VIADUCTO EMPUJADO SOBRE EL RÍO IBAIZÁBAL

Incrementally Launched Viaduct over river Ibaizabal

Guillermo Ferrer Gutiérrez[*, a], Jose Antonio Crespo Martínez [b], Domingo Lorenzo Esperante [c]

[a] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. SILGA SL. g.ferrer@silga.es

[b] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. SILGA SL. j.a.crespo@silga.es

[c] Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. SILGA SL, d.lorenzo@silga.es

RESUMEN

El viaducto sobre el río Ibaizábal, en el tramo Lemoa-Galdakao de la "Y" vasca es, con sus 78 m de luz en sus vanos principales, uno de los vanos de mayor longitud empujados en España. En este artículo se cubren aspectos del diseño y cálculo del viaducto, con especial atención al análisis de las fases constructivas y al dimensionamiento del pescante de lanzamiento.

ABSTRACT

The viaduct over river Ibaizabal, included in the segment Lemoa-Galdakao of the Basque High Speed Rail network, has the longest spans even launched in Spain. In this article, the main aspects of design and analysis are presented, with special attention to the launching process and the dimensioning of the launching nose.

PALABRAS CLAVE: Viaducto, empujado, cajón, pescante de lanzamiento, Alta Velocidad.
KEYWORDS: Viaduct, incrementally launched, launching nose, High Speed Railway

1. Introducción

El tramo Lemoa-Galdakao, perteneciente a la "Y" vasca de la red de FFCC de Alta Velocidad, incluye la construcción de un viaducto sobre el río Ibaizábal. La constructora, UTE Lemoa-Galdakao, compuesta por Ortiz Construcción y Construcciones Murías encarga a SILGA SL el estudio de la alternativa para el viaducto originalmente proyectado. Este viaducto, originalmente diseñado en tablero mixto, se pretendía modificar a tablero de hormigón. El reto estaba en mantener las luces del viaducto original, que con sus 78 metros de vanos principales excedía todo lo proyectado y realizado en España en viaductos empujados de hormigón. Existe solo un caso de mayor luz, en el puente sobre el río Ebro, de la LAV Madrid-Barcelona. Sin embargo, sus 90 m de vano principal se realizan con empuje desde ambos lados. Es decir, el tablero no se desliza sobre el vano completo.

2. Diseño

La configuración del viaducto en alzado y sección se muestra en las figuras siguientes:

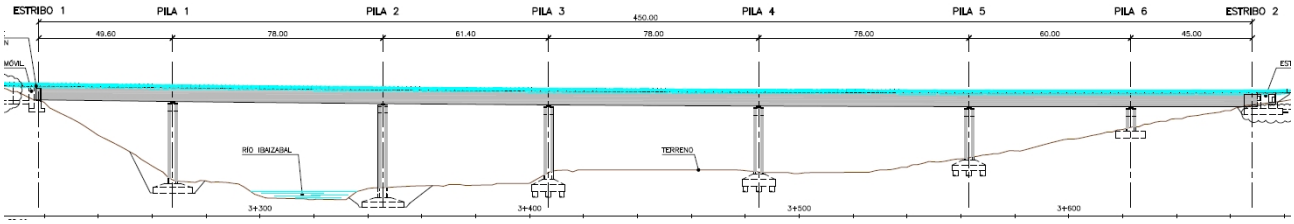

Figura 1. Alzado.

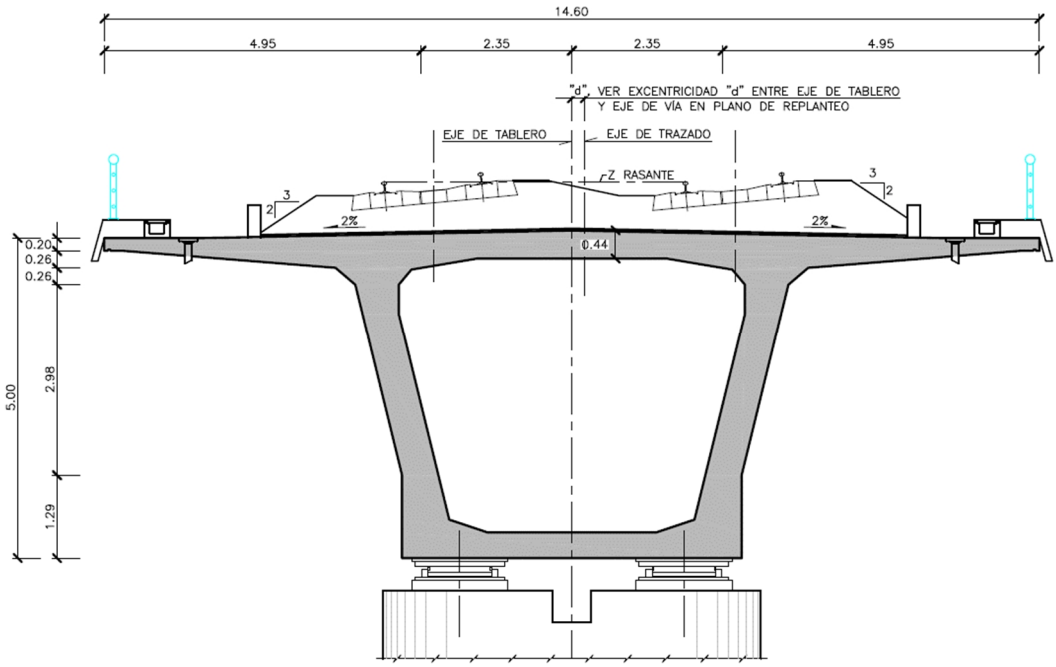

Figura 2. Sección transversal.

La estructura está constituida por un tablero de 14.60 m de anchura en planta y 450.0 m de longitud total entre apoyos, y consta de siete vanos de 49.60 + 78.00 + 61.40 + 2x78.00 + 60.00 + 45.00 metros de luz, respectivamente. Se resuelve mediante un tablero continuo de hormigón pretensado con una sección cajón unicelular de 5.118 metros de canto, de almas inclinadas de 0.55 m de espesor y tiene un ancho inferior de 5.50 m de espesor variable entre 0.40 m y 0.70 m. La losa superior tiene un espesor variable entre 0.20 y 0.53 m en los dos voladizos

de 3.76 metros de longitud y entre 0.594 y 0.438 m en la zona central.

El puente se realiza mediante empuje del tablero que se construye y empuja desde el estribo E-2. Se organiza en una serie de dovelas de longitud tipo de 26.60 metros. La distribución longitudinal de dovelas se realiza haciendo coincidir el centro de las dovelas sobre los ejes de pilas.

El pretensado se organiza en dos fases. La primera se corresponde con el pretensado de lanzamiento y se produce durante el proceso de fabricación en el parque de encofrado. Está formado por tendones de 19 torones ø0.62" en la tabla inferior y por tendones de 19 y 27 torones de ø0.62" en la tabla superior, dispuestos de forma que la resultante producida está prácticamente centrada sin dar lugar a momentos flectores. La idea de ser centrado se debe a que una sección durante el empuje tendrá momentos flectores positivos y negativos según se encuentre en zona de vano o de apoyo de pila.

La segunda fase de pretensado se denomina pretensado de continuidad. Está formado por 6 tendones de 21 torones de ø0.62" en los vanos 1,3 y 7, 8 tendones de 31 de ø0.62" en vano 2, 4 y 5, y 6 tendones de 31 torones de ø0.62" en vano 6. Los tendones recorren un vano anclándose en los diafragmas de pilas

Para encajar el tablero al trazado se ha desarrollado la rasante del tablero en un círculo que sea envolvente inferior del eje de trazado y se dispondrá un espesor de balasto variable. Para adecuarse al trazado en planta se ha realizado un círculo cuya máxima desviación respecto al eje de trazado sea de 30 cms, razón por la cual el tablero tiene una anchura de 14,60 metros (0,30+14,00+0,30).

El tablero se sustenta sobre seis pilas de sección con forma rectangular de ancho constante de 5,90 m, y de canto constante de 2.80 m en toda la altura. Tienen las esquinas rematadas con círculos de 1.00 metro de diámetro

Los estribos se han proyectado cerrados con aletas y muros en vuelta. El estribo 1 es un estribo convencional de 8,26 m de altura total desde cota inferior de zapata. El estribo 2 es un gran cargadero cimentado con zapata, que junto al parque de encofrado tiene que funcionar como bloque de reacción durante el empuje. Luego se ejecuta el muro de guarda con los muros y diafragmas necesarios para el atado del tablero al estribo, quedando configurado como estribo de frenado.

El pescante para el empuje tiene una longitud entre el tablero y el apoyo extremo de 45.0 m. Consta de dos cuchillos metálicos de 5.05 m de canto máximo, variable hasta 2.0 m de canto en el extremo. Los cuchillos están separados entre sí 4.20 m y están constituidos por platabandas metálicas de 60 cm de ancho en la base, de espesor variable entre 50 y 25 mm, almas de espesor entre 45 y 12 mm y una platabanda superior de espesor y ancho también variable. Se disponen rigidizadores verticales de alma cada 20 m en toda su altura, y cada metro sólo en la zona inferior. Se trata de rigidizadores armados. Asimismo consta de tres niveles de rigidizadores longitudinales constituidos por perfiles IPE 300 y 400 según la zona. Para rigidizar la platabanda inferior se disponen dos platabandas inclinadas de 12 mm de espesor.

El pescante se divide en cuatro tramos para facilitar su transporte, que se unen entre sí mediante uniones atornilladas. La unión al tablero se realiza mediante barras pretensadas de 36 y 40 mm de diámetro.

Los dos cuchillos están unidos entre si mediante una celosía inferior constituida por perfiles HEA 200, así como travesaños inferiores del mismo tipo. Los travesaños superiores son HEA 140 excepto en los cuatro primeros marcos, en que se disponen HEA 180. Por último, las diagonales son tubos 150x10 en los cuatro primeros marcos y tubos 120x8 en el resto.

En la figura siguiente se puede ver la configuración general.

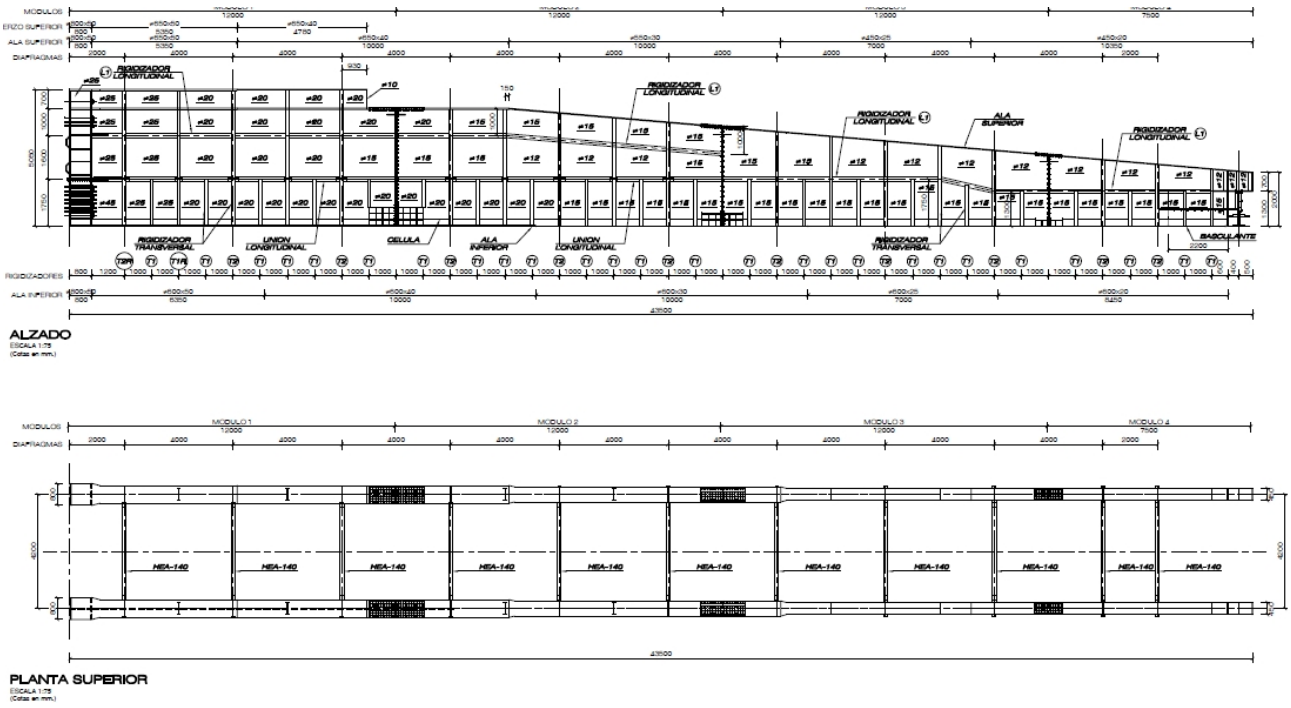

Figura 3. Alzado y planta.

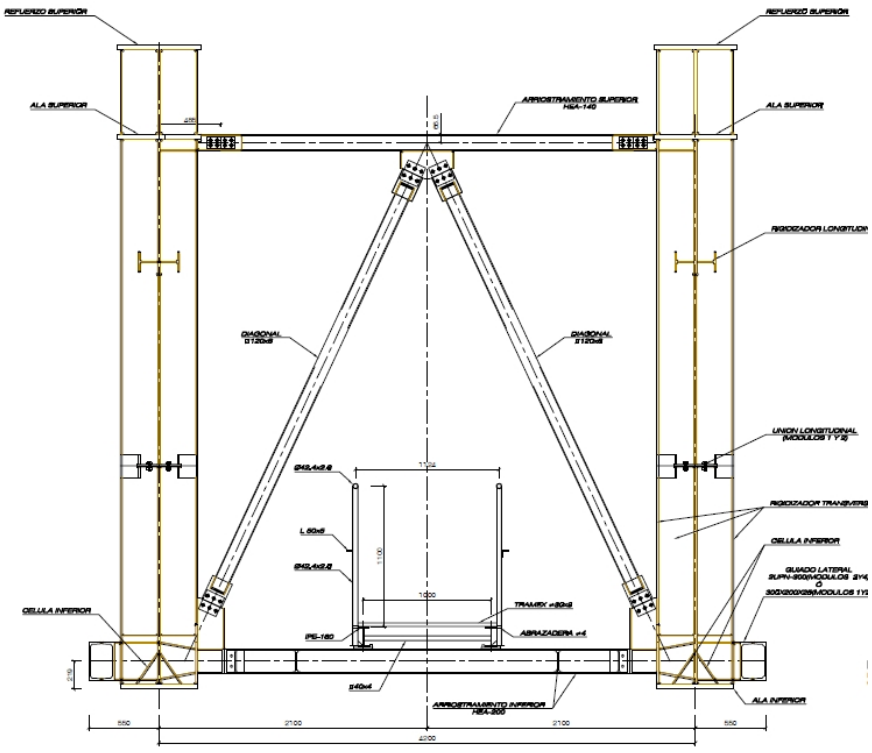

Figura 4. Sección transversal.

El proyecto de la nariz de lanzamiento se desarrolló completamente como adaptación de la empleada en el viaducto de Deza. Los planos de las figuras anteriores corresponden a esa nariz. Posteriormente se abandonó la idea de reutilización de dicho pescante y la ingeniería EIPSA desarrolló un diseño nuevo. En SILGA se realizó la revisión de ese diseño con recálculo completo y se incorporaron sus características en un recálculo del tablero en situación de lanzamiento.

2. Cálculo

Se comienza por el análisis del tablero que se realiza mediante un modelo de pórtico espacial. Este modelo, realizado por medio del programa RM2006, permite reproducir fielmente la secuencia constructiva de la estructura en todos sus pasos. Se trata de un modelo que arroja resultados de gran precisión en cuanto a la evolución de los esfuerzos de fluencia y retracción. A partir de este modelo se analizan esfuerzos y tensiones, y se obtienen las reacciones verticales y movimientos en apoyos.
Para el análisis durante el empuje se realiza un modelo de viga espacial en el que se incluye el tablero de hormigón más el pescante metálico. La simulación del empuje se realiza cambiando la posición de los apoyos en cada caso de carga. Se realizan tres hipótesis de carga correspondientes a peso propio con sobrecarga de trabajo, gradiente térmico positivo y gradiente térmico negativo, con un total de 135 casos de carga distintos.

Para la nariz de lanzamiento se realiza un modelo completo tablero-pescante modelizando como barra el tablero y con elementos placa las chapas del pescante. Los perfiles y rigidizadores se modelizan también mediante barras. Este modelo se analiza en diferentes estados del avance del pescante, modificando los puntos de apoyos en cada caso y aplicando en cada estado las cargas obtenidas en modelos aparte.
Este modelo permite obtener los esfuerzos generales en cada cuchillo que sirven para realizar el dimensionamiento seccional, que se realiza por el método de las secciones reducidas para obtener los esfuerzos que agotan la sección. Una vez obtenidos estos esfuerzos se comprueba que los esfuerzos de cálculo están dentro del diagrama de interacción de la sección.

Del modelo general se obtienen los esfuerzos que permiten el análisis de estabilidad y tensiones de los perfiles y rigidizadores del pescante. La comprobación se hace de acuerdo al EC-3. Se tiene en cuenta en las diagonales y travesaños superiores la fuerza de desvío debida al pandeo lateral del cordón comprimido del pescante

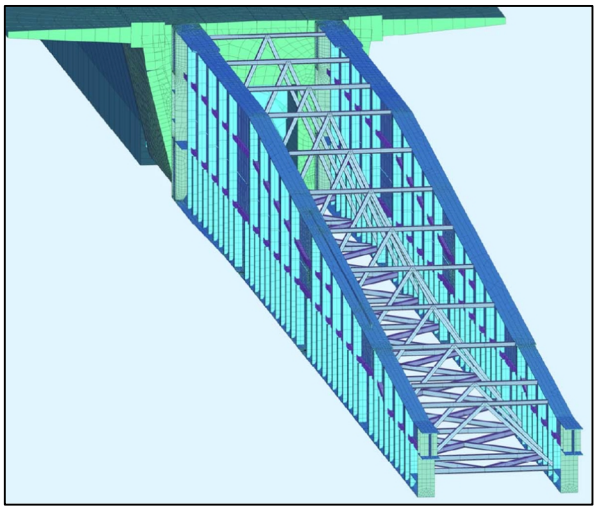

Figura 5. Modelo de análisis del pescante de lanzamiento

Para poder analizar correctamente la influencia de los rigidizadores de alma y los cambios de espesor en los diferentes paneles, se recurre a la formulación del eurocódigo. Para la

obtención de la carga crítica en cada caso se emplean modelos auxiliares que reproducen el panel en estudio y los dos adyacentes con sus dimensiones geométricas y mecánicas correspondientes. En estos modelos se aplican las cargas verticales reales mayoradas, equilibradas por cortantes en las almas situados a una distancia que produzca un momento en la sección central correspondiente al del peso propio del pescante que queda a la derecha de la sección.

Se obtiene mediante un análisis de pandeo la fuerza crítica en relación a la introducida que provoca el pandeo de cada panel. A partir de esa carga crítica, se sigue la formulación del Eurocódigo para obtener el coeficiente de seguridad

Para las uniones entre tramos se sigue por un lado la formulación del EC-3 para uniones a cortante y por otro lado se comprueba la sección a flexión. Además se emplea un modelo auxiliar para evaluar las tensiones en las chapas que conforman la unión. En este modelo se introducen los esfuerzos calculados en el modelo general y se evalúa considerando los tornillos como muelles no lineales.

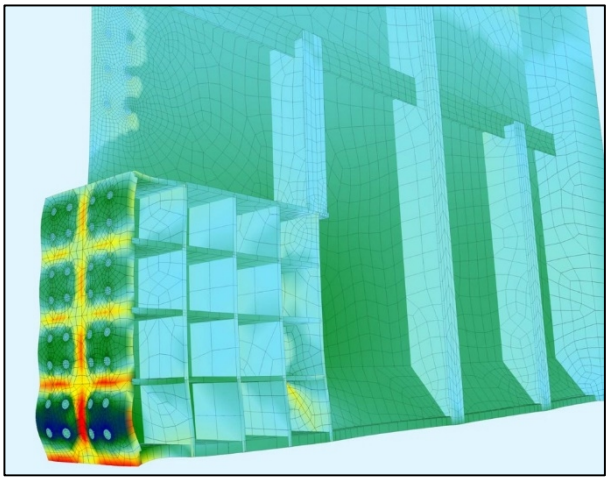

Figura 6. Modelo local en la conexión con el tablero

2. Ejecución

El procedimiento de empuje es el consistente en la aplicación de gatos de doble acción, con desplazamiento vertical y horizontal, de manera que el tablero se moviliza por rozamiento. En la foto se observan los gatos de empuje en el momento de su colocación

Figura 7. Gatos de empuje

En pilas se disponen guías laterales para garantizar la alineación.

Figura 8. Guías laterales

Los apoyos sobre los que se empuja el tablero son los mismos que sirven en situación definitiva.

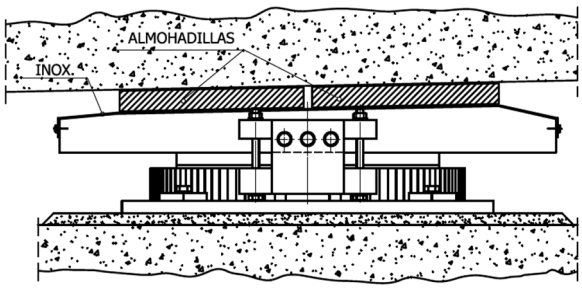

Figura 9. Apoyos

3. Reportaje fotográfico

El viaducto se encuentra totalmente finalizado en su ejecución. En las fotos siguientes se muestran diversas fases de la ejecución.

Figura 10. Primeras fases de ejecución

Figura 11. Vista durante el lanzamiento (1)

Figura 12. Vista durante el lanzamiento (2)

Figura 13. Vista durante el lanzamiento (3)