando las cargas a los mismos mediante la disposición de pernos conectadores. Para la compresión resultante, en la platabanda inferior y la losa inferior de hormigón del tablero, se decide prolongar la platabanda inferior, al igual que en los casos anteriores, y disponer conectadores, de forma que la compresión de la losa inferior del tablero pueda transmitirse por contacto directo a la losa intermedia de los estribos, mientras que la compresión de la platabanda inferior se transmite a través de la conexión de una forma más distribuida.





#### 6. Proceso constructivo

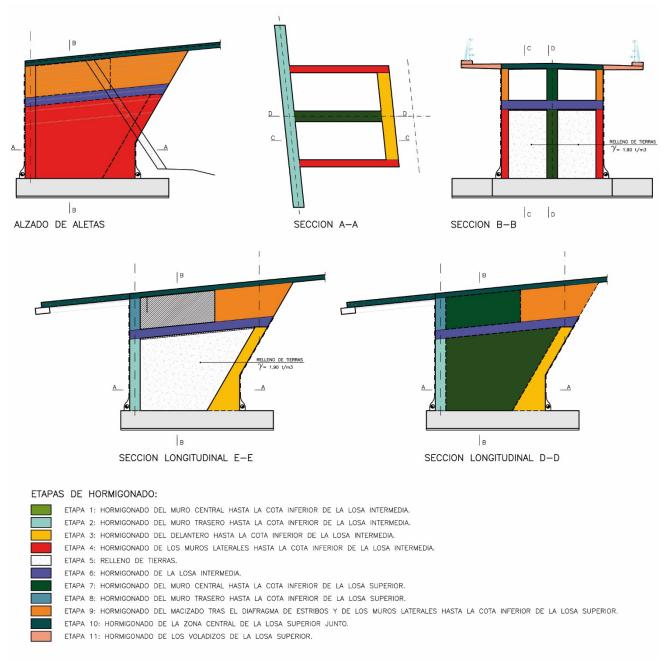
Para la ejecución de la estructura se distinguieron varias fases principales:

- ejecución de los estribos hasta la cota inferior del tablero;
- colocación del cajón metálico;
- hormigonado de fondo de cajón y ejecución de estribos hasta cota superior del cajón metálico;
- hormigonado del tramo entre platabandas de la losa superior del tablero sobre chapa grecada y de la losa superior de los estribos;

- hormigonado de los voladizos de la losa superior.

El proceso de cálculo se definió, específicamente, con el objetivo de optimizar la cuantía de acero estructural del tablero, minimizando las cargas que deben ser resistidas por el cajón metálico por sí solo.

Debido a la especial configuración y geometría de los estribos, se definieron en detalle las fases de hormigonado de los diferentes elementos de los mismos, de forma que fuese posible garantizar la correcta ejecución de todas las fases de forma consistente con el proceso de cálculo realizado, garantizando la idoneidad de las contraflechas definidas.





# VIII Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Estructural ACHE



La zona interior inferior de los estribos se rellena de tierra con objeto de mejorar la estabilidad del conjunto y minimizar el levantamiento de las facilitando, adicionalmente, zapatas, hormigonado de la losa intermedia, que se ejecuta apoyada directamente sobre el relleno sin necesidad de disponer ningún tipo de encofrado perdido.

El cajón metálico se montó sobre los estribos en una única pieza, que fue transportada entera en un transporte especial, no siendo necesaria la realización de ninguna soldadura en obra. El cajón metálico se dispuso sobre los estribos en una única maniobra mediante la ayuda de una grúa situada en la zona central.



Figura 9. Transporte especial con el cajón metálico.



Figura 10. Montaje del cajón metálico.

Finalmente, una vez terminado el proceso de ejecución de la estructura, se procedió a la colocación de la capa de rodadura, las barreras y el resto de elementos de acabado.

#### 7. Estética

Como parte fundamental del diseño de cualquier puente, es esencial tener presente en todo momento cuál será la estética o apariencia final de la estructura, ya que, además de cumplir con su misión funcional de dar soporte y continuidad a la vía de transporte superior, debe minimizarse el impacto visual sobre el entorno natural en el que se encuentre, de forma que, para la percepción de los usuarios u otros observadores externos, no se presente como un elemento claramente invasivo y fuera de escala con respecto al resto de elementos, artificiales o naturales, que lo rodean.

En el caso concreto del paso superior sobre la Autovía Mudéjar, puede observarse como la estructura se integra perfectamente en el entorno mediante la implementación de una serie de medidas que han sido consideradas desde las primeras fase de diseño, dando como resultado un paso que integra funcionalidad con una estética minimalista, con la que se consigue que la estructura no destaque de forma intrusiva en el campo visual, dando una sensación de ligereza

poco habitual en puentes de un único vano sin estructura superior, siendo la relación canto/luz en el centro de vano del orden de 1/30.

Dentro de las medidas que han consideradas como parte del proceso de diseño desde su inicio y que han tenido un claro impacto en el valor estético final de la obra, se puede destacar el hecho de definir con una cierta inclinación el alzado de los muros frontales de los estribos, de modo que se consigue el doble efecto de reducir la luz efectiva del puente y de reducir el impacto visual de los estribos, ya que el muro frontal se aleja de la cuneta en su parte más baja permitiendo una mayor amplitud visual bajo el tablero. Otra medida que claramente ha contribuido a la estética final de la estructura, ha sido el considerar una tipología de canto variable para el cajón metálico, de forma que las secciones con mayor peso visual se alejan de la zona central, integrándose en los muros inclinados, potenciando la sensación de ligereza del tramo central donde se concentra la mirada del espectador, enmarcando el paisaje que se encuentra detrás de la estructura.



Figura 11. Vista frontal del paso superior.





Figura 12. Detalle estribo.

Figura 13. Vista inferior del tablero

## Ficha técnica de la estructura

Datos de la obra	
Ubicación	Huesca
Año de ejecución	2018
Propiedad	Seitt. Ministerio de Fomento
Proyecto constructivo y asistencia técnica	Cesma Ingenieros
Empresa contratista	Ferrovial Agromán
Datos técnico	s
Longitud total	53,5 m
Luz	39,5 m
Ancho del tablero	10,26 m
Canto del tablero	Var. de 1,28 a 2,28 m
Espesor de hormigón in situ	0,25 m
Cuantía de acero estructural en tablero	$183 \text{ kg/m}^2$
Cuantía de acero de armar en tablero	$44 \text{ kg/m}^2$
Presupuesto de ejecución material	435.512 €