

# Paso Superior sobre la AP-68, singular estructura de doble acción mixta de 90 m de luz con pila rotulada en su base y sección no simétrica

*The AP-68 Overpass, a singular 90m span double composite structure with a hinge in the lower part of the pile and a non-symmetrical section*

Guillermo Capellán Miguel <sup>a</sup>, Alejandro Godoy Ansótegui <sup>b</sup>, Julio González Zalduondo <sup>c</sup>,  
Pablo Alfonso Domínguez <sup>d</sup>, Juan Ruiz Escobedo <sup>e</sup>, Jesús Posadas Carmona <sup>f</sup>

<sup>a</sup>Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Director Técnico. gcapellan@arenasing.com

<sup>b</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Coordinador Proyectos. agodoy@arenasing.com

<sup>c</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Jefe de Proyecto. jgonzalez@arenasing.com

<sup>d</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Project Manager. palfonso@arenasing.com

<sup>e</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. BIM Manager. jruiz@arenasing.com

<sup>f</sup>Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Arenas & Asociados. Control y Supervisión de Obra. jposadas@arenasing.com

## RESUMEN

El presente paso superior, que salva la AP-68 sin apoyos en la mediana para mejorar la seguridad vial, se enmarca dentro de las actuaciones de Infraestructura del Tramo 9B, Bolintxu-Venta Alta de la Fase I de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao. Se trata de un puente mixto en acero corten de canto variable con una distribución de luces de 45+90+60 m. Su pieza más icónica es la pila 2 en forma de T, que se encuentra empotrada con el tablero en su parte superior, quedando rotulada en su base.

## ABSTRACT

This overpass, which flies over the AP-68 without any intermediate supports on the platform to improve the road traffic safety, is part of the project “Infraestructura del Tramo 9B, Bolintxu-Venta Alta de la Fase I de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao”. It is a composite bridge with a variable height weathered steel box girder and the following span distribution: 45+90+60 m. The most iconic element is the “T”-shaped pier 2, which is fixed to the deck at the top, but hinged at the bottom.

**PALABRAS CLAVE:** rótulas, doble acción mixta, estructura mixta, diseño paramétrico, BIM.

**KEYWORDS:** hinges, double composite section, composite structure., parametric design, BIM

## 1. Introducción

Este paso superior sobre la AP-68 (km 2), es un proyecto de Arenas & Asociados para la UTE PAGABIDEA, formada por las empresas Gaimaz, Cantabricas, Geotunel y Campezo, quedando enmarcado dentro de las actuaciones

de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao. Su diseño ha afrontado diferentes retos en pos de una mejora de la seguridad vial, siendo el más relevante la supresión de pilas en la mediana, salvando completamente la plataforma.

## 2. Encaje de la solución

La razón de ser de la tipología formal y estructural de este viaducto tiene su génesis en el pequeño ángulo de esviaje existente entre el trazado del paso superior y de la AP-68, teniendo una repercusión clara en las decisiones de diseño tomadas durante el encaje de la estructura.

### 2.1 Distribución de luces

Partiendo de la imposibilidad de disponer apoyos en la plataforma de la autovía y el esviaje existente entre ambas vías, se decidió desacoplar el eje de trazado, centrado en la plataforma del puente, respecto del eje de estructura, centrado en el cajón estructural. Esta decisión tiene como consecuencia una falta de simetría de la sección tipo a lo largo del desarrollo del paso superior, tal como puede apreciarse en planta, consiguiendo mantener la luz del vano central por debajo de 100 m y mejorando la compensación del primer vano, ya que la posición del estribo 1 quedaba restringida por otros condicionantes de obra. El estribo 2 tampoco ha contado con mucha flexibilidad para su posicionamiento, aunque sí se ha podido plantear una compensación más adecuada. Así, la distribución de luces resulta de 45+90+60 m.

### 2.2 Tipología estructural

La tipología estructural elegida para esta obra es un cajón metálico de doble acción mixta debido a su competitividad en estos rangos de luces y a la agilidad de sus montajes, que minimizan las afecciones sobre la transitada AP-68.

Debido a la descompensación y la asimetría existente en la distribución de luces de vanos, se ha tratado de concentrar los esfuerzos del tablero sobre la pila 2, descargando la pila 1, que presenta, además, un fuerte esviaje en planta. Para esto, se plantea un cajón de canto variable únicamente sobre la pila 2.

Al incrementarse las solicitaciones sobre la pila 2, las dimensiones de la cimentación requerida crecen en igual medida, llegando a interferir con la plataforma de la AP-68, la cual, salvo cortes puntuales, debe mantenerse abierta durante toda la ejecución. Con objeto de reducir el tamaño de dicha cimentación se plantea el diseño de una unión integral pila-tablero mediante un empotramiento a la losa inferior de doble acción mixta, y la introducción de un apoyo inferior articulado a la cimentación mediante la instalación de rótulas metálicas cilíndricas.

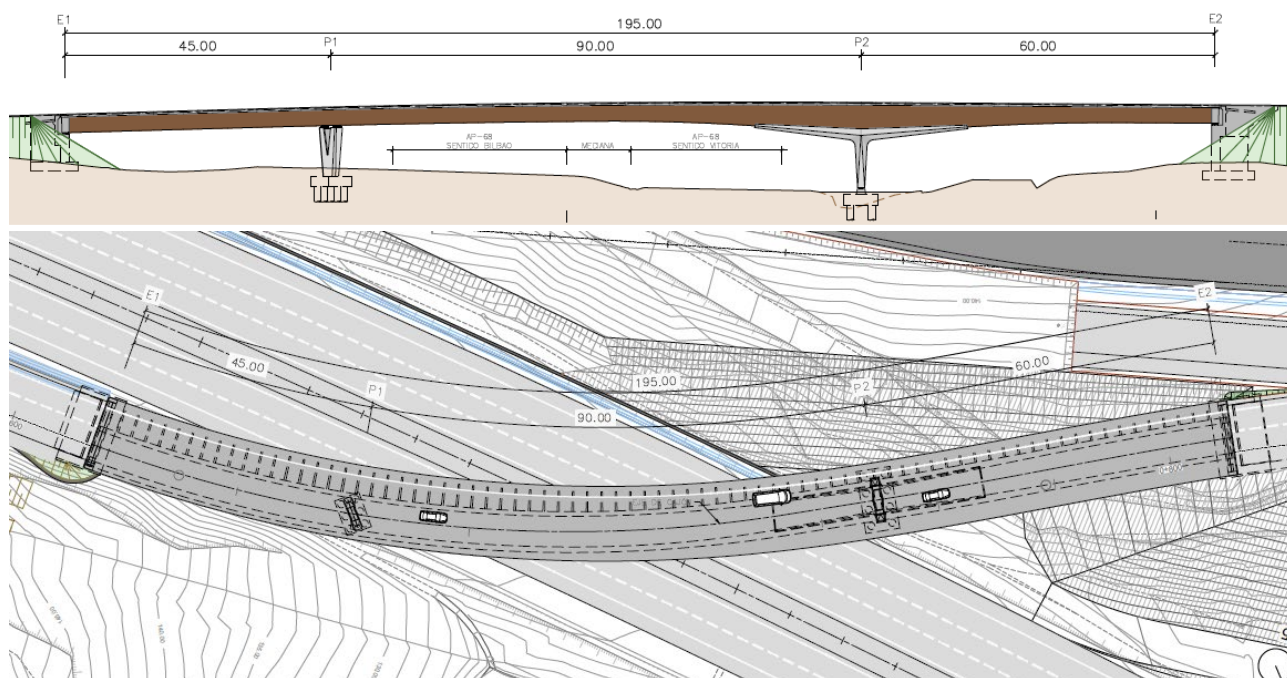


Figura 1. Alzado y planta del paso superior.

### 3. Cimentaciones

Las cimentaciones resultantes del esquema estructural planteado tratan de generar las mínimas afecciones de ocupación en el entorno, y de transmitir del modo más eficiente las cargas procedentes del tablero al terreno, cimentándose de forma profunda mediante pilotes en pilas y de forma directa en estribos. La estrategia de apoyo en pilas puede apreciarse en la planta de la figura

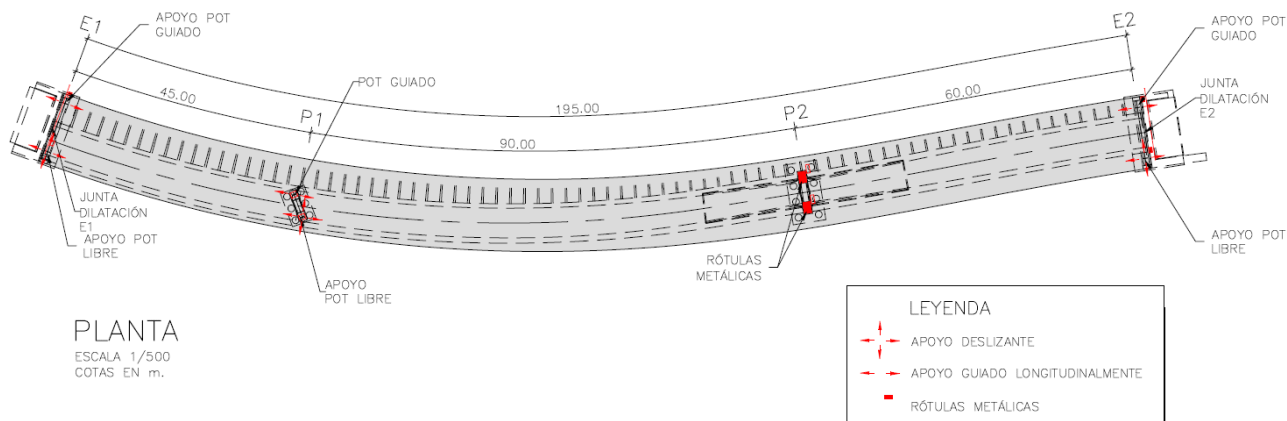


Figura 2. Esquema de distribución de apoyos.

#### 3.1 Estribos

Ambos estribos están planteados con un diseño sobrio y funcional, con la idea de pasar desapercibidos al encontrarse lejos de la mirada de los conductores. Su cimentación es superficial y adaptan su geometría al apoyo del tablero, disponiendo de ventanas para acceso e inspección, así como para el paso de las conducciones de servicios que discurren por el interior del cajón.

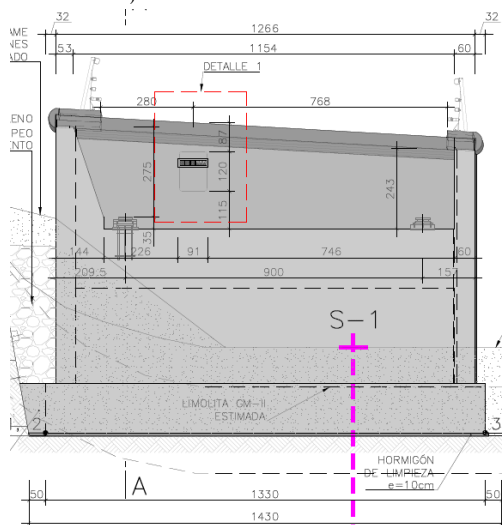


Figura 3. Estribo 1

2. Se han dispuesto aparatos de apoyo tipo POT deslizantes, dejando libre los del lado exterior y guiado longitudinal los que se encuentran en el lado interior. Bajo la pila 2 se dispone una articulación mediante dos rótulas metálicas cilíndricas.

La posición del estribo 1, excavada en una ladera de roca y muy próxima a la pila 1, hace que la posición del cajón se encuentre muy desplazada, presentando en este punto la excentricidad máxima. Su apoyo exterior presenta una reacción de despegue significativa, producida por el generoso voladizo del lado interno, lo que obliga a disponer un aparato de apoyo POT libre con un sistema anti-despegue incorporado.

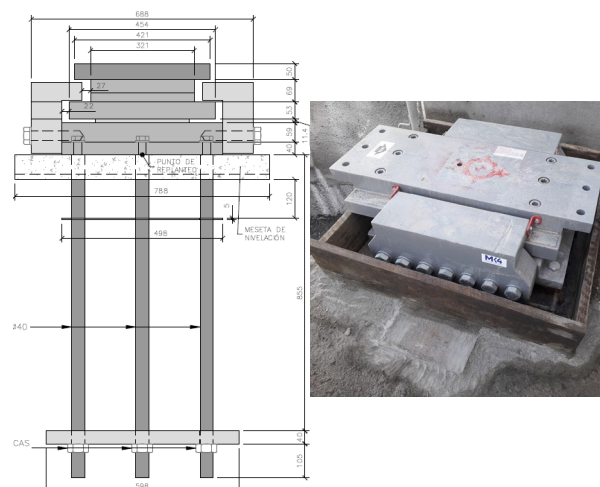


Figura 4. Aparato de apoyo deslizante antidespegue

El estribo 2 es algo más alto que el 1, y en él el cajón llega completamente centrado. Ninguno de sus apoyos presenta reacciones de despegue, disponiendo de apoyos POT convencionales.

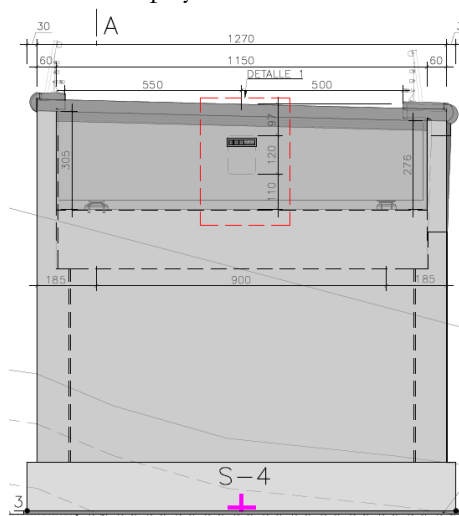


Figura 5. Estribo 2

### 3.2 Pilas

Si bien el diseño de las pilas 1 y 2 del puente debe afrontarse de diferente modo en cada caso debido a las singularidades estructurales impuestas por el complejo encaje geométrico del tablero, éste se ha realizado empleando un lenguaje común y una estética similar y cuidada, al flanquear ambas piezas la AP-68, siendo esta una vía con una IMD muy elevada.

#### 3.2.1. Pila 1

La principal singularidad geométrica de esta pila es el esviaje que presenta respecto del eje longitudinal del tablero, que a su vez se encuentra desplazado en planta. Tal y como puede apreciarse en la figura 6 la pila presenta un esviaje de 30°.

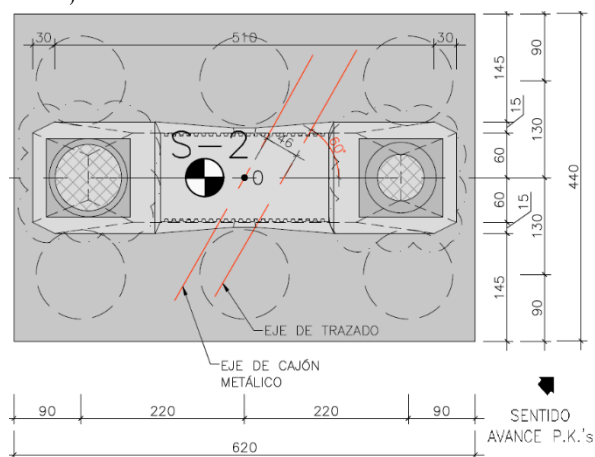


Figura 6. Planta de pila 1

Este giro, además de servir para adaptarse al esviaje del vial inferior, viene motivado por las tracciones que se generan en el apoyo exterior debido a la curvatura y la excentricidad.

Para solventar esto, el giro de la pila, que adelanta el apoyo externo y retrasa el interno, da lugar a un pseudo-par de empotramiento que incrementa el valor de la reacción permanente en el apoyo externo y descarga el interno, compensando así las reacciones de despegue.

Este juego geométrico permite suprimir la necesidad mecanismos antidespegue en la pila.



Figura 7. Pila 1 durante ejecución

Las pilas presentan una geometría básicamente prismática rectangular, con las aristas achaflanadas para reducir su pesadez en vistas de alzado. Presenta paramentos laterales inclinados para reducir el ancho en su base, facilitando su encaje junto al vial inferior, y estilizando su figura. El paramento frontal de la pila ha sido texturizado para mejorar el acabado estético y externalizar en la superficie el flujo interno de fuerzas, de modo que pueda ser fácilmente percibido por los usuarios de la AP-68 y del entorno. Este texturizado lineal se ha realizado

mediante el empleo de un encofrado de goma adherido al principal.

### 3.2.2. Pila 2

La pila 2 es la pieza más icónica y representativa de la obra. En ella la losa inferior del tablero de doble acción mixta, a modo de acartelamiento visto, se macla en la zona superior con la pila, presentando en la parte inferior un sistema de apoyo rotulado a la cimentación para evitar transmitir grandes momentos flectores.



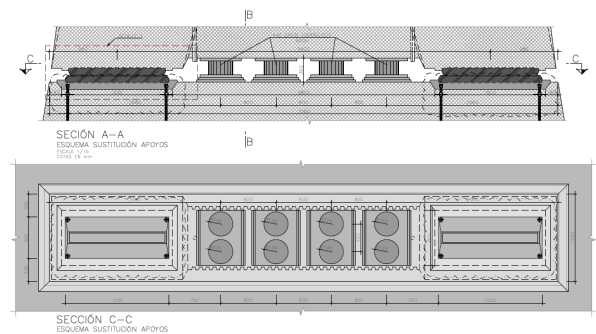
**Figura 8. Planta de pila 1**

La dimensión transversal de la pila se ensancha conforme se separa del tablero para mejorar la estabilidad torsional del conjunto y evitar apoyos con solicitaciones de tracción. Así, las rótulas

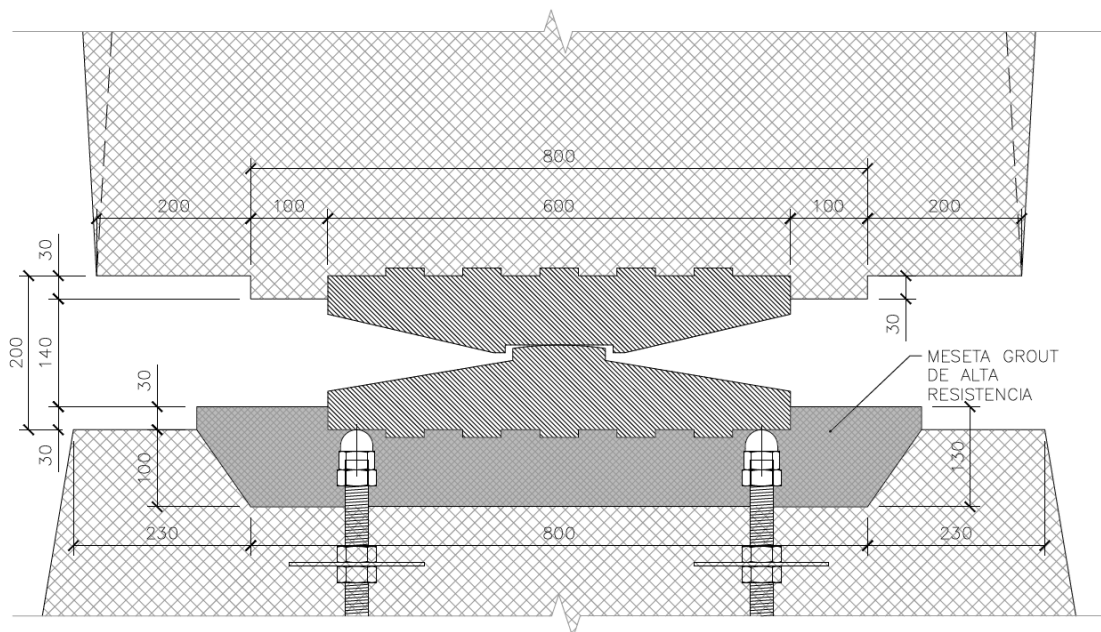
quedan separadas entre sí 5.40 m entre sus centros. Ambas rótulas son piezas de fundición de acero G42CrMo4 + QT2, requiriendo su fabricación un proceso de diseño y detalle muy específico, con la fabricación de un molde para vertido de fundición, un tratamiento térmico posterior, una fase de mecanizado para ajustar la geometría y la aplicación final de un tratamiento de protección superficial.

Una vez con las piezas en obra, estas se instalaron, para lo que se había previsto un cajeado de 10 cm en el zócalo de cimentación, con varios sistemas de ajuste en planta y cota para conseguir la geometría exacta y la alineación perfecta del eje entre rótulas.

La pila está diseñada en conjunto con un sistema de gateo para realizar en el futuro maniobras de inspección y mantenimiento sin problema.



**Figura 9. Sistema de sustitución de apoyos**



**Figura 10. Detalle de sección de rótula.**

La geometría de esta pila establece un diálogo formal con la pila 1, externalizando igualmente en su superficie el flujo de apertura de fuerzas desde el tablero hasta los apoyos inferiores mediante un texturizado homólogo e invertido al de la pila 1. También se ha facetado la cara lateral de la pila y todas sus aristas convergen en el punto de intersección del eje de pila con el eje medio de la losa inferior del tablero. Para conseguir esta compleja geometría se han adoptado medidas singulares, como el empleo de hormigón autocompactable, cuya calidad se garantizó previo vertido mediante ensayos a pie de obra (anillo japonés, caja en L, etc) y la disposición de numerosas ventanas y agujeros de purga para el vertido y vibrado del mismo.

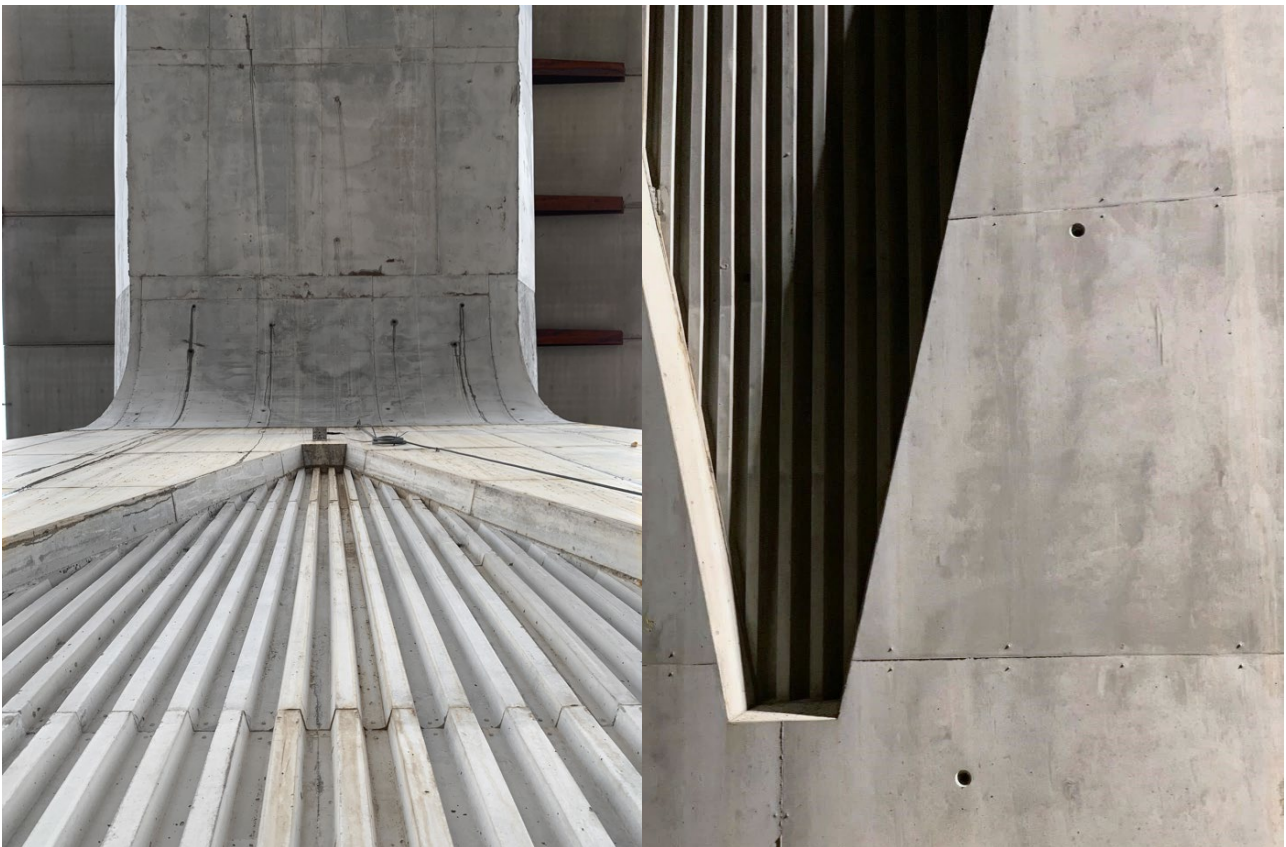


**Figura 11. Ensayos específicos a pie de obra**



**Figura 12. Vértice de confluencia en pila 2**

La geometría singular del vértice superior de la pila ha requerido la fabricación de una pieza de poliestireno expandido como encofrado.



**Figura 13. Acabados de pilas y diálogo de formas entre ellas.**

## 4. Tablero

La estructura de este puente está formada por un tablero mixto compuesto por un cajón metálico de acero autopatinable de canto variable en el entorno de la pila 2, y constante en el resto de la estructura. Sobre el cajón se dispone una losa de hormigón de 27 cm.

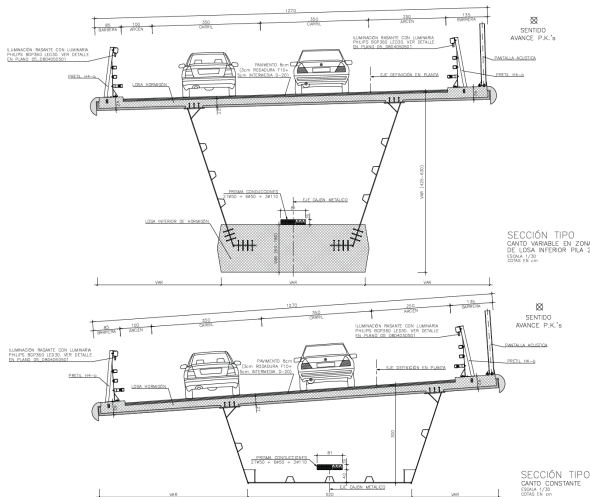


Figura 14. Secciones tipo del tablero

Puede apreciarse cómo el cajón va modificando su posición relativa con respecto a la plataforma de acuerdo con el encaje planteado. El ala inferior permanece horizontal y no sigue la inclinación de la plataforma, dando lugar a alas desiguales en la sección. Este hecho viene condicionado por la necesidad formal de mantener una equidistancia entre el ala inferior del tablero y las rótulas en su paso sobre pila 2.

En la sección asimétrica el vuelo izquierdo pasa de 5.03 m en el estribo 1 a 2.70 m sobre el estribo 2. Este vuelo variable requiere el empleo de refuerzos locales mediante costillas metálicas para mejorar la rigidez de ese gran voladizo. Las costillas mantienen una distancia constante con la arista externa de la losa y tienen una altura variable que parte de 240 mm de canto en el extremo y va aumentando con una pendiente sutil de 1:12 conforme se aproxima al cajón metálico. Se ha decidido mantener costillas incluso cuando el voladizo no lo requería por motivos puramente estructurales con el fin de mantener la consistencia visual a lo largo de todo el alzado izquierdo.

En el lado derecho, por el contrario, el voladizo pasa de 0.50 m a 2.70 m, y no es necesario en ningún caso disponer refuerzos adicionales, por lo que se mantiene todo el vuelo derecho libre de costillas.

El resultado es una percepción visual variable para los usuarios de la AP-68 en función de su sentido de circulación. Los que procedan del lado izquierdo (hacia Bilbao) tendrán una vista más fluida y dinámica del cajón y su vuelo, mientras que los que provengan del lado derecho (hacia Vitoria) visualizarán unas líneas más puras del vuelo de la losa y del cajón.



Figura 15. Costillas variables en vuelo Izquierdo.

Para poder realizar los montajes con piezas de tamaño controlado, y con los medios de elevación más estándares posibles, se ha dividido el tablero en siete tramos, planteando cinco

líneas de apeos provisionales, dispuestos de tal modo que no interfieran con la calzada de la AP-68, pero sí ocupando su mediana.

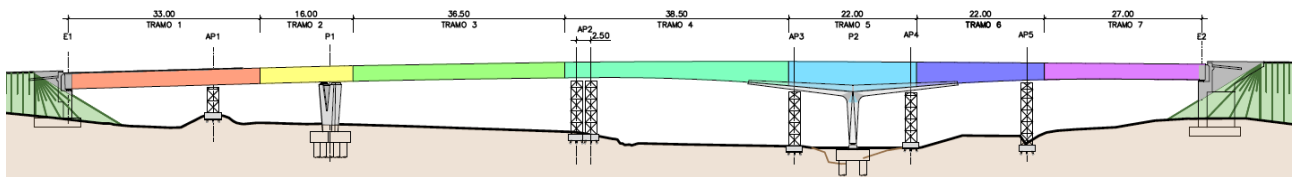


Figura 16. Tramificación del tablero.

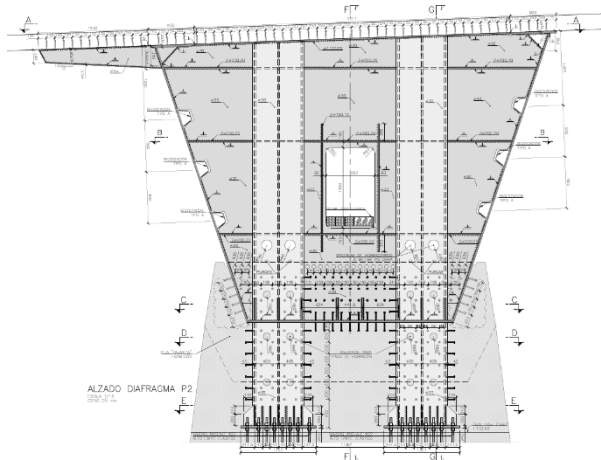
Se ha colaborado estrechamente con el taller metálico para controlar la geometría final. Por tanto, se ha realizado un estudio conjunto del montaje en función de los medios disponibles para reflejarlo adecuadamente en el modelo de cálculo y así proporcionar un modelo 3d con las contraflechas resultantes de la secuencia de ensamble propuesta.

Debido a las dimensiones del cajón, ha sido necesario dividirlo longitudinalmente en dos mitades para su transporte. Posteriormente, se une en obra sobre una bancada especialmente ejecutada para tal fin, y tras realizar una serie de comprobaciones topográficas, se procede a realizar el izado y el montaje definitivo de las piezas.



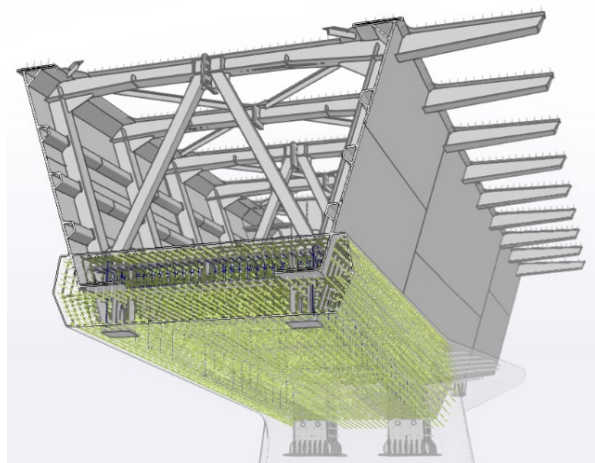
Figura 17. Ensamblaje en bancada de semitramos.

Durante la fase de ejecución el tablero se ha apoyado provisionalmente en la pila 2 por medio de dos pilares metálicos anclados a la pila.



**Figura 18. Sección de diafragma en pila 2**

A continuación, se procede a colocar la armadura de losa inferior de doble acción mixta del tablero y del nudo de la pila. Las posiciones de la armadura de esta zona son posiciones variables y complejas que deben salvar múltiples interferencias con los elementos del cajón metálico. Por tanto, ha sido necesario desarrollar desde Arenas & Asociados un trabajo de diseño BIM minucioso y preciso, representando todas y cada una de las posiciones para proporcionar sus despieces exactos y verificar la ausencia de colisiones entre los diferentes elementos.



**Figura 19. Modelo de detalle armadura de pajarita integrado con cajón metálico**

La losa inferior no queda contenida dentro del cajón, sino que excede sus límites y es visible desde el exterior, adoptando la forma de una “pajarita” que se prolonga 18.00 m hacia cada

lateral, y cuya ejecución se realizó mediante un encofrado cimbrado.



**Figura 20. Comienzo desencofrado pajarita**

Tras colocar todas las piezas del tablero y ejecutar las losas de doble acción mixta de pilas 1 y 2, se procede a colocar las prelosas, y posteriormente ferrallar y hormigonar la losa superior, dejando embebidas unas galgas extensométricas en su interior para controlar sus tensiones durante su vida útil.



**Figura 21. Ferrallado de losa y galgas**

Simultáneamente con el proceso de ferrallado de la losa superior se realiza la maniobra de desapeo del tablero, registrando las reacciones en apeos mediante células de carga antes de liberarlo.



**Figura 22. Pajarita durante desapeo**

## 5. Parametrización y monitorización

El proyecto de esta obra ha sido afrontado por Arenas & Asociados con una metodología BIM y un enfoque innovador, integrando diversas herramientas y procesos de parametrización para unificar la generación del modelo geométrico de geometría final y contraflechada de fabricación con los modelos de cálculo.

Este proceso de digitalización de la estructura no se ha detenido en la fase de proyecto, sino que se ha extendido durante la construcción y la explotación de su vida útil, desarrollando herramientas de control y análisis que han permitido optimizar diferentes procesos y tener el control de la geometría y el estado tenso-deformacional de la estructura en remoto. Esta monitorización ha sido utilizada durante la construcción y pruebas de carga estática y

dinámica, quedando implementada para seguir monitorizando el estado de la estructura durante su ciclo de vida.



**Figura 23.** Vista inferior del tablero durante el desapeo monitorizando las reacciones



**Figura 24.** Vista de obra desde AP-68.

## 6. Conclusiones y agradecimientos

La obra realizada salva con aparente simplicidad una luz importante, siendo una pieza de líneas limpias y puras sobre la AP-68.

Desde Arenas & Asociados nos gustaría agradecer a todos los implicados en su ejecución, especialmente a:

- Propiedad: INTERBIAK.  
- Constructor: UTE PAGABIDEA (*Gaimaz, Cantábricas, Geotunel y Campezo*).

- Taller metálico: GOROS S. COOP.  
- ATDO: UTE HEGOALDE II (*Fulcrum, Dair, Idom y Geoconsult*).  
- Monitorización: TEKNÉS.  
- Medios auxiliares: ULMA.  
- Grúas: IBISATE.  
- Diseño e ingeniería de construcción: ARENAS & ASOCIADOS.