

Concepción y proyecto del puente Arco sobre el río Ebro en Logroño en la conexión de la autovía A-12 con la autovía LO-20

Conceptual design and project of the Arch bridge over River Ebro in Logroño in the link between A-12 highway and LO-20 highway

Francisco MILLANES MATO

Dr. Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Presidente

general@ideam.es

Daniel MARTÍNEZ AGROMAYOR

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Director del Departamento de Puentes

daniel.martinez@ideam.es

Pablo SOLERA PÉREZ

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Jefe de Proyectos

pablo.solera@ideam.es

RESUMEN

En las obras de prolongación de la autovía LO-20 hasta el enlace de Recajo se incluye también la conexión con la autovía A-12. Esta conexión cruza el río Ebro, para lo cual se proyecta un puente de 353 m de longitud formado por un viaducto de acceso de 6 vanos de 233 m y el puente principal de 120 m de luz que se resuelve con un puente arco de tablero inferior. Puesto que se trata del puente principal del tramo y dada la relevancia que implica cruzar el río Ebro, se ha prestado un especial interés al aspecto estético de la estructura en el diseño del puente.

ABSTRACT

The link between A-12 highway and LO-20 highway is included in the development of the LO-20 to Recajo connection. The bridge is formed by an approach viaduct and the bowstring arch bridge. The last one crosses over the riverbed with 120 m of span. The total length including both of them (approach viaduct and arch bridge) is 353 m. Due to the relevance of the arch bridge, the aesthetical matters has been especially cared.

PALABRAS CLAVE: Puente arco, bowstring, cajón metálico, péndolas

KEYWORDS: Arch bridge, bowstring, steel box girder, hangers

1. Introducción. Justificación de la solución adoptada

Los condicionantes del proyecto más relevantes que han influido en la solución adoptada en el proyecto han sido los siguientes: el cauce del río Ebro a salvar sin apoyos es de 120 metros; la solución adoptada debe tener un valor estético como corresponde a ser la obra principal del tramo así como la entidad del río Ebro; y la minimización de la afección de la construcción al entorno y al río principalmente.

Dentro del abanico de soluciones posibles se ha adoptado una solución de puente arco superior tipo bow-string, centrado en la mediana de la plataforma para soporte de los dos tableros, uno para cada calzada, unidos entre sí mediante riostras centrales dispuestas modularmente a lo largo del puente y a las que acometen en el eje de la plataforma las péndolas verticales que transmiten la carga del tablero al arco (Figura 1).

Se ha considerado una única tipología de arco central ubicado en la mediana del puente debido a la configuración en planta de la plataforma, que presenta una anchura importante, de 30 metros, frente a una longitud total de 120 metros (Figura 2). Nos encontramos por tanto ante un puente con una relación ancho-luz importante, y en el que la disposición de un arco en cada borde de plataforma proporcionaría una visión de ambos arcos muy exenta, sin apenas conexión entre ellos, y, en definitiva, con un resultado final probablemente muy pobre desde el punto de vista formal. Dado que, además, la duplicidad de la estructura resistente del arco no resulta ventajosa económicamente frente a soluciones de arco único, toda vez que el ahorro generado en el tablero no compensa la duplicidad en los arcos, se optó finalmente por la adopción de un puente con arco único.

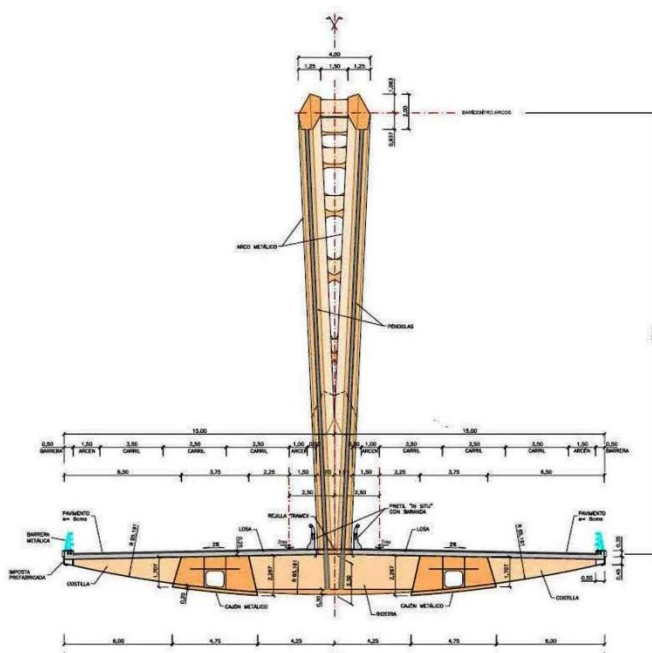


Figura 1. Sección transversal del arco

En lo que respecta a los materiales que constituyen el puente, se han planteado en estructura metálica tanto el arco como el tablero, salvo la losa superior que materializa la plataforma superior de este último. La ausencia de interferencias al cauce del río durante la construcción exige que la ejecución del puente incorpore de alguna manera el traslado de la estructura desde su lugar de ensamblaje principal a su ubicación en posición definitiva en el río. Esta exigencia constructiva, derivada de los condicionantes hidráulicos y medioambientales existentes, determina que la estructura de acero resulte significativamente más favorable que el hormigón. Los medios auxiliares y equipos necesarios para los desplazamientos resultan significativamente menores, como consecuencia del menor peso, y, por otra parte, la flexibilidad en fases de montaje de las estructuras de acero frente a sus equivalentes en hormigón convierte a aquellas en idóneas en aquellos casos en que los desplazamientos en construcción van a ser significativos. Los riesgos e

incertidumbres en construcción se reducen sensiblemente, y, en definitiva, resulta un proceso mucho más sencillo y controlado.



Figura 2. Vista general aérea del puente arco construido

2. Descripción de la estructura

2.1. Tablero. Sección transversal

La anchura de la plataforma total soportada por el puente es de 30 metros. Esta plataforma es soportada por un tablero mixto constituido por dos cajones longitudinales principales, separados 6.625 metros entre ejes, y vinculados cada ocho metros por medio de riostras transversales (Figura 3). Desde el eje de estas riostras el tablero se cuelga del arco por medio de péndolas verticales. Los voladizos exteriores resultantes se resuelven con costillas transversales en prolongación de las riostras, y sobre el conjunto costilla-cajón-riostra se dispone la losa superior de 25 centímetros de espesor. La losa de ambas calzadas se interrumpe en la mediana, de modo que la conexión entre ambas se reduce a la que proporcionan las riostras.

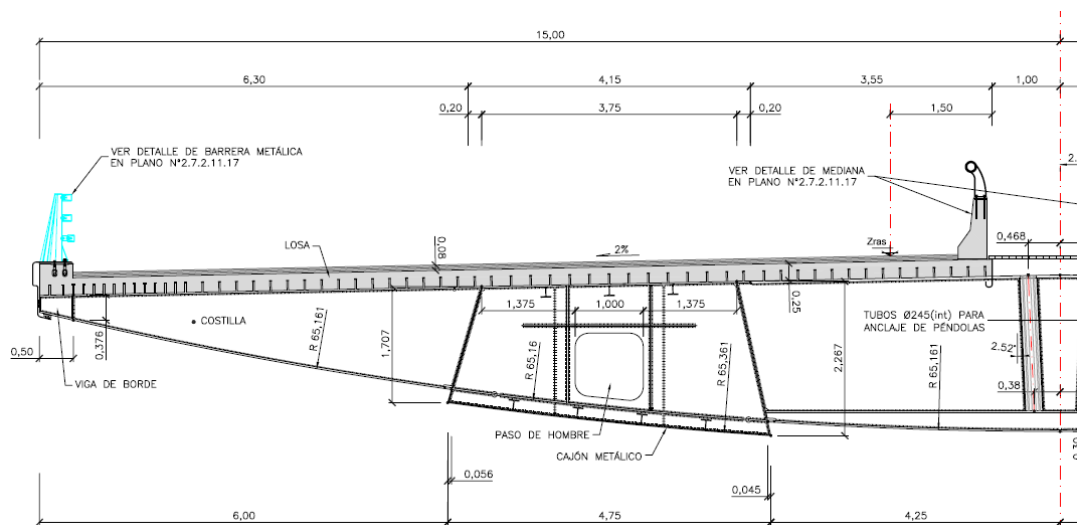


Figura 3. Semisección tablero: cajón longitudinal y conjunto transversal costilla-diafragma-riostra

Toda la estructura metálica del puente se proyecta en acero S355J2+N, con su correspondiente protección anticorrosiva mediante pinturas.

Los cajones metálicos se constituyen con una sección cajón de 4.75 metros de anchura inferior y 3.75 metros de anchura superior entre almas. Los cajones se cierran superiormente con un ala superior de 4.15 metros de anchura, y que vuela por tanto 20 centímetros respecto al alma. Este cierre es necesario para garantizar la rigidez a torsión necesaria en la estructura. El fondo de los cajones sigue un radio circular de 65.161 metros, común a toda la plataforma, lo que confiere alturas distintas a cada alma, resultando 1.707 y 2.267 metros respectivamente.

Tal y como hemos indicado, cada ocho metros los cajones se vinculan por medio de riostras transversales en las que se disponen los puntos de cuelgue de las péndolas en su zona central.

Los cajones se rigidizan transversalmente cada dos metros, con vigas armadas en T, de modo que existen tres planos de rigidización entre cada dos riostras. Asimismo, se disponen rigidizadores longitudinales en las alas del cajón, que se proyectan como medios perfiles laminados IPE300. Existen cuatro rigidizadores en las alas inferiores y tres en las alas superiores.



Figura 4. Vista inferior del tablero: cajón, costilla, riostra y viga longitudinal de borde

Los voladizos laterales resultantes son de 6.50 metros, medidos entre el borde exterior de la plataforma y el alma del cajón. Para proporcionar el soporte adecuado a estos amplios voladizos, se disponen elementos transversales a modo de costillas en prolongación de las riostras (Figura 4).

Sobre el sistema constituido por costillas, riostras y cajones se dispone la losa superior de 25 centímetros de espesor. Para colaborar a la flexión general entre costillas de la misma, se ha dispuesto una viga longitudinal de borde (Figura 4) a lo largo de todo el puente que, vinculado a las riostras y conectado a la losa, proporciona un cordón lateral de rigidez que ayuda a soportar muy eficazmente a la plataforma. La losa se proyecta semiprefabricada, disponiéndose en primer lugar un fondo de prelasas colaborantes sobre las que se ferralla y se vierte el hormigón in situ en segunda fase.

Los cajones apoyan sobre la pila 6 y estribo 2 en apoyos POT libres multidireccionales diseñados para una reacción máxima de 900 toneladas, ya que su fijación longitudinal y transversal se realiza indirectamente en los apoyos del arco. En las secciones de apoyo se disponen las riostras especiales de estribos, que, además de soportar localmente a la plataforma como una riostra tipo, actúan como mamparos de apoyo, y reciben además los sistemas de conexión entre el tablero y el arco (Figura 5).



Figura 5. Tablero en parque de empuje. Mamparo sobre estribo y detalle de apoyo del arco

2.2. Arco y péndolas

El arco se proyecta con directriz parabólica con 120 metros de luz y 25 metros de flecha (Figuras 6 y 7). Cada ocho metros le acometen las péndolas que, procedentes del tablero, transmiten la carga de la plataforma. La sección transversal del arco es variable. Básicamente se constituye por dos células poligonales cerradas de 2 metros de canto y 1.25 metros de anchura que, partiendo de una separación máxima en clave del arco de cuatro metros entre aristas exteriores, se van aproximando paulatinamente a medida que van acercándose a arranques. El plano que contiene la directriz de cada una de las células forma 2.52 grados con el plano axial del puente, y el desplazamiento lateral de las células hasta ubicar su directriz en el plano citado se realiza siempre perpendicularmente al plano axial del arco. Las secciones transversales del arco se definen por tanto normales a la directriz del conjunto, que está contenida en el plano axial del arco, y no a la directriz propia de cada célula. Las dos células citadas se maclan a una distancia de 10.45 metros desde arranques, constituyendo entonces una única sección unicelular cuyas caras discurren en estricta continuidad con las de las células virtuales, hasta alcanzar una anchura mínima de 1.80 metros en la sección de arranques.

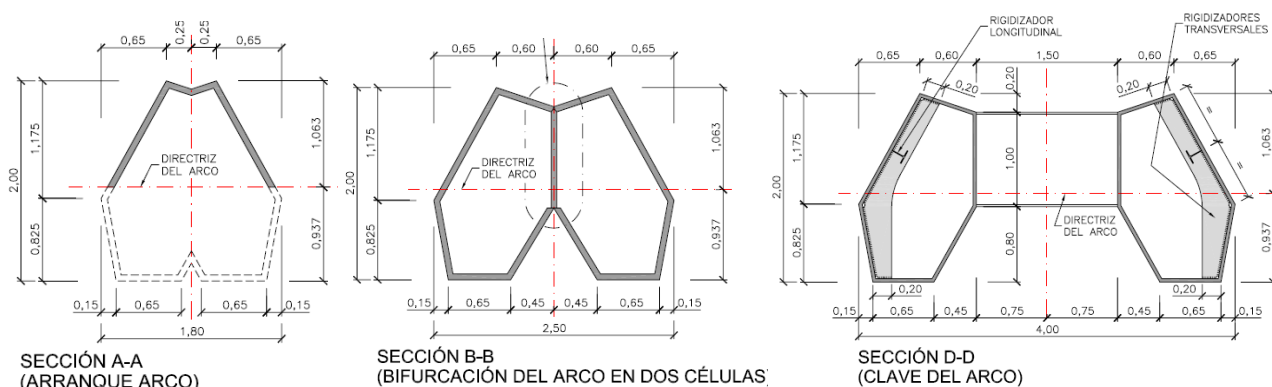


Figura 6. Secciones del arco en arranque, clave y punto de bifurcación de la macla en arranques



Figura 7. Arco durante la construcción

Las dos células que constituyen el arco se conectan cada ocho metros por medio de cajones transversales que, dispuestos radialmente según el arco, proporcionan al mismo la rigidez conjunta necesaria. Estos marcos proporcionan el trabajo marco en su plano y el trabajo laja según el arco necesario para estabilizar el conjunto, además de colaborar también en la recepción de las acciones localizadas de las péndolas. Se disponen por tanto coincidentes con las péndolas, y se prolongan en el interior de las células para englobarse en el detalle de anclaje.

La sección de arranque del arco transmite su carga vertical al poste de acero que queda embebido en la riostra de estribos, y su carga horizontal se transmite a los cajones por medio de chapas ubicadas a nivel superior del cajón, como es obligado en los arcos bow-string para proporcionar el atirantamiento horizontal necesario al arco. Bajo el poste de acero que recibe la carga vertical se disponen apoyos POT para 2500 toneladas, totalmente fijo el del estribo 2 y unidireccional en la pila 6.

Las péndolas se constituyen por parejas de tirantes (Figura 8) que, desde la riostra correspondiente, se dirigen a anclarse cada uno en una de las células del arco.



Figura 8. Vista general del puente durante la construcción

En lo que respecta a la subestructura, los alzados de la pila 6 y del estribo 2 se han proyectado con formas cuidadas, como corresponde a una estructura de esta envergadura. El estribo 2 se constituye por un muro con el paramento frontal inclinado, al que se adosa la gran pastilla de apoyo que recoge tanto a los cajones como al arco. El paramento frontal de esta pastilla buza precisamente al contrario que el muro, lo que realza notablemente el conjunto. En cuanto a la pila 6, su diseño respeta completamente el concepto del estribo, si bien incorpora también, del lado del viaducto de acceso, las pastillas necesarias para apoyarlo.

2.3. Viaducto de acceso

La aproximación al río se resuelve mediante vanos de luces convencionales, disponiéndose éstas, con vistas a conseguir mayor diafaneidad, a interferir lo menos posible en el cauce o zona de inundación y a realzar la vistosidad del conjunto, próxima a los mayores rangos posibles dentro de la tipología de losa continua postesada. La longitud total del viaducto se distribuye, por consiguiente, de forma muy homogénea en seis vanos, $37 + 4 \times 39.2 + 35.2$ m. (Figura 9).

La plataforma, de 30 metros de ancho total, se soporta por dos losas de comportamiento estructural independiente, vinculadas entre sí únicamente por la mediana, de dos metros de ancho, constituida por una estructura no portante adicional de tramex y cuyas funciones son básicamente de mantenimiento.



Figura 9. Viaducto de acceso. Vista inferior de los tableros gemelos tipo losa pretensada

La sección transversal de la losa se ha definido siguiendo criterios técnicos y estéticos, buscando, por un lado, la armonía del conjunto viaducto de acceso-Puente Arco y, por otro, una solución optimizada técnicamente, encuadrada dentro de una tipología de uso común y que conlleva una sencilla ejecución que no requiere la disposición de medios especiales adicionales ni interfiere en la ejecución simultánea del puente arco. Esta sección transversal, de canto constante e igual a 1.75 metros, se conforma, en su parte inferior y desde los extremos de los voladizos, con la sucesión de tres tramos de arco de circunferencia, no dejando aristas vivas vistas, favoreciéndose así la estilización de la estructura. La esbeltez alcanzada de esta manera es de $1/22.5$, dentro de los rangos habituales para la tipología elegida. Para la optimización del pretensado y de los refuerzos se hace imprescindible el aligeramiento de la sección, reduciéndose así la que es la principal sollicitación de la estructura. Se disponen para ello cinco aligeramientos de sección circular, de diámetros adaptados a la forma de la propia sección.

cimentación de la pila 4 del viaducto. Asimismo, el extremo opuesto del tablero empujado se retiene por medio de tirantes horizontales anclados en la obra civil ubicada tras el estribo.

3.2. Proceso constructivo finalmente ejecutado en obra

El proceso constructivo descrito anteriormente evitaba la afección al cauce, pero existen otras variantes que permiten la ejecución del puente con afecciones reducidas que resultan más económicas.

El proceso constructivo finalmente se simplificó y modificó en la fase de obra, reduciéndose el empuje a sólo el tablero metálico con apeos provisionales en el cauce sobre penínsulas (Figura 11). El ensamblaje y pintura del mismo se realizó en el parque de empuje situado tras el estribo E2. En la zona de la pila-estribo P6 que comparten el viaducto de acceso y el puente arco se realizó una meseta y se dispusieron tres apeos con el fin de apoyar el tablero durante el empuje. Posteriormente sobre ellos fueron las torres de apeo del arco. Para reducir la luz de la ménsula del tablero y no condicionar el dimensionamiento de las secciones se dispuso un nariz de empuje.



Figura 11. Puente durante el empuje: (a) Parque de empuje; (b) y (c) Tablero durante el empuje

Tras el empuje del tablero se dispusieron los tramos del arco apeados sobre la estructura metálica del tablero, se procedió posteriormente al desapeo del arco y cuelgue del tablero con las péndolas y desapeo del tablero. Con la estructura metálica concluida y en carga, se colocaron las prelosas y se hormigonó la parte de losa in situ.



Figura 10. Montaje del arco y colocación de prelosas y ferralla de losa

4. Principales participantes en el proyecto y obra

Propiedad: Ministerio de Fomento. Demarcación de Carreteras del Estado en la Rioja

Empresa Constructora:

UTE ACCIONA Infraestructuras – I.C. Construcción, Ingeniería y Gestión de Obras

Taller metálico: Talleres Centrales ACCIONA

Proyecto Constructivo: IDEAM S.A.