

El viaducto mixto de Sigüés en la Autopista A-21

The composite steel-concrete viaduct of Sigüés in the A-21 Highway

Luis MATUTE RUBIO

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Director General

luis.matute@ideam.es**Helder FIGUEIREDO**

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Jefe de Proyectos

helder.figueiredo@ideam.es**Miguel ORTEGA CORNEJO**

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Director de Ingeniería

miguel.ortega@ideam.es**Juan Luis MANSILLA DOMINGUEZ**

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Jefe de Proyectos

juanluis.mansilla@ideam.es**João ADÃO DA FONSECA**

Ingeniero Civil

joao.adaodafonseca@adfconsultores.com**RESUMEN**

El viaducto mixto de Sigüés, en el norte de Zaragoza, resuelve el cruce de la A-21 sobre la futura ampliación del embalse de Yesa a una altura máxima de hasta 40 m con un viaducto de 989 m de longitud y vanos tipo de 86 m. La plataforma con doble calzada y 25,3 m de ancho ha obligado a la concepción de una sección transversal con un cajón mixto con grandes jabalcones laterales. En el artículo se describe la concepción y los detalles de la estructura metálica, el empleo de la doble acción mixta en las secciones de negativos, así como el proceso constructivo seguido para su ejecución.

ABSTRACT

The composite (concrete & steel) viaduct of Sigüés, located in the north of Zaragoza, resolves the crossing of the A-21 Highway over the future expansion of the Yesa reservoir at a maximum height of 40 m with a continuous viaduct of 989 m in length using typical spans of 86 m. The deck platform, comprised by two carriageways and a 25.3 m total width, led to the design of a cross section with a single composite box girder with large lateral struts. The paper describes the conception and detailing of the steel structure, the use of the double composite action in hogging areas, as well as the constructive process that was used in its execution.

PALABRAS CLAVE: Estructura mixta, celosías, jabalcones, apeos, grúa, prefabricación.

KEYWORDS: Composite steel-concrete structure, truss, strut, prop, crane, precast.

1. Introducción

El viaducto de Sigüés se localiza junto al municipio con el mismo nombre en el norte de la provincia de Zaragoza y queda integrado en la ampliación de la Autovía A-21 del Pirineo, que unirá las ciudades de Pamplona y Jaca. El Ministerio de Fomento, a través de la Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón, ha promovido la construcción de la estructura, cuya ejecución ha realizado la Constructora ISOLUX CORSAN, con proyecto modificado redactado por IDEAM (Figura 1).



Figura 1. Viaducto de Sigüés en el valle del río Esca sobre la zona que quedará anegada por la ampliación del embalse de Yesa

La ampliación de la Autovía A-21 permitirá reordenar el tráfico de la actual N-240, que quedará anegada por la futura ampliación del embalse de Yesa. El trazado del viaducto cruza el valle del río Escá, a su paso por Sigüés, quedando la rasante de la autovía por encima de la futura cota final del embalse. Este accidente geográfico es el más importante que tiene que atravesar la autovía A-21 y genera la necesidad de proyectar un viaducto de casi 1 km de longitud en el que se ha prestado especial atención a su integración en el entorno, así como a la concepción de su proceso constructivo y de todos sus detalles.

2. Condicionantes y criterios básicos considerados en la concepción y el proyecto

La futura ampliación del embalse de Yesa obliga al cruce del trazado de la A-21 junto a la localidad de Sigüés (Figura 1) a una altura sobre rasante que supera los 43 m en los puntos más altos, y genera un viaducto de 989 m de longitud total. El ancho de la plataforma de 25,30 m para doble calzada con dos carriles por cada sentido y amplios arcones, obliga a la concepción de una sección transversal muy ancha, y a plantear luces amplias para minimizar la afección al entorno de forma compatible con un cierto equilibrio económico.

El resultado es un único viaducto continuo de 989 m de longitud y 25,30 m de anchura, diseñado con un tablero mixto con sección transversal en cajón cerrado, con jabalcones laterales que permiten resistir los amplios voladizos laterales. La distribución de vanos se ajusta a vanos tipo de 86 m de luz, con 10 vanos centrales iguales, y vanos laterales de 64,5 m (Figura 2). El último vano, entre P-11 y el E-2 cruza sobre el río Esca, ajustando su dimensión a la zona que permite el río.

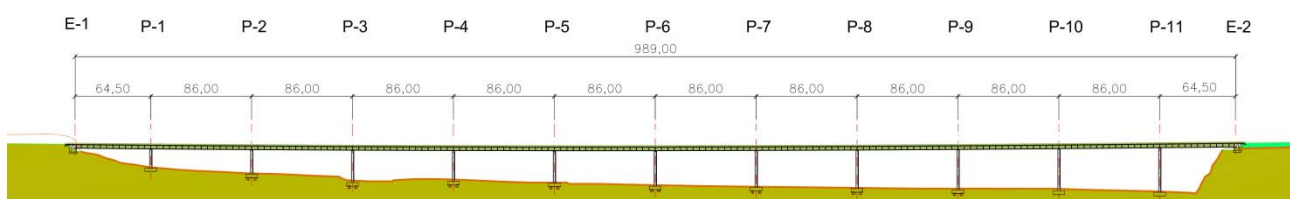


Figura 2a. Alzado del Viaducto de Sigüés

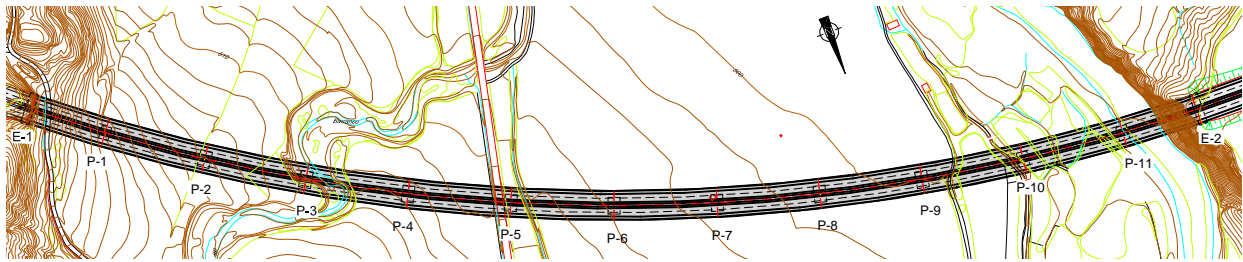


Figura 2b. Planta del viaducto de Sigüés

3. Descripción de la estructura

El viaducto tiene una longitud total de 989 m con una distribución de luces de 64,50 + 10x86 + 64,50 metros, y se desarrolla en una curva en planta de radio constante de 1500 m con peralte transversal constante del 4,775%. La rasante longitudinal del tablero queda integrada en una parábola vertical cóncava (kv 45.000), con el vértice situado en el entorno del centro de la estructura (vano 6).

El tablero es continuo en toda su longitud y queda resuelto mediante una solución en doble acción mixta con un cajón metálico muy ancho y jabalcones laterales para soportar los amplios voladizos laterales. El cajón se conecta a la losa superior, materializando una sección con simple acción mixta en positivos (Figura 3) y a la losa superior y al hormigón de fondo en la zona de negativos sobre pilas, materializando una sección con doble acción mixta (Figura 4).

Dada la importante longitud del viaducto, se vincula en sentido longitudinal de forma elástica a las 5 pilas centrales (P-4 a P-8) con apoyos tipo POT fijos longitudinales, materializando un punto pseudofijo frente a movimientos longitudinales situado sensiblemente en la zona central del viaducto, limitando así los movimientos a la mitad en las juntas de dilatación situadas en estribos. En las restantes pilas se emplean aparatos de apoyo tipo POT deslizantes en sentido longitudinal. En la dirección transversal, se dispone un apoyo fijo por cada eje de apoyo (pilas y estribos) para recoger las fuerzas transversales.

3.1. Sección transversal en cajón mixto con jabalcones laterales. Detalles de la estructura metálica

Los 25,30 metros del ancho de la plataforma del tablero incluye las dos calzadas, separadas mediante una barrera central rígida. Cada calzada tiene dos carriles de 3,50 m cada uno y se dispone un arcén exterior de 2,50 m y otro arcén interior de 1,50 m, así como una zona de mediana en la parte interior de 1,0 m de ancho y una barrera en los extremos de los voladizos exteriores de 0,65 m de ancho (Figuras 3, 4 y 5a).

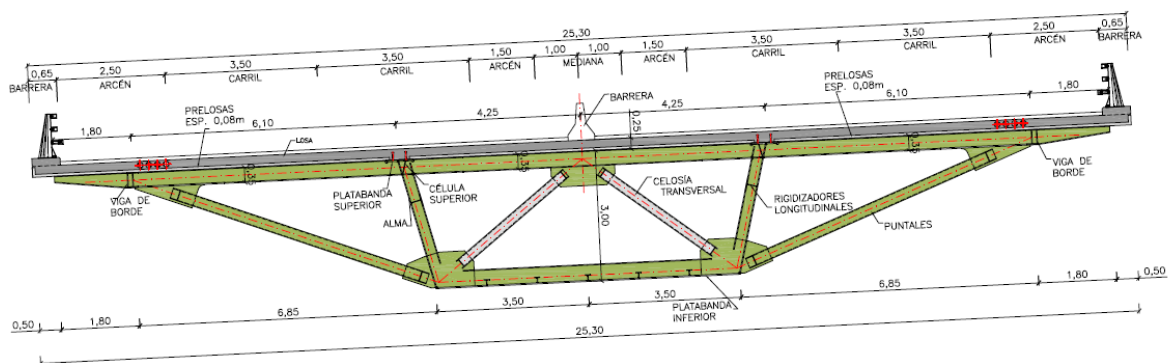


Figura 3. Sección transversal en zona de flexión positiva

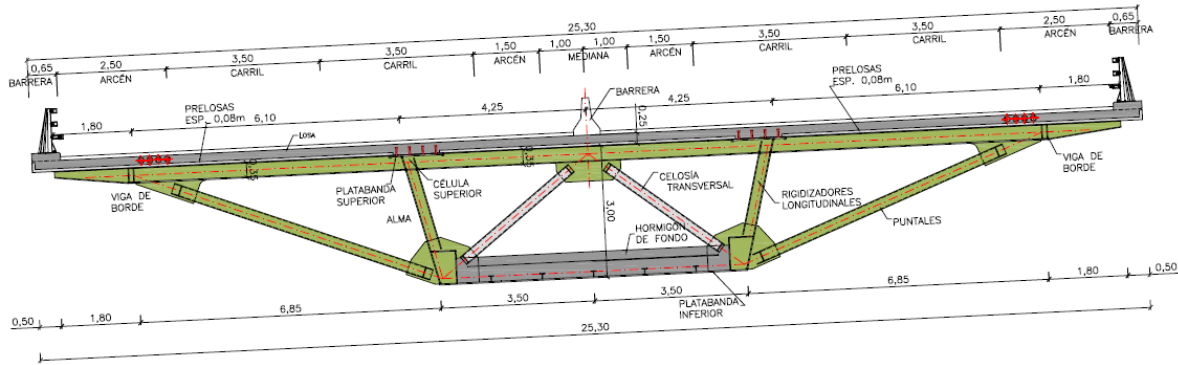


Figura 4. Sección transversal en zona de flexión negativa

El canto del cajón metálico es de 3,0 metros de canto constante y se conecta a la losa superior de hormigón de 25 cm de espesor, lo que supone una esbeltez de acero de $1/28,7$ y con la sección completa de $1/26,5$, habitual en este tipo de estructuras. El ancho inferior del cajón es de 7,0 metros y el ancho en la parte superior es de 8,50 metros, con voladizos de losa de 8,40 m que requieren de jabalcones laterales con un tirante transversal superior mixto y un puntal inclinado metálico dispuestos cada 5,375 m (Figura 5b).



Figuras 5a y 5b. Vista del ancho de la plataforma y cajón metálico con jabalcones laterales

En la zona de momentos negativos próxima a las pilas, el cajón metálico se conecta también al hormigón de fondo de espesor variable (de 25cm a 70cm), materializando la doble acción mixta que mejora notablemente la eficiencia estructural del cajón metálico, evitando chapas de espesor elevado trabajando a compresión (Figura 4).

Las Figuras 6a y 6b muestran el interior del cajón en zona de positivos y de negativos con doble acción mixta.



Figuras 6a y 6b. Vista del interior del cajón metálico en zona de positivos y de negativos

La losa superior del tablero de hormigón armado, se ejecuta sobre prelasas prefabricadas en celosía que flectan en sentido longitudinal apoyadas en los jabalcónes y en las riostras transversales superiores y en las riostras transversales superiores de las celosías dispuestas en prolongación de los jabalcónes cada 5,375 m (Figura 7).

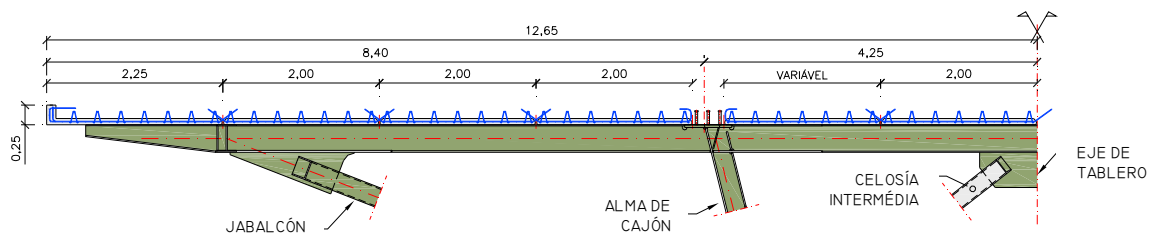


Figura 7. Detalle de las prelasas en celosía

La estructura metálica se ha proyectado en acero al carbono pintado S-355-K2+N y S-460-K2+N, en función del espesor de las chapas, las basas de apoyo en pilas en acero S-460-ML+Z35 y los perfiles metálicos (jabalcónes, celosías transversales y arriostramiento) en acero S-275-JR.

El cajón metálico consta, como elementos principales, de una chapa de fondo, dos almas laterales y dos platabandas superiores. Además, para mejorar la eficiencia estructural del cajón metálico se han incorporado células triangulares superiores soldadas al alma y a la platabanda superior en zona de momentos positivos, y células rectangulares inferiores soldadas al alma y la chapa de fondo en zona de momentos negativos. Tanto la chapa de fondo, como las chapas del alma de la sección en zonas de momento positivos, están rigidizadas longitudinal y transversalmente con rigidizadores metálicos (Figuras 6a y 6b).

Coincidiendo con los jabalcónes, se han incorporado en el cajón metálico celosías transversales cada 5,375 metros en forma de W, con un montante superior soldado a la platabanda y alineado con el tirante superior del jabalcón, dos diagonales que conectan el punto medio superior de la sección con las esquinas inferiores, donde también convergen el montante transversal inferior de la celosía y el puntal de los jabalcónes (Figuras 3, 4 y 6). En base a esta disposición, el conjunto de las celosías y jabalcónes establecen una configuración estructural triangulada necesaria para la transmisión de esfuerzos de todo el ancho de la plataforma del tablero. Por otro lado, entre celosías transversales se han dispuesto rigidizadores verticales de alma y transversales de fondo de cajón para asegurar la estabilidad de los paneles metálicos (Figura 6a).

Gracias a la disposición de los jabalcónes laterales es posible alcanzar voladizos de losa tan amplios (de 8,4 m). Cada jabalcón se compone de un tirante superior mixto que presenta esfuerzos de tracción y flexión, y de un puntal inclinado trabajando básicamente a compresión. En el extremo se dispone una viga de borde longitudinal de estabilización del conjunto (Figura 8).



Figura 8. Vista de los jabalcónes laterales

En los puntos de apoyo del tablero en estribos y pilas, se han proyectado mamparos transversales de alma llena con huecos de paso de hombre y se han previsto los refuerzos locales necesarios para una eventual sustitución de apoyos.

El plano superior del cajón metálico se ha arriostrado mediante unas cruces de San Andrés (Figura 9) cerrando temporalmente así el circuito de torsión del cajón hasta el hormigonado de la losa superior, asegurando así la estabilidad del cajón curvo durante las fases de montaje y su respuesta frente a las acciones de viento. Se disponen igualmente arriostramientos en las zonas en voladizo para asegurar la estabilidad de los jabalcones en fase de montaje.



Figura 9. Vista del arriostramiento superior del cajón metálico

La conexión de la estructura metálica al hormigón de la losa superior y del fondo del cajón se materializa con pernos conectadores metálicos soldados en taller.

Para permitir la inspección y mantenimiento del interior del cajón se han definido entradas al interior del tablero por la parte inferior del cajón en las zonas de ambos estribos y además se han proyectado pasos desde el tablero a la parte superior de cada una de las pilas para permitir la inspección y sustitución de los aparatos de apoyo accediendo desde el interior del tablero.

3.2. Alzados de pilas y estribos. Aparatos de apoyo

Las pilas del viaducto, con alturas variables entre 17 y 40 m, se han resuelto en hormigón armado y con sección maciza constante en toda su altura. La sección de las pilas se inscribe en un rectángulo de 7,0 metros de ancho y 2,20 metros de largo, con los extremos redondeados mediante semicírculos de 1,10 metros de radio, y el hormigón empleado tiene en cuenta que las pilas estarán sumergidas en un futuro bajo el agua del embalse de Yesa (Figura 10).

En la cabeza de las pilas se han materializado espacios abiertos que permiten el acceso de operarios desde el tablero para posicionarse adecuadamente para realizar las labores de inspección, mantenimiento y sustitución de los aparatos de apoyo.

Los estribos son cerrados convencionales con aletas en vuelta para contener las tierras y tras ellos se disponen las habituales losas de transición.

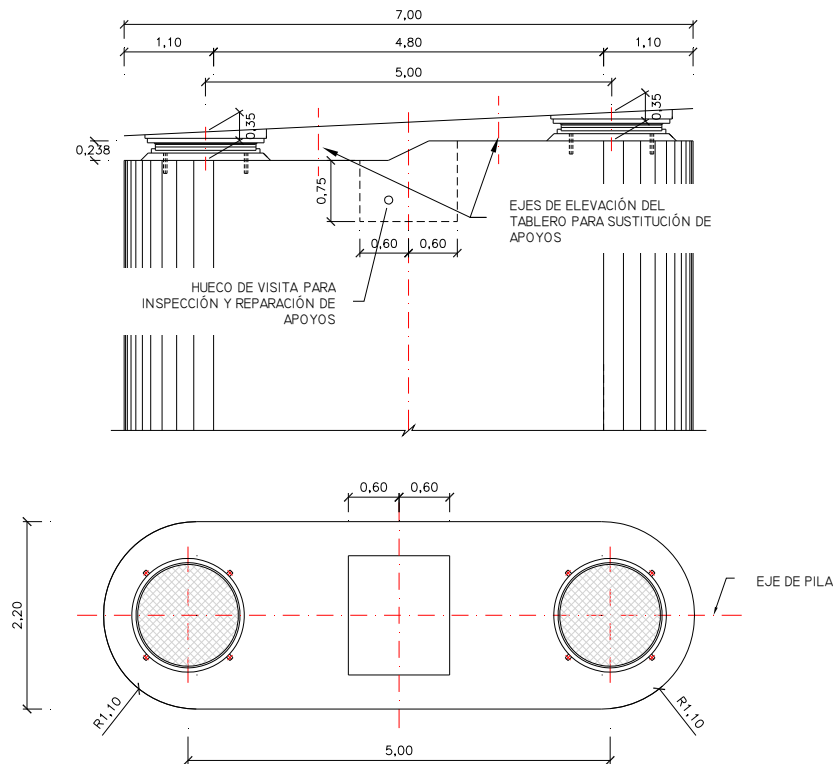


Figura 10. Alzado y sección de las pilas.

Como ya se ha comentado, los aparatos de apoyo son del tipo POT deslizantes en sentido longitudinal y uno de ellos guiado en cada pila o estribo para asumir las fuerzas transversales, con apoyos fijos longitudinales en las 5 pilas centrales. Todos los aparatos de apoyo del tablero son inspeccionables y sustituibles, habiéndose previsto la ubicación de los gatos en cabeza de pilas y estribos, así como los refuerzos locales en los mamparos de la estructura metálica.

3.3. Cimentaciones

En los dos estribos y las pilas 10 y 11 se han ejecutado cimentaciones superficiales al existir condiciones favorables de cimentación, mientras que en el resto de pilas se han ejecutado cimentaciones profundas mediante encepado y 6 pilotes de 1,80 metros de diámetro.

4. Proceso constructivo

4.1. Fabricación en taller de estructura metálica.

A partir de los planos del proyecto constructivo del tablero, el Taller ha desarrollado los Planos de Taller para la fabricación de la estructura metálica, especificando con todo detalle desde la configuración de armado de las piezas, hasta las soldaduras de cada una de las chapas y perfiles. La estructura metálica del tablero se ha prefabricado en el Taller Metálico EMESA, situado en Galicia y se ha enviado a obra por carretera.

Cada uno de los vanos del tablero se ha subdividido en tres dovelas por razones de transporte y montaje en altura. A su vez y también por razones de transporte a obra, cada una de las dovelas se han armado y enviado a obra divididas en dos mitades (Figura 11a). Los jabalcones también se han fabricado y enviados a obra como elementos independientes.



Figuras 11a y 11b. Imágenes de la fabricación de medio cajón en taller y del ensamblaje de una dovela en obra

En las bancadas de armado ubicadas en obra, junto a la traza del tablero, se ha armado la sección completa (cajón metálico y jabalcones) de cada una de las dovelas que forman la estructura metálica del tablero, previamente a su izado y posicionamiento en altura (Figura 11b).

La ejecución de la estructura metálica ha requerido la configuración de un programa de control de calidad, acorde a las normativas de referencia (EAE-11 [1] y UNE-EN 1090-2 [2]) y al Pliego del Proyecto. En el Programa de Puntos de Inspección se ha concretado el Plan de Control que, aun barriando todas las fases de fabricación, ha permitido dirigir y optimizar los ensayos en aquellos elementos de mayor responsabilidad de la estructura, especialmente los puntos de afección a fatiga.

4.2. Torres de apeo provisionales. Montaje del tablero metálico con grúas

Dada la altura media del tablero, asumible para realizar un montaje con grúas, y con espacio suficiente para acopiar los tramos del tablero en obra, se optó por esta solución de montaje como la solución más ventajosa a nivel técnico y económico. Con vanos tipo de 86 m, se diseñó un proceso constructivo apeado con dos apeos provisionales por vano, que permitiera izar piezas de longitudes y pesos más moderados, reduciendo además los esfuerzos durante las fases provisionales (Figura 12).

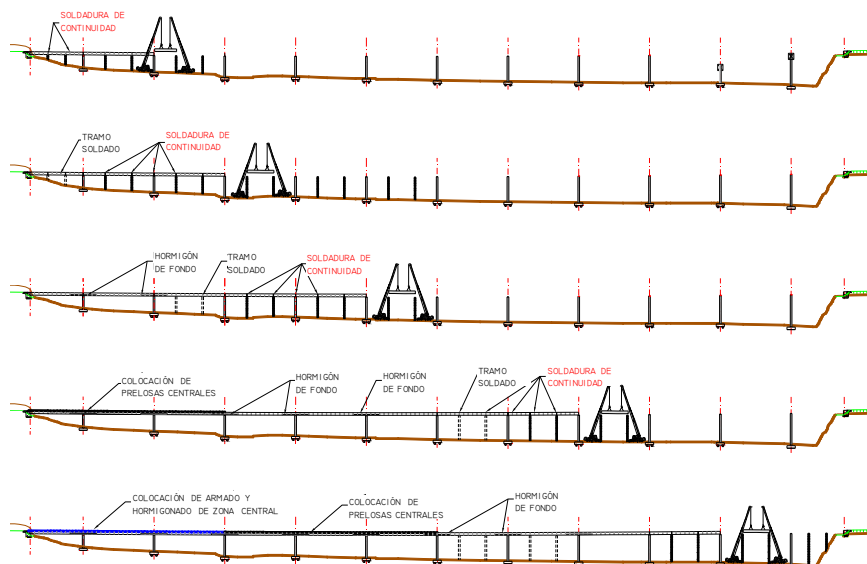


Figura 12. Proceso constructivo del viaducto.

Los apeos intermedios se componen de dos torres en celosía metálica cimentadas bien en zapatas o bien en encepados pilotados, en función de las cargas y exigencias geotécnicas del terreno. Cada una de las torres de los apeos se han posicionado en la vertical de las almas del cajón para asegurar

el correcto apoyo de la estructura y, además, se ha incorporado un entramado de vigas metálicas a modo de balancín de apoyo superior que permite corregir posibles excentricidades o desequilibrios puntuales de las cargas (Figura 13).



Figuras 13a y 13b. Torres de apeo provisionales e izado de dovelas metálicas

Una vez completado el montaje de las dovelas metálicas de tres vanos consecutivos y asegurada la continuidad estructural del cajón metálico, se materializó el desapeo controlado y secuencial de los apeos y se inició el montaje de los siguientes tres vanos, manteniendo esta secuencia hasta completar el tablero metálico completo.

El montaje evolutivo desde el E-1 hacia el E-2 ha requerido un análisis exhaustivo de los movimientos térmicos que experimenta el cajón metálico, definiendo la posición de los puntos fijos de la estructura para cada una de las fases de montaje, los movimientos en cabeza de torres de apeo y pilas y las dimensiones de las bandejas deslizantes de los aparatos de apoyo libres.

4.3. Prefabricación de prelosas.

Las prelosas en celosía (Figura 14) tienen un ancho que varía entre 1,70 m y 2,250 m, flectan en longitudinal, se apoyan en los tirantes de los jabalcones y los montantes superiores de celosías transversales y se montan en obra con grúas convencionales.



Figura 14. Colocación de prelosas en celosía sobre el tablero metálico

4.4. Hormigonado evolutivo de hormigón de fondo y losa superior.

Con la estructura metálica desapeada en los tres primeros vanos se procede al ferrallado y hormigonado del hormigón de fondo de las Pilas 1 y 2. A medida que se avanza en el montaje de los siguientes vanos metálicos, se va realizando el hormigonado de la losa de fondo manteniendo siempre un decalaje de tres vanos.

Tras ejecutar el hormigón de fondo en las pilas de tres vanos consecutivos, se procede al montaje de las prelosas en la parte central de la sección del tablero y posteriormente al ferrallado y hormigonado de esta zona, manteniendo siempre un decalaje de tres vanos entre fases de ejecución. Una vez completado el hormigonado de la parte central de la sección se colocan las

prelasas en los voladizos y se ferralla y hormigona de forma simétrica compensada, manteniendo el mismo decalaje de tres vanos entre fases de ejecución (Figura 15).



Figuras 15a y 15b. Montaje de prelasas y hormigonado de la zona central del tablero.

Este proceso constructivo evolutivo del hormigón de fondo y de la losa superior del tablero ha permitido una considerable optimización en el dimensionamiento de la sección mixta.

4.5. Acabados del viaducto y prueba de carga estática y dinámica.

La ejecución se completó con los zunchos y barreras de contención lateral y el pretil central de separación entre calzadas, colocando las juntas de dilatación en estribos y materializando la impermeabilización de la losa superior de hormigón y el aglomerado de la plataforma. Finalmente se realizaron las pruebas de carga estáticas y dinámicas con resultados satisfactorios (Figura 16).



Figuras 16a y 16b. Vista general del viaducto concluido

5. Principales participantes en el proyecto y obra

Propiedad: Demarcación de Carreteras de Aragón. Ministerio de Fomento. España.

Empresa Constructora: ISOLUX CORSÁN. Jefe de obra: Victor Arcos; Servicios Técnicos: Javier Encinas

Taller metálico: EMESA

Proyecto constructivo modificado: IDEAM S.A. Luis Matute, Helder Figueiredo y João Adão da Fonseca

Asistencia Técnica especializada durante la ejecución de las obras: IDEAM S.A. Miguel Ortega, Juan Luis Mansilla y Jesús Martín.

Referencias

- [1] EAE-11. Instrucción de acero estructural. Ministerio de Fomento 2011. Real Decreto 751/2011.
- [2] UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.