

Proyecto y construcción del viaducto mixto sobre el embalse de Mularroya

Detail design and construction of the composite steel and concrete viaduct over the Mularroya Reservoir

Miguel ORTEGA CORNEJO

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Director de Ingeniería

miguel.ortega@ideam.es

M^a Reyes GARCÍA ORDUÑA

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Ingeniero proyectista

reyes.garcia@ideam.es

Pedro ATANASIO UTRILLA

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Jefe de proyectos

pedro.atanasio@ideam.es

Juan Luis MANSILLA DOMINGUEZ

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Jefe de proyectos

juanluis.mansilla@ideam.es

Narciso PULIDO ASÍN

Ingeniero de Caminos

SACYR CONSTRUCCIÓN

Jefe de Proyecto

npulido@sacyr.com

RESUMEN

El Viaducto de Mularroya se proyecta en la N-IIa a su paso sobre el embalse de Mularroya, mediante un viaducto mixto continuo con 8 vanos con una longitud total de 445 m y vano tipo de 60 m. Para la sección transversal del puente se ha optado por una sección bijácena en cajón estricto con doble acción mixta, con claras ventajas frente a las soluciones más convencionales en cajón mixto. En el artículo se describe la concepción y los detalles de la estructura metálica, en los que se ha prestado especial atención a la fatiga, así como el proceso constructivo seguido para su ejecución.

ABSTRACT

The Mularroya Viaduct on the N-IIa over the Mularroya reservoir is designed as a continuous composite road bridge with 9 spans of a total length of 445 m and a typical span of 60 m. It has been designed as a twin girder cross section instead of the more conventional steel box solution, due to its distinct advantages. The paper describes the conception and detailing of the steel structure, with a special focus on fatigue; the use of the double composite action in hogging areas, as well as the constructive process that was used in its execution.

PALABRAS CLAVE: Puente mixto, sección bijácena, doble acción mixta, fatiga, soldaduras.

KEYWORDS: Composite bridge, twin girder, double composite action, fatigue, welding.

1. Introducción

El Viaducto de Mularroya se proyecta en la N-IIa a su paso sobre el embalse de Mularroya, entre los términos municipales de la Almunia de Doña Godina, Chodes y Ricla en la provincia de Zaragoza.

El Embalse de Mularroya se ubica en el cauce del río Grio, próximo a su desembocadura en el río Jalón. Una vez finalicen las obras de la presa en curso, está previsto que el embalse inunde unos 10 km de las carreteras N-IIa y A-2302 lo que ha llevado a la necesidad de reposición de estas vías.

El nuevo trazado de la N-IIa cruza sobre el vaso del Embalse, con una altura máxima de la rasante sobre el terreno de unos 45m y da lugar a un puente de 445 m de longitud total (Figura 1).



Figura 1. Vista general de la traza del puente con las pilas en ejecución en la zona del futuro embalse (enero 2017)

El viaducto, que actualmente se encuentra en fase de ejecución (Figura 1), se ha diseñado con un ancho de 11,50m y una distribución de vanos de 37+6x60+48 m; distribución condicionada por la posición del estribo E-2 y el último vano, situados en una zona de notable inclinación de ladera.

El puente se resuelve mediante un tablero mixto de sección bijácena en cajón estricto con doble acción mixta en las zonas de negativos, y arriostrado transversalmente mediante marcos transversales en H. Esta tipología, aplicada al rango de luces del caso que nos ocupa, da lugar a una cuantía muy competitiva y a soluciones y uniones sencillas desde el punto de vista de la fabricación, transporte y montaje.

2. Descripción de la estructura

El Viaducto de Mularroya sobre el Embalse del mismo nombre se proyecta mediante un viaducto mixto de carretera continuo con 8 vanos y trazado recto en planta, con una longitud total de 445 m, una distribución de vanos de 37+6x60+48 m y 11,50 m de anchura (Figura 2).

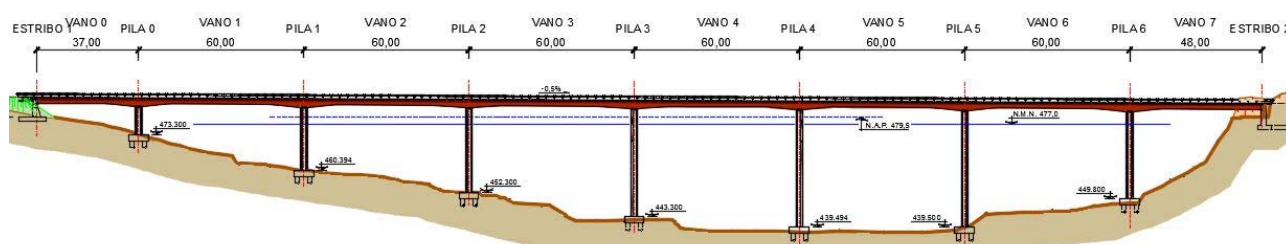


Figura 2. Alzado longitudinal del viaducto

2.1. Tablero. Sección transversal

Para la sección transversal del puente se ha optado por una sección bijácena en cajón estricto, con claras ventajas frente a las soluciones más convencionales en cajón mixto clásicas. Desde la tipología clásica francesa de sección bijácena se desarrolla el *cajón estricto* con doble acción mixta, incorporando a la sencillez constructiva y de transporte las ventajas asociadas al hormigón de fondo en zonas de negativos.

Se concibe una sección parcialmente distorsionable frente a cargas excéntricas. En la zona de negativos con doble acción mixta, el hormigón inferior colabora a flexión, pero no se tiene en cuenta frente a torsión lo cual obligaría a disponer celosías antidistorsión intermedias, más complejas de ejecutar que los marcos transversales (ver Figura 3 derecha).

La estructura metálica consta de dos vigas separadas 6 m, con 1,75 m de canto constante en las zonas de centros de vanos, y una zona de canto variable hasta los 2,75m, en los 12,00 m adyacentes a ambos lados de las pilas con transición recta. La esbeltez de los elementos estructurales de acero resultantes son aproximadamente de 1/34,3 en el centro del vano, y 1/21,8 en pilas (Figura 3).

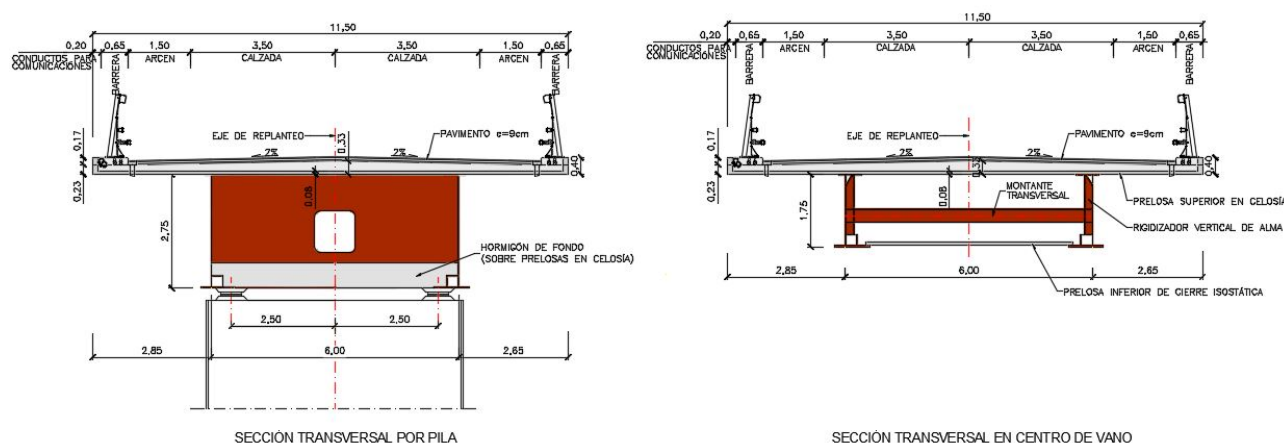


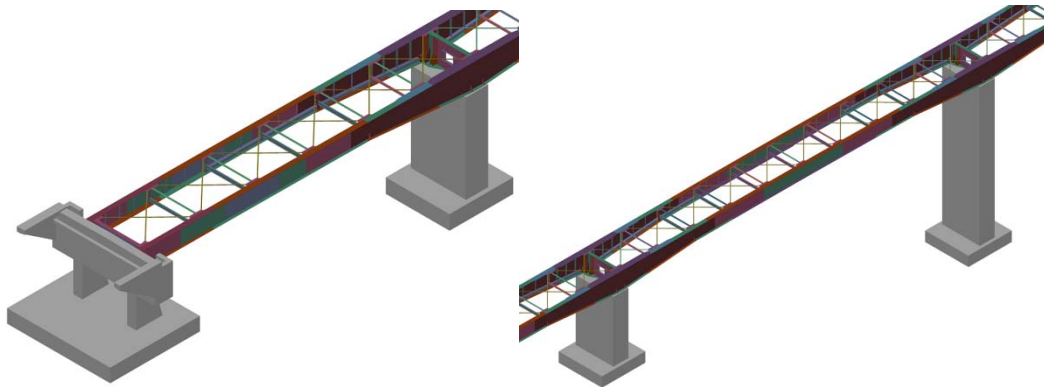
Figura 3. Secciones transversales por pila y centro de vano

La doble viga metálica se conecta a la losa superior con espesor variable entre 33 cm en el eje y 23 cm en los extremos, con bombeo transversal del 2%. La losa tiene un ancho total de 11,50 m, albergando una plataforma con dos calzadas y arcones y barreras, además de un ligero sobreancho de 0,20 m en el voladizo izquierdo para albergar conductos para comunicaciones. Se ejecuta sobre prelosas de ancho completo en celosía sobre las que se hormigona la losa en dos fases, según se describe más adelante.

En la zona de canto variable se dispone hormigón de fondo conectado a la estructura metálica materializando la doble acción mixta, con un espesor comprendido entre 0,28 m (a 12,00 m de las pilas) y 0,65 m (en el eje de pila). En las zonas de centro de vano se han dispuesto prelosas prefabricadas no conectados a la estructura metálica para hacer la sección interiormente accesible y visitable para la inspección y el mantenimiento.

El acceso al tablero se realiza desde la zona del E-1 por un paso en las prelosas inferiores y desde el interior del tablero se puede acceder a las cabezas de las pilas para realizar operaciones de mantenimiento y sustitución de apoyos por medio de pasos de hombre dejados en el hormigón

de fondo junto a los mamparos. Los mamparos de pilas presentan también pasos de hombre haciendo completamente visitable por su interior el tablero en toda la longitud.



Figuras 4b y 4b. Esquema general de las vigas metálicas arriostradas

Las dos vigas (Figuras 4a y 4b) se arriostran entre sí cada 6,00 m aprox. mediante marcos transversales metálicos en H (Figura 3 derecha), que simplifican mucho los detalles y permiten transportar a obra las dos vigas de forma independiente y ensamblarlas con uniones soldadas sencillas. Asimismo, las platabandas superiores se arriostran entre sí de forma provisional durante el montaje por medio de una celosía horizontal con cruces de San Andrés para dotar de estabilidad a la estructura en las fases del montaje del tablero. Se disponen rigidizadores verticales en el alma cada 1,50 a 2,00 m.

Sobre pilas se disponen mamparos de alma llena rigidizados (Figuras 5a, 5b y 5c)), en los que se ha previsto la sustitución de apoyos mediante gatos en un futuro.

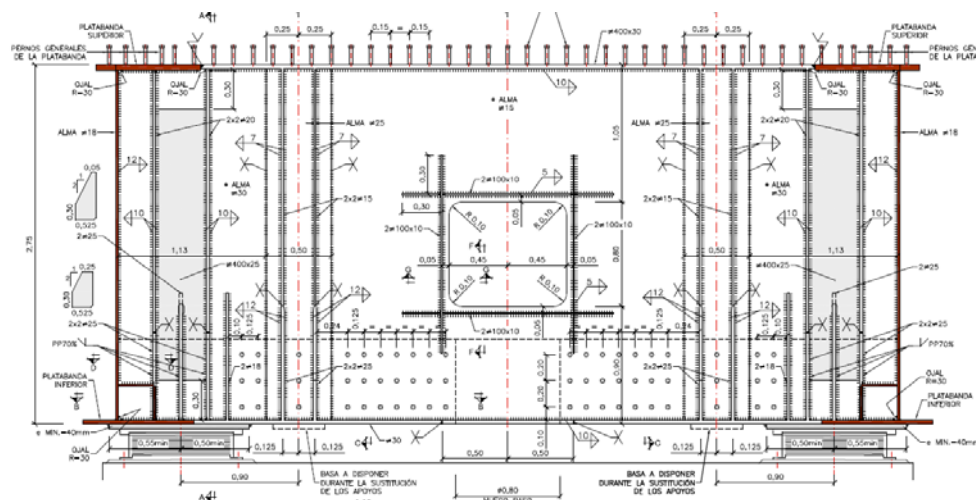
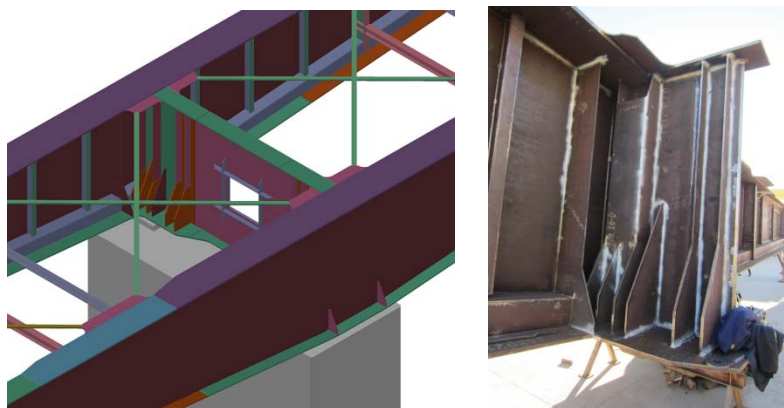


Figura 5a. Mamparo de pilas con paso de hombre

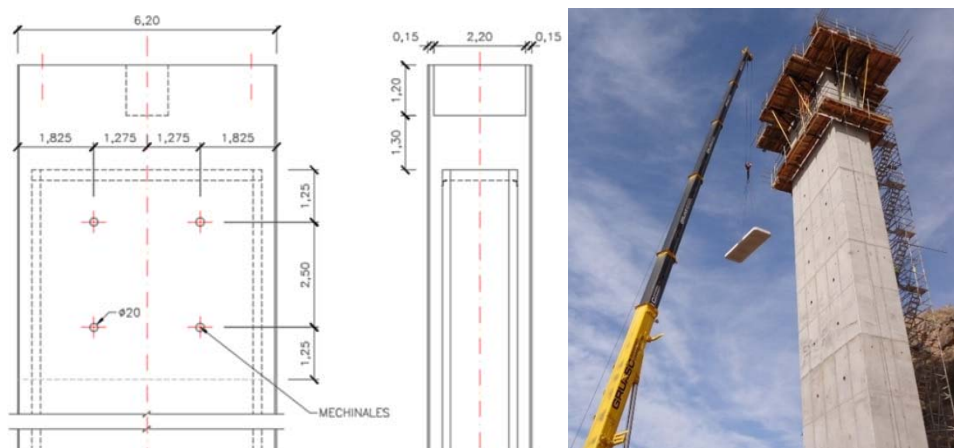


Figuras 5b y 5c. Vista de la rigidización del mamparo de pila para los aparatos de apoyo y los gatos de sustitución de apoyos. Imagen de fabricación en taller de un tramo de mamparo

2.2. Aparatos de apoyo, pilas y cimentaciones.

Los aparatos de apoyo son neoprenos zunchados, si bien en las pilas extremas y estribos, debido a la importante longitud del tablero (450 m), se han dispuesto neoprenos teflón coaccionados transversalmente, que permiten el libre deslizamiento longitudinal del tablero frente a movimientos térmicos y reológicos. De esta manera, se consigue no sobredimensionar en altura (y sección en planta) los aparatos de apoyo sometidos a mayores movimientos; mientras que el resto de pilas con neoprenos zunchados convencionales que presentan mayor altura ven mejorado su comportamiento a pandeo gracias a la coacción aportada por los neoprenos.

Se ha previsto la inspección, mantenimiento y sustitución de todos los aparatos de apoyo del tablero habilitando para ello huecos de inspección con acceso desde el interior del tablero y con espacio para los gatos en cabeza de pilas y estribos. En esas zonas se han previsto los refuerzos correspondientes en los mamparos de la estructura metálica (Figuras 5a, 5b y 5c) así como en cabezas de pilas y estribos.



Figuras 6a y 6b. Alzado y sección de las pilas con mechinales para permitir la entrada y salida de agua del embalse, y vista durante la construcción.

Para las pilas, de sección hueca y alturas variables entre 10 y 42,50 m, se ha tenido en cuenta que una vez finalice la presa de Mularroya quedarán parcialmente sumergidas. De entre las medidas adoptadas en este sentido, cabe destacar la disposición de mechinales dispuestos cada 2,5 m para evitar alturas diferenciales de agua y sus correspondientes desequilibrios de empujes entre el interior y el exterior de la pila (Figuras 6a, 6b y 7).



Figura 7. Vista general de la ejecución de las pilas.

Adicionalmente, en el cálculo se han contemplado dos hipótesis de empujes descompensados en el fuste de las pilas para tener en cuenta situaciones tales como el atoramiento de los mechinales o el proceso de llenado o vaciado del embalse: un empuje diferencial de agua a lo largo de la pila con una descompensación de alturas de 1,75m entre el interior y exterior con una densidad del agua de 12 kN/m^3 ; y un empuje diferencial en los primeros 5m del fuste de la pila, debido a la posible acumulación de fangos totalmente saturados en el interior o exterior de la pila con una densidad de 18 kN/m^3 . La imagen de la figura 7 muestra el estado de la ejecución de las pilas en diciembre de 2016.

3. Proceso constructivo

La estructura metálica del tablero se fabrica en taller (Figuras 8a y 8b) y se transporta a obra las vigas separadas, que posteriormente se ensamblan antes de su izado.



Figuras 8a y 8b. Vista general de la ejecución de la estructura metálica en taller

Una vez ejecutada la subestructura con procedimientos de ejecución convencionales, al tratarse de una zona con buen acceso y sin demasiadas dificultades orográficas, con alturas medias, se ha planteado el montaje de la estructura metálica del tablero con grúas (Figura 9).

La estructura metálica se divide en 7 tramos. El primer tramo tiene una longitud de 37+12 m y consta del primer vano completo (37 m) más los 12 m de canto variable del segundo, los 6 tramos siguientes tiene 60 m y se fabrican con el tramo de canto constante de centro de vano, más todo el canto variable de la zona de pila, volando 12 m, y finalmente el último tramo de 36 m corresponde con la zona de canto constante del vano lateral (de 48 m de luz) (ver Figura 9).

Con este montaje de la estructura metálica soldando en altura más o menos en la posición del punto de inflexión, se logra una ley de momentos flectores de peso propio del acero muy similar a la de una viga continua.

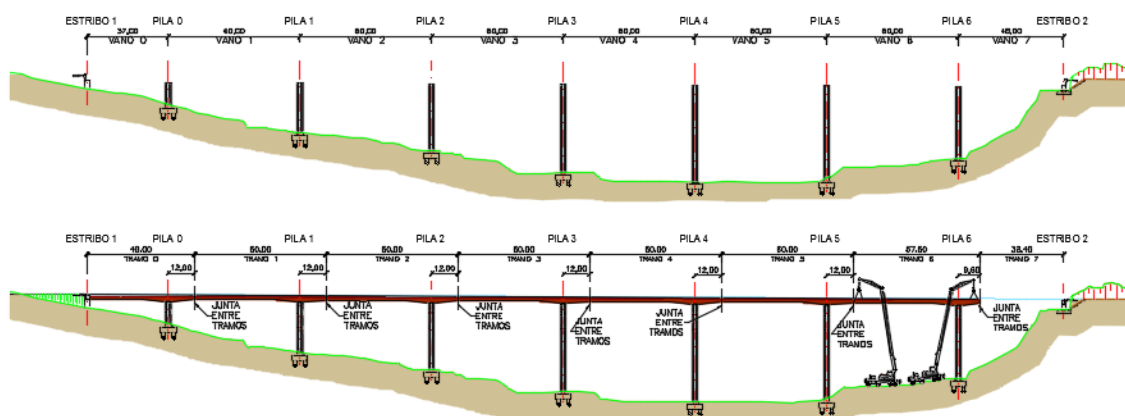


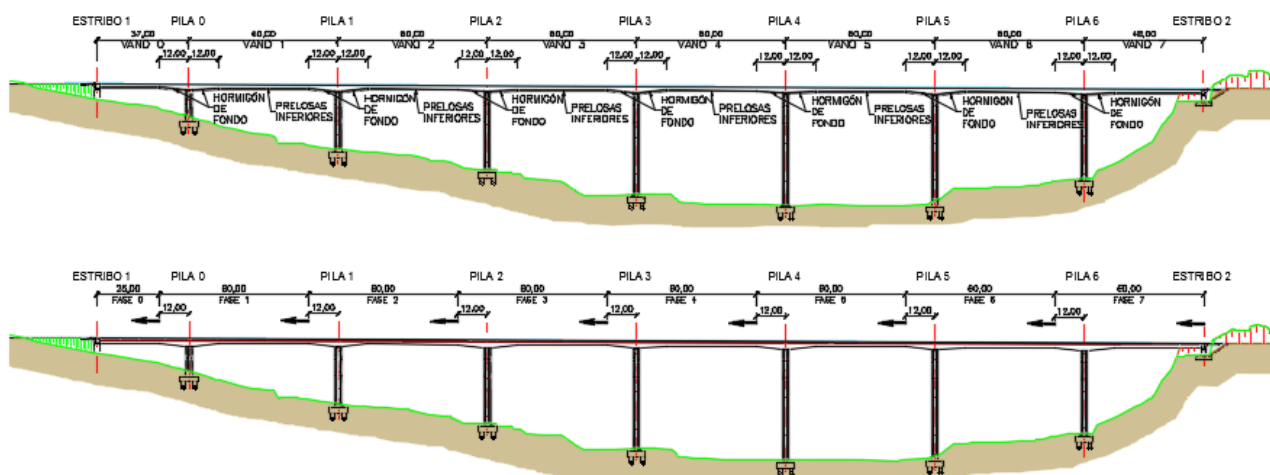
Figura 9. Proceso constructivo. Fase (1)-Pilares y cimentaciones y (2) Montaje de tramos metálicos.

Cada tramo se fabrica en taller en dos subtramos de longitudes variables entre 36 y 24 m, se transporta a obra de forma independiente y se ensamblan a pie de obra. Cada viga se transporta a obra de forma individual ya rigidizada con el arranque del mamparo de pila soldado (Figura 5), y se ensamblan en obra con los montantes transversales, el tramo central del mamparo de pila y los arriostramientos superiores en cruz de San Andrés.

Debido a que los apoyos de los estribos y pilas extremas son neopreno-teflón, es necesario su bloqueo provisional durante las primeras fases de montaje para que la estructura sea estable.

Posteriormente se procede a la colocación de prelosas inferiores, ferrallado y hormigonado del hormigón de fondo en negativos, seguido con un decalaje mínimo de dos tramos del mismo proceso para la losa superior. En este caso se ha dividido el hormigonado en dos subfases: En primer lugar se hormigona la zona central entre las dos vigas y una vez ésta obtiene cierta resistencia y se materializa la conexión con las vigas, se procede al hormigonado de los voladizos, y de esta manera, ese peso fresco entra a trabajar ya sobre sección parcialmente mixta reduciendo así el estado tensional sobre la estructura metálica.

Cada una de esas fases de hormigonado de losa superior se realiza siempre en retroceso desde frente de tramo hacia atrás, hormigonando siempre las zonas de positivos y finalmente las de negativos. Con esta configuración se evita prefisurar la losa en zonas de negativos bajo el peso del hormigón fresco, que resulta fundamental en este tipo de estructuras (Figuras 10a, 10b y 10c)



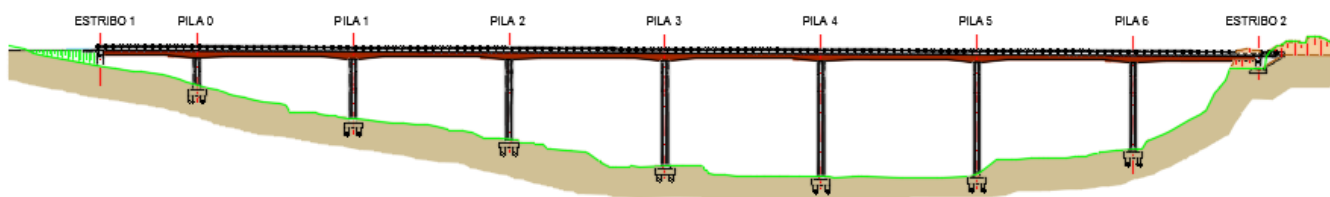


Figura 10a, 10b y 10c Proceso constructivo. Fase (3)-Hormigón de fondo (4) Losa superior y (5) Acabados.

Por último, se realizan los acabados finales tales con la ejecución de aceras y barreras, impermeabilización del tablero, pavimentación y colocación de juntas.

4. Otros aspectos relevantes. Diseño a fatiga

Uno de los puntos que más se ha cuidado en proyecto y durante la ejecución han sido los detalles de la estructura metálica para evitar posibles problemas futuros de fatiga. Si bien no se espera una elevada IMD de vehículos pesados, que preferentemente circularán por la cercana A-2, sí se considera esencial que las zonas más susceptibles de desarrollar con el tiempo daño a fatiga tales como las zonas con elevados rangos tensionales de tracción cuenten con una categoría de detalle suficientemente elevada como para garantizar su estado a largo plazo.

4.1. Detalles de empalme de chapas

Todas las soldaduras a tope se han realizado con chapas de derrame provisionales (Figura 11a) que posteriormente se retiran, y las platabandas inferiores en las zonas de centro de vano se han amolado (Figura 11b) logrando así detalles de fatiga con categoría 112 (acorde con UNE-EN 1993-1-9 [1]), frente a los detalles más convencionales con soldadura a tope soldados por los dos lados sin amolar con categoría 80.

En general se han evitado siempre las soldaduras con chapas de respaldo, que reducen la categoría de fatiga a 71, y salvo en los casos imprescindibles en los que no hay acceso a la raíz (como es el caso del empalme de alguna célula superior o inferior) se ha soldado por los dos lados, garantizando una categoría mínima de fatiga 80.

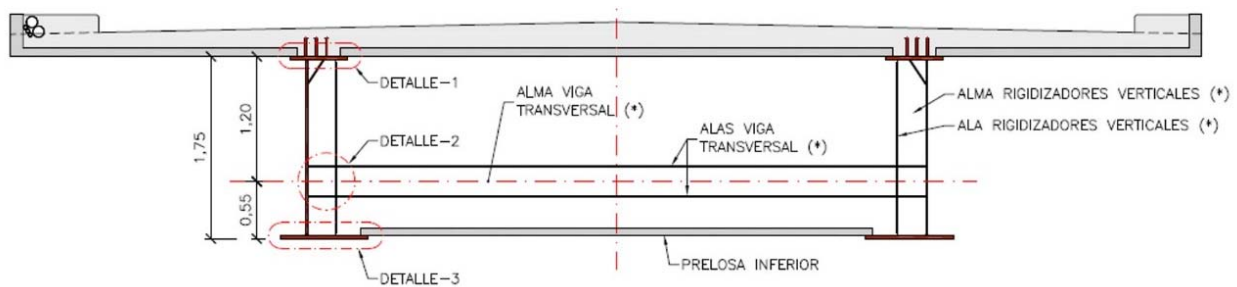


Figuras 11a y 11b. Soldadura con chapas de derrame y soldadura amolada sin sobreespesores

4.2. Rigidizadores verticales de almas y diafragmas transversales

El detalle de la unión de los rigidizadores verticales (Figura 13) de alma intermedios así como los que forman parte de los diafragmas transversales (Figura 12) con sección en T, se realiza

soldando sólo el alma del rigidizador contra las platabandas, acabando el ala del rigidizador en forma de pico de flauta sin soldarla contra las alas superior o inferior, para evitar detalles con categorías de fatiga bajos. En la ponencia de la ref. [2] se describe con más profundidad este tipo de detalle.



SECCIÓN TIPO ARRIOSTRAMIENTO EN ZONA "A"

Figura 12. Diafragmas transversales de la sección metálica del tablero.

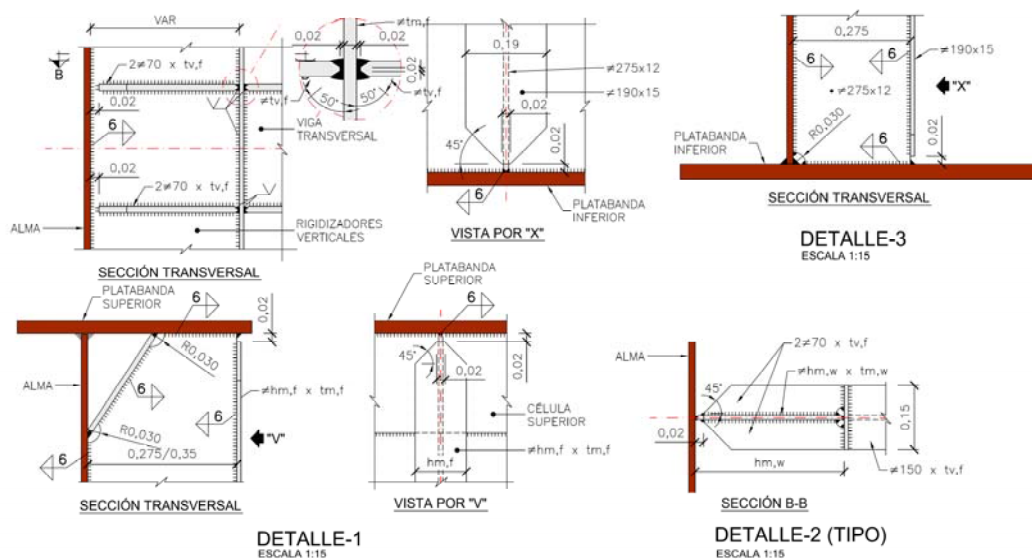


Figura 13a, 13b, 13c y 13d. Diafragmas transversales y detalles de rigidizadores verticales de almas.

4.3. Cartelas de arriostamientos horizontales

Las cartelas de los arriostamientos horizontales de las platabandas superiores se han diseñado con acabados con acuerdos circulares, mejorando notablemente así su categoría de fatiga, pasando de detalles con acabados en ángulo recto con categoría de fatiga muy baja (40 acorde a UNE-EN 1993-1-9 [1]) a detalles redondeados con categoría 90 acorde al detalle de la figura 14 (ver ref. [2]).

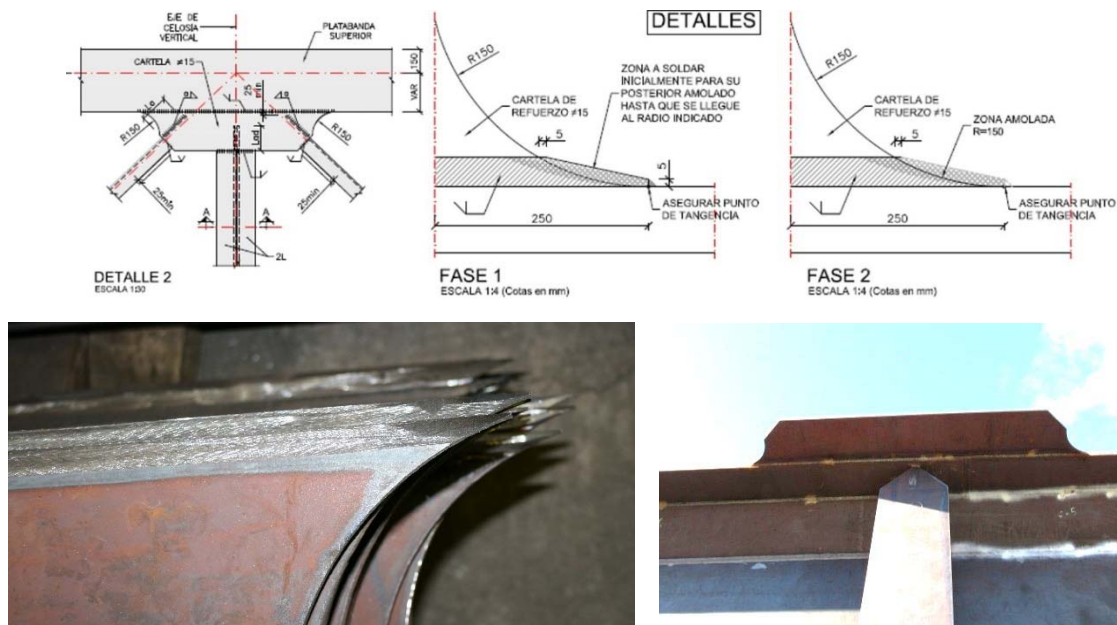


Figura 14a, 14b y 14c. Corte de arriostramientos horizontales

5. Estado actual de las obras

En la actualidad (enero de 2017) se están fabricando en taller los distintos tramos de la estructura metálica, habiéndose realizado ya el primer montaje en blanco de las primeras vigas (Figuras 15a y 15b), y en breve está previsto que se envíen a obra los primeros tramos para su ensamblaje en obra y posterior izado.



Figuras 15a y 15b. Imagen del Montaje en blanco de las primeras vigas.

A lo largo de los meses de febrero y marzo está previsto montar en obra la estructura metálica y completar las losas inferior y superior, para concluir previsiblemente el viaducto antes de Semana Santa de 2017, estando por tanto el viaducto completamente concluido antes del congreso, dónde se podrán presentar fotografías de todas las fases de la ejecución.

6. Principales participantes en el proyecto y obra

Propiedad: Confederación Hidrográfica del Ebro. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. España.

Empresa Constructora:

UTE Mularroya (Acciona y Sacyr)

Gerente: Luis Alberto Benito Ruiz

Jefe de obra: Rodrigo Blas de Temiño

Jefe de producción: Juan de la Rosa

Servicios Técnicos de SACYR: Narciso Pulido Asín

Taller metálico: Talleres Centrales ACCIONA

Proyecto Constructivo Modificado: IDEAM S.A. Miguel Ortega Cornejo, Pedro Atanasio Utrilla y M^a Reyes García Orduña

Asistencia Técnica especializada durante la ejecución de las obras: IDEAM S.A. Miguel Ortega, Juan Luis Mansilla y M^a Reyes García Orduña

Referencias

- [1] UNE-EN 1993-1-9 Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 2: Fatiga. AENOR
- [2] M. Ortega; F. Millanes. Recomendaciones para la concepción de los detalles frente a fatiga en puentes mixtos de carretera. VII Congreso de ACHE. A Coruña 2017.