

Viaducto de Zumelegui. LAV Vitoria – Bilbao – San Sebastián: Tramo Elorrio – Elorrio.

Zumelegui Viaduct. HSL Vitoria – Bilbao – San Sebastián. Section: Elorrio – Elorrio.

Pablo GRANDÍO NOCHE^a, Jorge CASCALES FERNÁNDEZ^b, Sergio COUTO WÖRNER^c, Ricardo RICO RUBIO^d

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Ingeniero de Proyectos. pgrandio@k2ingenieria.es

^bIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director Técnico. jcascales@k2ingenieria.es

^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director General. scouto@k2ingenieria.es

^dIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director de Ingeniería. rrico@k2ingenieria.es

RESUMEN

El viaducto de Zumelegui pertenece al tramo Elorrio – Elorrio de la LAV Vitoria – Bilbao – San Sebastián. Es una estructura de 481 metros de longitud, dividida en 7 vanos, con una luz máxima de 85 metros y que se ejecuta mediante voladizos sucesivos. Permite el paso sobre la carretera N-636 actual, así como sobre una futura ampliación de la misma, y se encuentra situado en un enclave natural de gran belleza.

ABSTRACT

The Zumelegui viaduct is located on the section Elorrio – Elorrio, which is part of the HSL Vitoria – Bilbao – San Sebastián. It is a 481-meter-long balanced cantilever bridge, divided in 7 spans, and with a maximum length of 85 meters. It allows passage over the current N-636 road, considering its future extension as well, and is located in a natural setting of great beauty.

PALABRAS CLAVE: Alta velocidad, voladizos sucesivos, cajón pretensado, transmisores de impacto.

KEYWORDS: High Speed, balanced cantilever, prestressed box girder, shock transmission unit

1. Introducción

El Viaducto de Zumelegui pertenece al tramo Elorrio-Elorrio, que discurre en su totalidad por el municipio vizcaíno de Elorrio y forma parte de la LAV Vitoria - Bilbao – San Sebastián.

Este tramo, de una longitud cercana a los 3 kilómetros, se adjudicó en el año 2020 a una UTE formada por Sacyr, Cavosa y Mariezcurrena. La Obra supone la construcción de la plataforma ferroviaria en sección de doble vía de ancho internacional para circulación de tráfico a una velocidad máxima de 220 km/h e incluye la construcción de cinco viaductos,

incluyendo Zumelegui, y un túnel de 206 metros de longitud.

En relación al viaducto de Zumelegui, el trabajo realizado por k2 Ingeniería consistió en desarrollar un proyecto constructivo nuevo que contemplara una serie de adaptaciones planteadas en obra sobre la solución del proyecto licitado, redactado por la empresa Pedelta. Además, se prestaron también servicios de Asistencia Técnica durante la ejecución de las obras.

En los apartados siguientes se describe, tanto el proyecto constructivo realizado, como

los detalles más relevantes del proceso constructivo.



Figura 1. Viaducto de Zumelegui finalizado

2. Descripción de la estructura

2.1 Descripción general

El viaducto de Zumelegui es una estructura con una longitud de 481 metros, dividido en 7 vanos con un reparto de luces de 51+75+80+85+67+38 metros.

La sección transversal se resuelve por medio de un tablero único de 14 metros de ancho, para albergar doble vía, de hormigón postesado y de canto variable, que se adapta al trazado de la línea tanto en planta como en alzado. El radio de curvatura en planta es de 2602 metros mientras que en alzado se corresponde con una alineación recta.

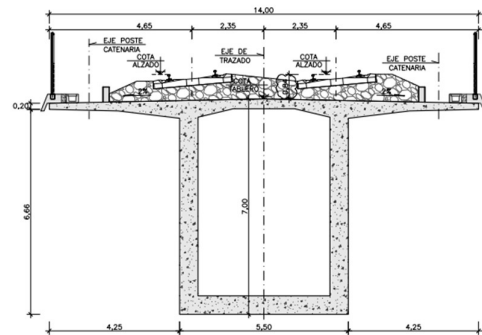


Figura 2. Sección tipo viaducto (canto máximo)

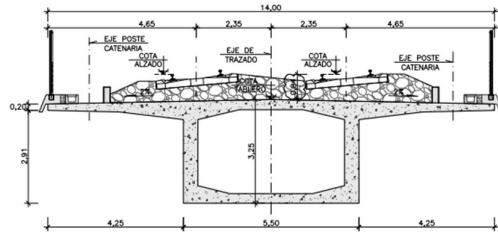


Figura 3. Sección tipo viaducto (canto mínimo)

El tablero está rígidamente unido a las cuatro pilas centrales, a partir de las cuales comienza su construcción mediante el sistema de voladizos sucesivos. El primer y último vano se hormigonan sobre cimbra y están apoyados mediante aparatos tipo Pot en pilas y estribos.

Para resistir las acciones horizontales derivadas del tráfico de Alta Velocidad se han situado transmisores de impacto con limitación de fuerza máxima en el estribo 2. De esta manera, el comportamiento del viaducto ante deformaciones impuestas viene determinado por la vinculación rígida entre el tablero y las cuatro pilas centrales, ya que estos dispositivos no ejercen coacción ante las acciones lentas. Ante acciones rápidas, sin embargo, los transmisores de impacto se diseñan con capacidad para resistir los esfuerzos con un desplazamiento mínimo en colaboración con las pilas centrales. De esta manera la mayor parte de la fuerza de frenado es resistida por los dispositivos situados en el estribo 2.

2.2 Subestructura

Como se comenta en el apartado anterior, la vinculación rígida entre el tablero y las cuatro pilas centrales se completa con la disposición de apoyos tipo Pot en estribos y pilas 1 y 6. Estos apoyos son libres en la línea izquierda y guiados longitudinalmente en su línea derecha, coincidiendo con el lado exterior del acuerdo circular en planta.

Las pilas, de HA-40, están formadas a partir de una sección cajón de canto constante igual a 4 metros y ancho variable, partiendo de 5.50 metros en cabeza y con pendientes laterales de 1/50.

El espesor de las paredes laterales es constante e igual a 0.40 metros. En las pilas 1 y 6 se dispone un macizado en cabeza en una altura de 3.00 metros, mientras que en las cuatro pilas rigidamente unidas al tablero se aumenta el espesor de las paredes hasta los 0.60 metros en esa misma longitud final.

La altura de las pilas 1 y 6 es de 18.70 y 11.60 metros. La altura de las pilas centrales 2 a 4, es similar, con un máximo de 70.90 metros en la pila 3, mientras que la pila 5 es la más baja con 43.40 metros.



Figura 4. Pilas acabadas y primeras dovelas en construcción.

El diseño de las pilas se ha realizado intentando lograr un compromiso entre una rigidez mínima que garantice las condiciones de seguridad en construcción, en una configuración de ménsula y ante las hipótesis más desfavorables de hormigonado asimétrico de dovelas y/o caída de carro; y la máxima esbeltez para minimizar los esfuerzos debidos a deformaciones impuestas en situación de servicio, donde el tablero tiene una coacción elástica ejercida por su vinculación a las pilas centrales.

El estribo 1 es cerrado, con una altura de 9.20 metros, libre en situación de servicio y con una coacción longitudinal provisional en situación de construcción que se materializa por medio de 4 barras, templadas pero sin fuerza de tesado, de 40 mm de diámetro, y 3 apoyos de neopreno.

El estribo 2 es también cerrado, de 8.10 metros de altura y con el mismo sistema de fijación provisional en construcción. Además, se dispone de espacio para ubicar 5 transmisores de impacto, con capacidad para resistir las fuerzas de frenado con un desplazamiento mínimo y con limitación de fuerza para evitar que ante sismos mayores que los definidos en la normativa la fuerza crezca sin límite.

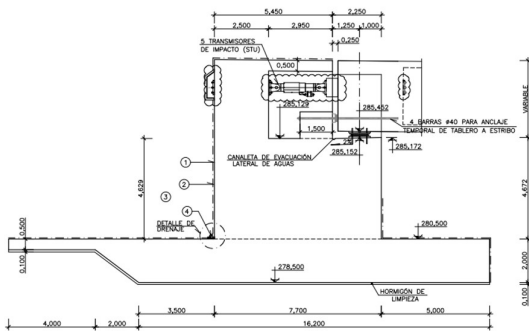


Figura 5. Estribo 2 (sección tipo)



Figura 6. Detalle de transmisores de impacto

La cimentación tanto de las pilas como de los estribos es superficial, resuelta mediante zapatas con tensiones admisibles entre 0.5 y 0.6 MPa.

2.3 Tablero

El tablero, de HP-50, está formado por una sección viga-cajón de 14 metros de ancho y canto variable. Parte de 4.25 metros en el vano 1 y, a partir del vano 2, aumenta hasta llegar a valores máximos sobre las pilas, 6.5 metros sobre las pilas 2 y 5, y 7.0 metros sobre las pilas 3 y 4; el canto mínimo es de 3.25 metros tanto en los vanos centrales como en el último vano. Las esbelteces máxima y mínima son por tanto de 1/12 sobre pilas y 1/26 en centro de vano, valores usuales en puentes de ferrocarril para cumplir las limitaciones exigidas por la normativa.

Las almas son verticales y, teniendo en cuenta que el cajón central tiene un ancho de 5.50, los voladizos laterales tienen 4.25 metros de longitud cada uno.

En las dovelas el espesor del alma es de 0.45 metros y el de la tabla inferior variable,

llegando a un valor máximo de 0.60 metros en eje de pilas y 0.30 metros en centro de luz. La tabla inferior presenta una serie de recrecidos para materializar las cuñas de anclaje del postesado inferior, así como unos nervios de rigidización en la dovela de cierre y adyacentes.

En la dovela 0, de 12 metros de longitud, el espesor de las almas es de 0.60 metros y la riostra se materializa por medio de dos tabiques que conforman una “V” invertida para facilitar la transmisión de cargas con la pila.



Figura 7. Cuñas para anclaje de postesado inferior



Figura 8. Dovela 0

El pretensado está formado por varias familias con las características principales siguientes:

- Familia de tendones de avance en voladizo, materializado con unidades de 15 cordones $\phi 0.62''$ en la tabla superior.
- Familia de tendones de continuidad, materializado con unidades de 15 cordones $\phi 0.62''$ en la tabla inferior.
- Familia de tendones parabólicos en almas, con unidades de 27 cordones $\phi 0.62''$.

Además, y de acuerdo con el criterio determinado por la D.O., se han dejado unas vainas adicionales de reserva por si fuera necesario aumentar el pretensado debido a posibles incidencias tanto en fase de construcción como de servicio. Para garantizar

la durabilidad de dichos elementos las placas de anclaje se realizaron en acero galvanizado.



Figura 9. Placa de anclaje de reserva.

3. Proceso constructivo

La definición del proceso constructivo partió en primer lugar de los medios auxiliares disponibles para la ejecución del viaducto, en particular de la capacidad y cantidad de carros de avance. La Obra contaba con dos parejas de carros de avance con un peso de 1100 kN por carro y con capacidad suficiente para dovelas de peso máximo del orden de los 1600 kN.

Con estos datos se realizó una distribución de 6 dovelas por vano para la pila 2 y 7 para las pilas 3, 4 y 5, con longitudes mínimas de dovela de 4.85 metros y máximas de 5.15 metros. Las dovelas de cierre se realizaron de 3 metros.

Por otra parte, la configuración de la estructura en servicio con 4 pilas vinculadas rígidamente al tablero obligaba a intentar minimizar la rigidez de las mismas, algo que en etapas constructivas penalizaba de forma importante la estabilidad de la pila ante situaciones de desequilibrio y/o caída accidental de carro. Para intentar limitar los esfuerzos de desequilibrio sobre las pilas en construcción se optó por hormigonar las dovelas en 2 fases, impidiendo el comienzo del hormigonado de la segunda fase hasta la finalización de la primera fase en las dos dovelas opuestas. De esta forma los esfuerzos de desequilibrio se limitaban

únicamente al peso de aproximadamente la mitad de la dovela, y se pudo encajar las mínimas dimensiones posibles de los fustes de pilas cumpliendo las condiciones de seguridad.

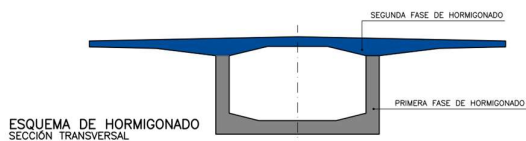


Figura 10. Fases de hormigonado de dovelas

Con los condicionantes descritos se planteó entonces la secuencia conformada por las siguientes fases de ejecución:

- Ejecución de cimentaciones y alzados de pilas y estribos.
- Ejecución de dovelas 0 en pilas 2, 3, 4 y 5.
- Ejecución de primer vano y parte del segundo utilizando cimbra porticada.
- Montaje de carros de avance en pilas 2 y 3. Avance en voladizo en dichas pilas. El avance en voladizo se realiza con la secuencia habitual de avance de carro, nivelación, hormigonado y tesado de familia de tendones de voladizo.



Figura 11. Parejas de carros en pilas 2 y 3

- Operaciones de cierre de las dos primeras “T” y montaje de carros de avance en pilas 4 y 5. La ejecución de las dovelas de cierre se realiza siguiendo un estricto orden y control de las operaciones: se realiza una conexión provisional entre los extremos a conectar con una estructura auxiliar, se

liberan las fijaciones provisionales, en el caso de los extremos de tablero vinculados en construcción a los estribos, y se hormigona la dovela de cierre en horario nocturno para limitar las variaciones térmicas mientras el hormigón adquiere resistencia.

Una vez que el hormigón adquiere la resistencia mínima necesaria se

comienza el tesado de los tendones de continuidad de la tabla inferior.



Figura 12. Dovela de cierre entre P2 y P3

- Avance en voladizo en pilas 4 y 5 y ejecución de último vano y parte del penúltimo con cimbra porticada



Figura 13. Parejas de carros en pilas 4 y 5

- Operaciones de cierre de las dos últimas “T” siguiendo las mismas prescripciones comentadas anteriormente.



Figura 14. Dovela de cierre entre P3 y P4



Figura 15. Dovela de cierre entre P4 y P5

- Montaje de dispositivos STU en estribo 2 y conexión con tablero, tesado de tendones parabólicos y operaciones de acabado.



Figura 16. Puente acabado

4. Control geométrico

En un puente construido por avance en voladizo debido al cambio del esquema estructural, así como de las características dependientes del tiempo de los materiales, es necesario realizar un análisis paso a paso en el tiempo con el fin de estudiar los desplazamientos de la estructura en cada una de las fases y fijar las contraflechas que hay que establecer en construcción para que la estructura, durante la fase de servicio, tenga la geometría teórica establecida en el proyecto.

Para ello se realizó un modelo de cálculo que permitió definir las cotas de montaje en las que debían construirse todas las dovelas del tablero, teniendo en cuenta las deformaciones que alcanzaría el viaducto desde que se hormigonase hasta la fase de servicio. Por lo tanto, el hormigonado de cada dovela se realizaba situando ésta a una distancia de la rasante teórica igual y contraria a la flecha obtenida.

Además de estas cotas de montaje de cada dovela, se definió un protocolo de control geométrico, que incluía las cotas de control de

las secciones de medida en los eventos más relevantes que suceden durante el proceso constructivo. La finalidad de estas cotas de control es que durante la construcción se puedan ir realizando las mediciones de control necesarias para verificar si existen desviaciones respecto al modelo de cálculo realizado y, en su caso, realizar las correcciones oportunas.

De forma resumida el proceso para una dovela tipo consistía en los siguientes hitos fundamentales:

- Posicionamiento del carro para hormigonado de dovela en la cota de montaje definida.
- Ferrallado de la dovela colocando los elementos auxiliares para la materialización de los puntos de medida.
- Verificación de cota de montaje de forma previa al hormigonado.
- Hormigonado de la dovela.
- Toma de coordenadas de control en tablero.
- Tesado de dovela una vez adquirida la resistencia mínima necesaria.
- Toma de coordenadas de control en tablero.

Se dispusieron clinómetros también en las pilas para controlar la flexibilidad de las mismas.

Las mediciones realizadas constataron una desviación mínima respecto a los valores teóricos previamente obtenidos y prácticamente no hubo que realizar correcciones de las cotas de montaje inicialmente definidas.

5. Agradecimientos

La obra fue promovida por ADIF Alta Velocidad.

Se quiere agradecer a todo el equipo de la UTE Elorrio la confianza a la hora de decidir contar con nuestros servicios, y particularmente a los miembros del equipo de obra de la empresa mayoritaria (Sacyr): Antón Julia Ventura (Jefe de Obra), Sergio Aguado González (Jefe de Producción) y Fco. Javier Pellejero Ortega (Jefe de Oficina Técnica) por su extraordinaria profesionalidad, trato y confianza.

Agradecemos también a Luis Bahamonde Calzada, de INECO, no solo por su labor como Director de Obra sino también por el trato con el resto de intervinientes en la obra y en particular con nosotros.

Finalmente, dar también las gracias a la empresa subcontratista, Construgomes, por aportar su competencia técnica en la ejecución del viaducto alcanzando una gran calidad en los trabajos desarrollados.