

Viaducto sobre el Río Aragón-Subordán

Viaduct over the Aragon-Subordan River

Antonio Martínez Cutillas ^a, Borja Martín Martínez ^{*, b}

^a Doctor Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado, S.L. Ingeniero. amartinez@cfcsl.com

^b Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado, S.L. Ingeniero. bmartin@cfcsl.com

RESUMEN

El Viaducto sobre el Río Aragón-Subordán se ubica en las estibaciones de los Pirineos, en una zona de especial protección ambiental, lo cual resulta condicionante en su concepción estructural.

El mismo se plantea de forma que ambos estribos están situados fuera de la zona de vegetación de ribera, con una luz en el vano sobre el cauce principal de 60 m. La necesidad de no ocupar el cauce, incluso durante la ejecución, lleva al desarrollo de una solución que optimiza el empleo de vigas prefabricadas, adaptándose a diferentes luces sin variación de canto mediante el empleo de pilas en V y dotando de continuidad al tablero en los vanos principales.

ABSTRACT

The Viaduct over the Aragon-Subordan River is located in the vicinity of the Pyrenees, in an area of special environmental protection, which determines its structural conception.

It is planned in a way so both abutments are placed out of the zone of riverbank vegetation, with a span length over the main riverbed of 60 m. The need of not occupying this riverbed, even during the erection, drives to develop a solution which optimizes the use of precast girders, adapting them to different span lengths without variation of their height by means of displaying V-shaped piers and conferring continuity to the deck in the main spans.

PALABRAS CLAVE: vigas prefabricadas, alta resistencia, pilas V prefabricadas, unión a media madera

KEYWORDS: precast girders, high performance concrete, V-shape precast piers, half-joints.

1. Introducción

El presente artículo corresponde al Proyecto Constructivo Modificado, y finalmente ejecutado del Viaducto sobre el Río Aragón-Subordán, correspondiente al Proyecto de Construcción: AUTOVÍA A-21 – LÍMITE PROVINCIAL DE NAVARRA, TRAMO: SANTA CILIA DE JACA- PUENTE LA REINA DE JACA.

2. Análisis de los Diferentes Condicionantes

2.1. Condiciones de Trazado

Se parte de una solución consistente en dos estructuras iguales para cada una de las calzadas. El Viaducto se encuentra ubicado en planta en su zona central en una curva de 1450 m de radio, flanqueada por dos curvas de transición con

parámetro $A = 485$. El alzado se inscribe en una recta con pendiente descendiente constante según el avance del PK del 0.60%.

2.2. Condiciones Hidráulicas

Se realiza un estudio hidráulico para determinar la afección al Río Subordán, calculando la elevación de la lámina de agua, así como los límites de las zonas inundables, tanto en la situación inicial como con tras implantación de la estructura. Se determina que la afección del Viaducto es mínima, pudiéndose concluir que la presencia del Viaducto no interfiere en el funcionamiento hidráulico del río.

2.3. Condiciones Geotécnicas

Según se desprende del Informe Geotécnico, se encuentra una capa de gravas aluviales cuaternarias con un espesor de gravas entre 1,5 y 4,0 m en margen izquierda y superior a 7-8 m en margen derecha. Bajo dicho estrato, aparecen margas terciarias competentes.

2.4. Condiciones ambientales

El cumplimiento de los condicionantes medioambientales de la D.I.A. indica que debe respetarse una distancia de 5 m de los estribos a la vegetación de ribera y evitar la presencia de pilas en el cauce ordinario si las condiciones técnicas lo permiten. Estas condiciones obligan a un viaducto de en torno a 450 m de longitud y a una luz principal en la zona del cauce sobre los 60 m.

2.5. Condiciones estructurales

El análisis de los condicionantes anteriores: trazado, de tipo hidráulico, geotécnico y ambiental obligan al diseño de un viaducto con un equilibrio entre las luces que permita cruzar el cauce sin la disposición de pilas intermedias y un canto lo más reducido posible para mantener

la máxima transparencia y posibilidad de paso en los vanos de acceso.

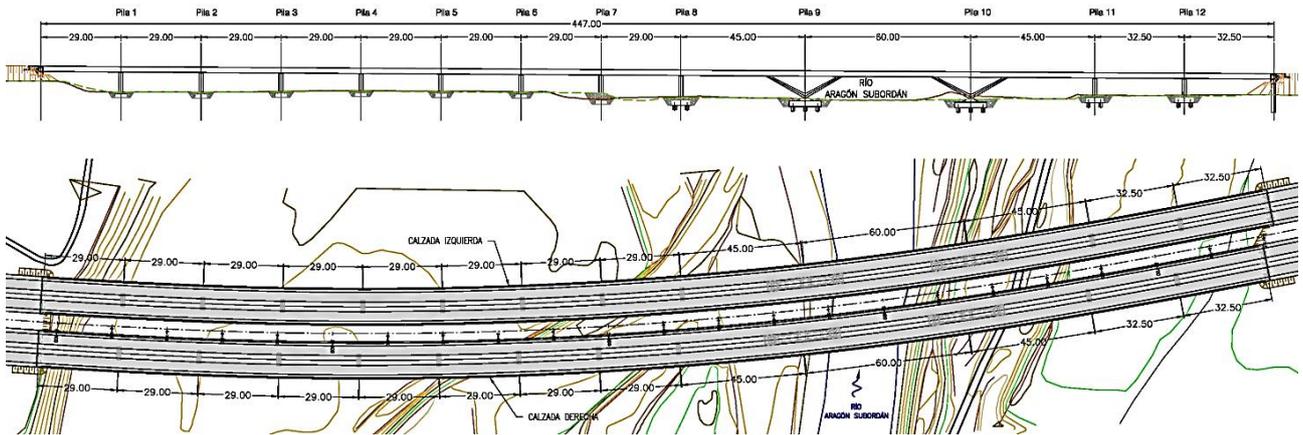
2.6. Condiciones constructivas

Las soluciones que se planteen tanto por el rango de luces como por las longitudes deberán contemplar procedimientos de construcción que alteren y afecten lo menos posible la zona del cauce y sus alrededores. Con este objeto, durante la ejecución se minimiza la afección en las zonas inundables mediante la ubicación de los apeos provisionales en la posición más cercana a las pilas definitivas compatible con la ejecución de las mismas.

3. Descripción del Puente

La solución propuesta ha intentado dar respuesta a los diferentes condicionantes planteados con anterioridad. Tiene una longitud de forma que ambos estribos están situados fuera de la zona de vegetación de ribera. La luz del vano sobre el cauce principal del río es de 60 m para permitir que la ubicación de las pilas definitivas no se encuentre en el cauce ordinario. Se ha tenido en cuenta la posibilidad de que los medios constructivos sean compatibles o incluso reutilizables. Se dispone un vano principal de 60 m, con vanos adyacentes de compensación de 45 m a ambos lados. Dichos vanos se disponen como continuos, configurando el puente principal. La luz principal se salva reduciendo la luz real del tablero mediante unas pilas en V, las cuáles se empotran en el mismo.

A partir del puente principal, se definen vanos isostáticos a ambos lados, hasta alcanzar la posición requerida de estribos, disponiéndose ocho vanos de 29.00 m hacia el Estribo-1 y dos vanos de 32.50 m hasta el Estribo-2. Con ello, se obtiene una distribución de luces de $8 \times 29.00 + 45.00 + 60.00 + 45.00 + 2 \times 32.50$ m, para una longitud total de 447.00m [Figura 1].



3.1. Materiales

El hormigón prescrito en las vigas prefabricadas de tablero es de calidad HP-60. Las prelosas, también prefabricadas, se diseñan con hormigón HA-40. Las pilas en V prefabricadas, P-9 y P-10, serán de hormigón HA-30.

Se limita a HA-30 la especificación del mismo en la mayoría de los elementos ejecutados in situ, tales como encepados y zapatas de cimentaciones, alzado de estribos, pilas tipo y losa de tablero. Únicamente en el caso de las riostras de unión entre las pilas P-9 y P-10 y el tablero resulta imperativo el empleo de hormigón HA-40. En el caso de los pilotes, se define hormigón HA-25.

La armadura activa, tanto pretesa como postesa, será de calidad Y 1860 S7. En el caso del acero activo en barras, la calidad será S 1030.

3.2. Tablero

El tablero se configura mediante vigas artesas prefabricadas pretensadas, completándose mediante la disposición de prelosas colaborantes y el hormigonado in situ de la losa superior. Ello da lugar a una sección total de 1.60m de canto mínimo, con 4.10 m de ancho en la losa inferior de la viga, espesores de 0.24 m en losa inferior y almas, 5.00 m de ancho en cabeza de viga y 13.90 m de ancho total en losa superior [Figura 2]. La diferencia de cota requerida por el peralte se absorbe en las propias vigas, cuyas almas tienen distinta altura, realizándose el ajuste fino por variación de peralte a lo largo de las mismas mediante ligeras regulaciones en el encofrado de tape superior de las cabezas. De este modo, el apoyo de las vigas sobre pilas resulta siempre horizontal, resultando favorable para el montaje.

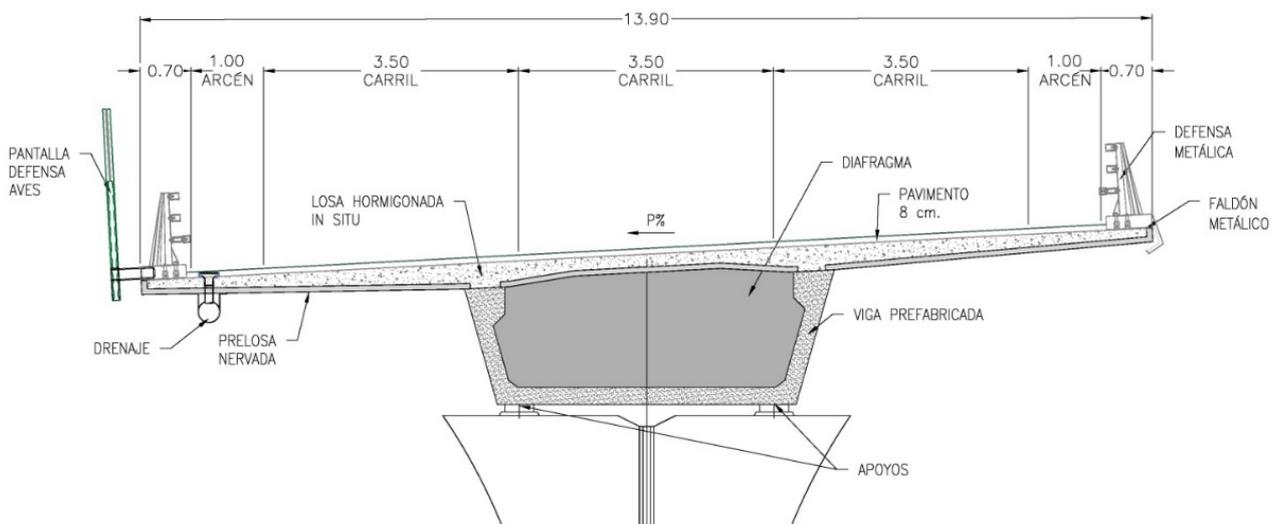


Figura 2. Sección tipo de tablero



Figura 3. Uniones a media madera

Los vanos de acceso se diseñan como isostáticos, sin dotar a las vigas de continuidad. Únicamente se conferirá continuidad a la losa superior y, por tanto, a la superficie de rodadura, mediante la ejecución de un detalle sobre pilas de una losa de canto reducido con encofrado inferior perdido de poliestireno expandido. De este modo se obtiene una solución de ejecución más sencilla, pero que a su vez evita la disposición de numerosas juntas a lo largo del tablero.

En la zona del puente principal (vanos de 45 + 60 + 45 m), se conectan las vigas prefabricadas tras el montaje mediante uniones a media madera pretensadas con barras [Figura 3], con juntas rellenas de mortero sin retracción de altas prestaciones, confiriendo continuidad en dicha zona. Las barras pretensadas de unión contarán con terraja fina en toda su longitud y vaina corrugada, para asegurar una correcta adherencia, prestándose especial atención a su sellado y protección.

En el caso de los tramos isostáticos, la totalidad del pretensado corresponde a cordones rectos pretesos, tesados directamente en bancada. La armadura activa pretesa está

formada por cordones de 16.0 mm (0.6”) de diámetro nominal, tesado y anclados al 75% de su carga de rotura. Dichos cordones permanecen envainados hasta la distancia indicada en cada caso en los planos correspondientes. La resistencia del hormigón de las vigas en el momento de la transferencia no será menor de 40 MPa.

En el caso de la zona continua, la armadura activa pretesa se complementa con cables de pretensado posteso. Ello se realiza para poder ajustarse de un modo óptimo a la oscilación de momentos producida en dicha zona por la mayor flexibilidad de las pilas en V.

La armadura activa postesa está formada por tendones compuestos por cordones de 16.0 mm (0.6”) de diámetro nominal, tesados y anclados al 75% de su carga de rotura. En el caso de las Vigas 10 y 12, ubicadas sobre las pilas en V, se disponen dos tendones por alma con 13 cordones cada uno. La Viga central 11 cuenta con un tendón de 13 cordones por alma. La resistencia del hormigón de las vigas en el momento del tesado no será menor de 40 MPa. La puesta en carga del pretensado posteso se realizará con anterioridad al montaje de las vigas, no pudiéndose proceder al mismo hasta no haberse producido la inyección de vainas y el relleno de cajeados.

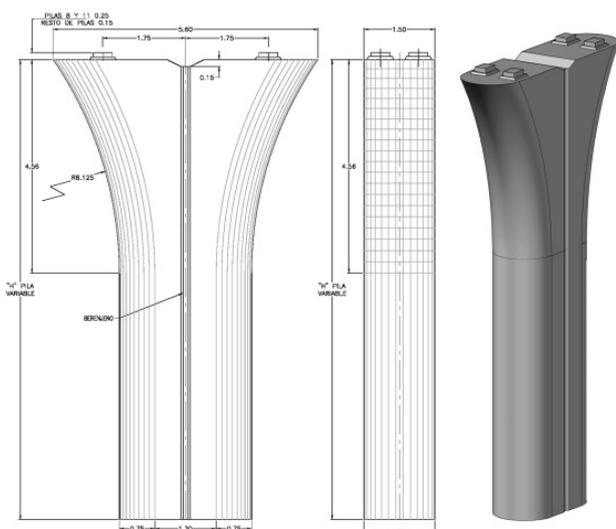


Figura 4. Pilas en vanos de acceso

3.3. Pilas

Las pilas de los vanos de acceso (P-1 a P-8 y P-11 a P-12) [Figura 4] son de sección rectangular, redondeada en las caras transversales al eje del puente para mejorar su comportamiento hidrodinámico. Su anchura longitudinal es constante de 1.50 m. En transversal, arrancan con dimensión constante de 2.40m, ensanchándose a ambos lados en los 4.56 m superiores mediante una suave curva hasta alcanzar los 4.60 m en su cara superior. La definición de este tramo inferior constante, unido a la escasa altura (<10.00m) de las pilas y a su uniformidad, permite plantear el hormigonado de las mismas empleando un

encofrado único, a partir de la ejecución inicial de un primer tramo inferior de regularización.

Las pilas en V, correspondientes a la P-9 y P-10 [Figura 5], tienen un diseño coherente con el resto de las pilas, con anchura variable en ambas dimensiones. Se componen de dos elementos prefabricados, los cuales se unen sobre el plinto de cimentación mediante hormigonado in situ. Estas pilas se empotran en el dintel mediante hormigonado monolítico in situ de la zona que conforma la riostra de dichas pilas en el tablero.

Se diseñan de modo que tengan la misma geometría generatriz de cara a prefabricación, variando la posición del tape final para la ejecutar elementos de diferente longitud.



3.4. Estribos

Los estribos están formados por muros frontales de hormigón armado y aletas laterales.

Los estribos E-1 se ubican dentro de la bancada, entre la terraza fluvial y el derrame del terraplén ejecutado.

Los estribos E-2 se disponen de tal modo que se evita la ejecución de un muro de contención para liberar el camino, respetando así mismo la distancia requerida a la vegetación de ribera.

3.5. Cimentaciones

De acuerdo con lo indicado en el Informe Geotécnico, el estribo E-1 y las pilas P-1 a P-7 de la margen izquierda, situadas en zona de estrato Cuaternario de escasa potencia, se cimentan de modo directo en la capa de margas. Con objeto de no aumentar innecesariamente la entidad de las pilas, la cota superior de cimentación se define de tal modo que la misma quede enterrada un mínimo de 0.50m. La distancia entre cara inferior de cimentación y el comienzo del estrato de margas, indicado como roca sana, se rellena mediante hormigón en masa. Según el Informe Geotécnico, las cimentaciones directas se dimensionan para una tensión admisible conservadora de 5 kp/cm², considerando los asientos despreciables

Las pilas P-8 y P-9 de la margen izquierda y P-10 a P-12 y E-2 de la margen derecha cuentan con cimentaciones profundas mediante pilotes, conforme a los parámetros de diseño indicados en el citado Informe Geotécnico. El estribo E-2 se dimensiona con un encepado de tres pilotes de 1.50 m de diámetro. En el caso del resto de cimentaciones profundas, resulta posible reducir el diámetro de pilotes a 1.20 m. Las cimentaciones de P-8, P-11 y P-12 cuentan con cuatro pilotes de 1.20 m de diámetro, y las de P-9 y P-10 con nueve pilotes de 1.20 m de diámetro.

Para el dimensionamiento de pilotes de 1.50 m, conforme al Informe Geotécnico, se adopta una carga admisible de 890 T, correspondiente a una tensión de 50 kp/cm². En el caso de los pilotes de 1.20 m de diámetro, se obtiene una carga admisible de 618 T, correspondiente a una tensión de 54.7 kp/cm².

Se consideran 5.00 m de material socavable desde cara inferior de encapados, 4.00 m posteriores de gravas aluviales y un empotramiento de 4.00 m en el estrato de margas. En todos los casos, se protegen las cimentaciones con escollera de cara a prevenir la socavación.

3.6. Aparatos de Apoyo

Los aparatos de apoyo son de neopreno zunchado, con o sin teflón. En las pilas que soportan los vanos isostáticos existen dos parejas de apoyos, una por viga. En las pilas en V, empotradas en el tablero, los apoyos se disponen bajo las mismas, entre la base de las mismas y los plintos de sus cimentaciones.

Se disponen apoyos de neopreno en la zona de pórtico, bajo pilas P-9 y P-10 y en los apoyos de PK+ de P-8 y PK- de P-10. A efectos longitudinales, el resto de los apoyos son deslizantes de neopreno teflón, debido a que la continuidad establecida en la junta produce un desplazamiento solidario del tablero ante efectos térmicos y reológicos. En configuración longitudinal, uno de cada pareja de apoyos de neopreno teflón cuenta con una guía que impide el desplazamiento del tablero en transversal.

Los apoyos tipo sobre pilas son de neopreno teflón, con chapa de fricción vulcanizada para incrementar el rozamiento. En los estribos se disponen aparatos similares, pero con capacidad a tracción complementaria.

En los extremos de la zona hiperestática existen situaciones en las que se producen tracciones significativas en apoyos, debido a la mayor flexibilidad de la zona de las pilas en V. Por ello sobre P-8 (PK+) y P-11 (PK-) se disponen parejas de apoyos de neopreno con

capacidad a tracción complementaria, con chapa de fricción vulcanizada. La fijación de los apoyos en cabeza de vigas se realiza mediante pernos embebidos, realizándose la regulación mediante mortero dispuesto en la parte inferior. La fijación en las vigas se realiza soldando la parte superior de los aparatos de apoyo a unas chapas de sacrificio, provistas de pernos y embebidas en las vigas prefabricadas.

Bajo las pilas P-9 y P-10 se ubican apoyos de neopreno con chapa de fricción de vulcanizada [Figura 6].

En el caso de los aparatos de apoyo de las pilas P-9 y P-10, por las condiciones específicas de su ubicación en zona susceptible de inundaciones, se definen unos elementos a efectos de protección ante dicha situación. Ello se consigue mediante la disposición de unos faldones de protección, provistos de unos broches que los hacen desmontables, que permiten ejercer la necesaria protección sobre los neoprenos, y a la vez permitir su retirada para tareas de limpieza y mantenimiento, así como su futura sustitución.



Figura 6. Apoyos y detalle de unión de pila en V

3.7. Barreras de Seguridad y Pantalla de Defensa de Aves

Se disponen en los márgenes externos de los tableros de ambas calzadas las preceptivas barreras de protección de aves, mediante un voladizo a partir de la sección principal. Para hacer compatible esta configuración con las barreras de contención de vehículos, además de su caracterización como tipo H3, éstas deben contar con una anchura de trabajo de tipo W3 [Figura 7].



Figura 7. Barreras y pantallas



Figura 8. Izado de elementos prefabricados y unión de pilas en V

4. Procedimiento de Construcción

La ejecución comienza con la realización de las excavaciones correspondientes a las cimentaciones. Tras ello, se emprende el hormigonado de zapatas en las zonas con cimentación directa, y la ejecución de pilotes y encepados en la zona de cimentaciones profundas.

Se inicia la construcción de estribos y pilas. En las pilas tipo, se ejecutará en primer lugar un tramo de arranque de regularización, de tal modo que el resto del alzado se pueda ejecutar con un encofrado único e idéntico en todas ellas.

Para el montaje de las piezas prefabricadas que configuran las pilas en V [Figura 8], resulta

necesario disponer unos apeos provisionales a ambos lados para poder sostener las mismas [Figura 9].

Dichos apeos se componen de un pilote único coronado por un castillete metálico. Para la ejecución, en el caso del apeo situado hacia PK+ de la pila P-9, resulta necesaria la preparación de una pequeña península provisional. En cualquier caso, este apeo se ubica en la situación más cercana al eje de pila posible que resulta compatible con la ejecución y sostenimiento durante la colocación de los elementos de la pila en V y las vigas de tablero. Esta distancia es de 11.80 m entre eje de apeo y de pilas P-9 y P-10



Figura 9. Montaje apeado

Tras la instalación de las pilas prefabricadas en V, se comienza con el montaje con grúa de las vigas prefabricadas. Se comienza por las vigas situadas sobre las pilas en V. A continuación se colocan las vigas adyacentes hacia P-8 y P-11, apoyando a media madera sobre las vigas anteriores, tesándose las barras de unión y rellenándose la junta con mortero sin retracción. A continuación, y siguiendo el mismo procedimiento, se cierra la zona hiperestática con la colocación de la viga del vano central.

Tras ello, o de modo simultáneo, se ejecuta mediante hormigonado monolítico el empotramiento de pilas en V y tablero con sus riostras correspondientes.

Tras esta fase de ejecución, se procede al desapeo con gatos de las pilas P-9 y P-10, y a la retirada de los apeos provisionales.

De modo independiente, se colocan con grúa las ocho vigas correspondientes a los vanos

isostáticos de 29.00m, y las dos vigas de los vanos isostáticos de 32.50m.

Sobre las vigas ya colocadas, se montan las prelosas colaborantes. Esta operación se puede simultanear con la colocación de las vigas [Figura 10]. Una vez dispuestas, se procede al hormigonado in situ de la losa superior. Éste debe llevarse a cabo en dos fases. En primer lugar, se hormigona el núcleo central de losa sobre viga. Una vez esta zona resulta colaborante, se procede al hormigonado de los vuelos. También el hormigonado se puede coordinar adecuadamente con las tareas de montaje de vigas y colocación de prelosas.

Por último, se disponen las barreras, servicios, impermeabilizaciones y demás elementos que conforman los acabados del Viaducto [Figura 11].



Figura 10. Secuencia de ejecución de tablero



Figura 11. Vista del Viaducto terminado

Agradecimientos

Este Viaducto no hubiera poderse llevado a cabo sin la coordinada actuación de los siguientes intervinientes principales:

Propiedad y Dirección de Proyecto y Obra:
MINISTERIO DE FOMENTO

Empresa Constructora:
COMSA

Asistencia Técnica a la Dirección de Obra:
ACCIONA INGENIERÍA

Proyecto:
CARLOS FERNANDEZ CASADO, S.L.