Nuevo Puente de Karabel sobre el río Urumea en Hernani

New Karabel bridge over Urumea river in Hernani

Javier Muñoz-Rojas[a], Sara Fernández [b], Miguel Salaverría [c], Asier Gárate [d], Íñigo Gastaminza [ee]

[a, b] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.L. Madrid

[c] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IKAUR

[d e] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Construcciones. MARIEZCURRENA

RESUMEN

El antiguo puente de Karabel sobre el río Urumea con sus cuatro masivas pilas sobre el lecho y vanos de luces reducidas empeoraba de forma marcada la capacidad de desagüe del río en época de crecidas lo que provocaba inundaciones en los terrenos contiguos. El primer objetivo de la nueva obra, emplazada inmediatamente aguas arriba, era por tanto minimizar la ocupación del cauce. Se optó por ello por saltar sin apoyos intermedios por medio de un puente arco autoanclado con tablero inferior con sendos arcos en los laterales exentos e inclinados hacia el exterior, para así, a partir de una estructura estricta de gran esbeltez, poder configurar una obra dinámica y con fuerte carácter urbano.

ABSTRACT

The new Karabel Bridge arises from the need to replace the previous bridge over the Urumea river. Its four supports inside the river produced a strangulation of the section and bad hydraulic conditions that increased the effects of the regular floods. The main target of the new work was therefore to reduce the river occupation. In order to avoid intermediate supports in the river bed is spanned by means of a self-anchored arch bridge. It has two lateral exempt, slender arches inclined outwards so to provide the work a more dynamic appearance and emphasizes its urban character.

PALABRAS CLAVE: arco autoanclado, bowstring, tablero mixto, arco inclinado, arco exento, crecida.
KEYWORDS: self-anchored arch, bowstring, composite girder, inclined arch, exempt arch, river flood.

1. Introducción

El río Urumea tiene una cuenca pequeña y pocos km de recorrido, pero dada la gran pluviosidad de la misma su caudal puede variar de forma rápida elevando su nivel marcadamente en poco tiempo lo que provoca periódicas inundaciones en el tramo final del mismo. Para mitigarlas la Consejería de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco y la Agencia Vasca del Agua–URA han acometido un plan de actuaciones que contempla diversas actuaciones con objeto de mejorar la dinámica fluvial en las zonas más afectadas por las avenidas. Una de estas ha sido la sustitución del puente del barrio de Karabel en Hernani.

Esta zona se sitúa junto a la margen izquierda del río bajo el casco antiguo de la localidad en un área donde además estaba planeado el desarrollo de unas nuevas zonas residenciales. Además del reemplazo del puente se requería realizar una mota de protección de las zonas bajas del nuevo desarrollo.

CFC colaboró con la ingeniería IKAUR SL –redactora del proyecto de urbanización - desarrollando el proyecto del nuevo puente en 2012. Posteriormente, en el periodo 2013-2014 proporcionó Asistencia Técnica durante las obras a la empresa adjudicataria de las mismas, ZUBIEDER.

2. Planteamiento de la solución

El antiguo puente de Karabel era una obra de principios del S. XX, posteriormente ensanchado extendiendo su plataforma sobre voladizos, con una longitud de algo menos de 50 m. Sus cuatro apoyos intermedios sobre el lecho provocaban un estrangulamiento en el río, haciéndolos además vulnerables a la socavación por el consiguiente aumento de velocidad del agua que esto provoca, situación que ya se había presentado en obras similares próximas.

El nuevo puente debía por tanto evitar los apoyos en el cauce así como ampliar ligeramente la separación entre estribos hasta los 50 m. Salvar esta luz con una mínima ocupación del tablero bajo la rasante lleva lógicamente a soluciones de tableros esbeltos soportados por una estructura principal colocada por encima de él. Se estudiaron por ello alternativas con celosías, puentes de alma llena con canto variable y puentes arco con tablero inferior (Fig. 2 y 3)

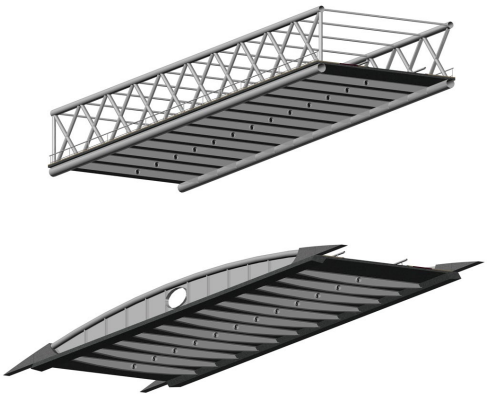


Figura 2. Alternativas estudiadas

Se optó finalmente por la de arco autoanclado con sendos arcos exentos e inclinados en los

laterales del tablero, perfilando así una sección mínima y esbelta que maximiza el gálibo de las aguas y reduce la elevación de la rasante en los accesos.

Figura 3. Alternativas seleccionadas

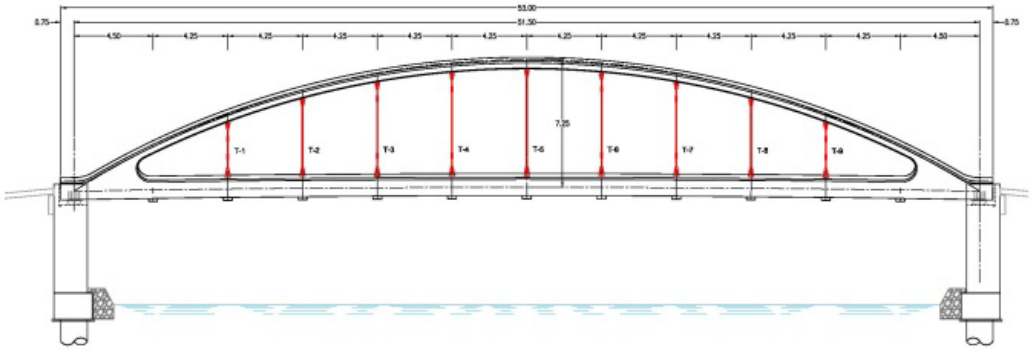
Con el empleo de arcos exentos e inclinados se buscaba a la vez configurar una obra más dinámica y visualmente un espacio acogedor y atractivo, algo relevante dado el carácter urbano de su emplazamiento.

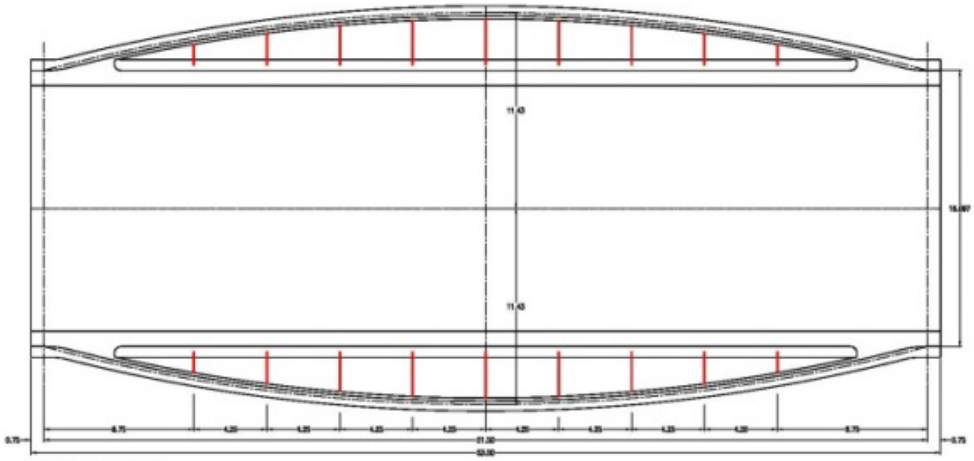
Figura 4. Vistas de la obra terminada

3. Descripción de la Obra

La tipología de la obra desde el punto de vista estructura corresponde a la de arco autoanclado en la que el tablero inferior mixto además de recibir las cargas de tráfico actúa como tirante frente a los empujes del arco.

Presenta un trazado recto en planta y en alzado se encuentra en un acuerdo vertical con vértice en el centro del puente.





La obra tiene una longitud total de 53 m. Consta de dos arcos en los bordes inclinados 25º hacia el exterior de 51.50 m de luz y flecha vertical en clave de 7.25 m, presentando pues una esbeltez f/L de 1/7. El tablero se cuelga de cada arco por medio de 9 péndolas dispuestas cada 4.25 m.

La anchura del tablero es de 16.10 m para acoger dos carriles de tráfico de 3.5 m y sendas aceras a ambos lados de 3.00 m y 5.60 m esta última más ancha, para albergar un carril bici.

Figura 6. Vista de la obra terminada

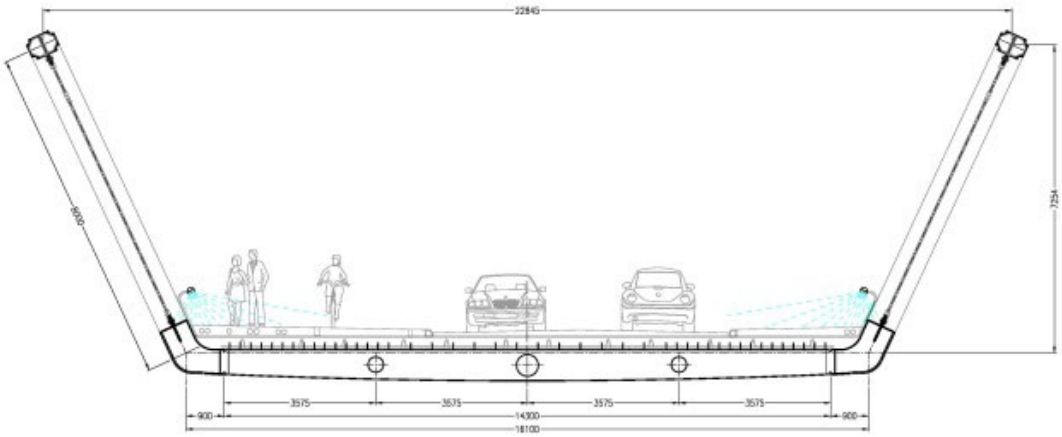


Figura 7. Sección tipo

Los arcos laterales son metálicos con sección tubular rectangular constante a lo largo de todo su desarrollo con aristas redondeadas para perfilar así sus bordes.

La conexión con las péndolas se realiza por medio de diafragmas interiores a los que se sueldan chapas colocadas en la dirección de las péndolas que sobresalen de la sección para disponer orejetas

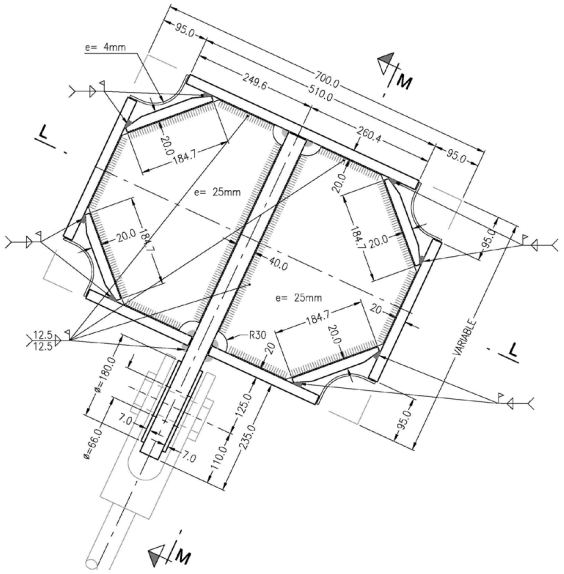


Figura 8. Sección del arco

El tablero se configura con un emparrillado de vigas, con dos de borde con forma de "J" unidas entre sí cada 4.25 m por 11 vigas transversales en doble T de canto variable variando entre 600 mm y 750 mm. Las almas de estas disponen de tres pasos circulares de 500 mm y 350 mm de diámetro, para el paso de canalizaciones.

Arco y vigas longitudinales se funden de forma continua en los extremos, realizando en su encuentro una zona de transición curva. Esta disposición permite por el lado del comportamiento estructural rigidizar el nudo de arranque lo que permite quitar la péndola de la primera viga transversal –que tendría una longitud muy reducida-. Desde el punto de vista formal aporta una mejora al reforzar visualmente la unión de ambos elementos y realzar así el concepto unitario de la estructura.

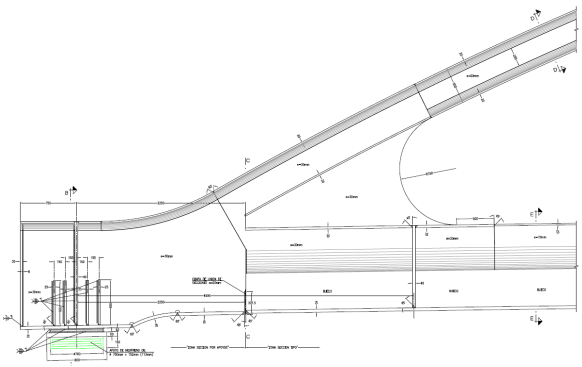


Figura 9. Unión arco tablero

Las péndolas se materializan con barras de acero Y1050 de diámetro 50 mm, del sistema de DSI con extremos en horquilla conectados a arco y tablero por medio de orejetas. Se diseñan como tirantes activos limitando su carga máxima en condiciones de servicio al 45% de f_{pu}. Su carga inicial (valor medio 363kN) compensa las cargas permanentes de la estructura y se realiza actuando en los manguitos tensores de empalme que se disponen en la zona inferior (Fig. .)

El puente se sustenta sobre cuatro apoyos elastoméricos circulares de 700mm de diámetro y 152mm de altura colocados en los extremos bajo las vigas longitudinales, con suficiente capacidad para acomodar las deformaciones lentas así como las cargas horizontales de viento y de frenado.

Los estribos previstos en proyecto eran obras convencionales formados por muros verticales encargados de recibir las reacciones del tablero y los empuje de tierras, y cimentados sobre encepados con dos filas de pilotes.

Durante las obras se estudió con la constructora una optimización de esta solución, cambiándose el concepto del mismo al independizar del muro los empujes de tierras, que pasan a resistidos por un muro de gravedad realizado con escollera reforzada con hormigón en masa, y las reacciones del tablero que pasan a ser recogidas por pilastras situadas bajo los apoyos de neopreno y prolongadas por un solo pilote. Transversalmente se conectan por un diafragma que oculta la escollera.

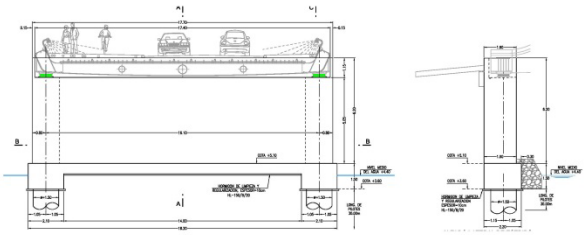


Figura 11. Alzado y sección del estribo

Las cimentaciones se realizan con pilotes perforados de 1.50m de diámetro. De acuerdo a las condiciones del terreno existente con capas superiores de relativa baja capacidad bajo las cuales se alternan otras con presencia de grava y arena, las longitudes necesarias para garantizar las capacidades de 700 t por pilote implicaban longitudes de hasta 70 m. Durante la ejecución de las obras se estudió con la constructora una solución alternativa para poder conseguir esa misma carga con menor profundidad mejorando de las condiciones del terreno a lo largo del fuste y en la punta con inyecciones repetitivas y selectivas (IRS). De esta manera se bajaron a 30 m.

Los acabados del puente incluyen barandillas acristalada de acero inoxidable, iluminación funcional de las zonas peatonales por medio de tiras de led colocadas en el pasamanos de la barandilla y de la calzada por medio de sendos báculos de 30 m de altura situados en las glorietas de entrada y salida que contribuyen también a una iluminación ornamental de la obra.

Figura 12. Vista nocturna

4. Comprobaciones Estructurales Singulares

Desde el punto de vista estructural la obra funciona como cualquier arco autoanclado en la que los empujes horizontales del arco son recogidos por el tablero que actúa como tirante.

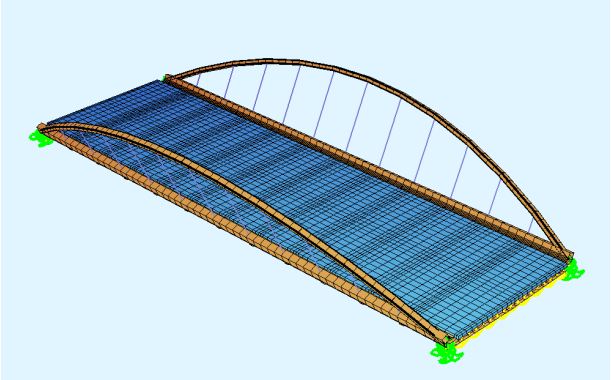


Figura 13. Modelo de cálculo

El peso propio de la estructura actúa sólo sobre la estructura metálica del tablero, una vez materializada la conexión hormigón-acero en sentido transversal, la losa pasa a colaborar como tirante en el resto de acciones que pueden actuar sobre la estructura. El armado de la misma para control de la fisuración fue analizado con cuidado especialmente en las zonas extremas junto a la unión arco-tablero donde se produce una concentración de las solicitaciones.

El otro aspecto relevante fue el análisis de la estabilidad de los arcos. Se trata de elementos esbeltos, exentos y además inclinados todo lo cual favorece los potenciales problemas de inestabilidad en los mismos. Para validar y ajustar sus dimensiones se realizaron cálculos no lineales de cierto detalle, con geometrías iniciales con imperfecciones geométricas homotéticas a los modos de pandeo más desfavorables frente a las situaciones de carga provenientes de acciones transversales de viento o sobrecargas de tráfico antimétricas. Los resultados pudieron demostrar la seguridad de la obra, interviniendo de forma significativa en esto la contribución de la rigidez a flexión al dintel para ayudar a controlar los efectos de las flexiones que provienen de las cargas no funiculares.

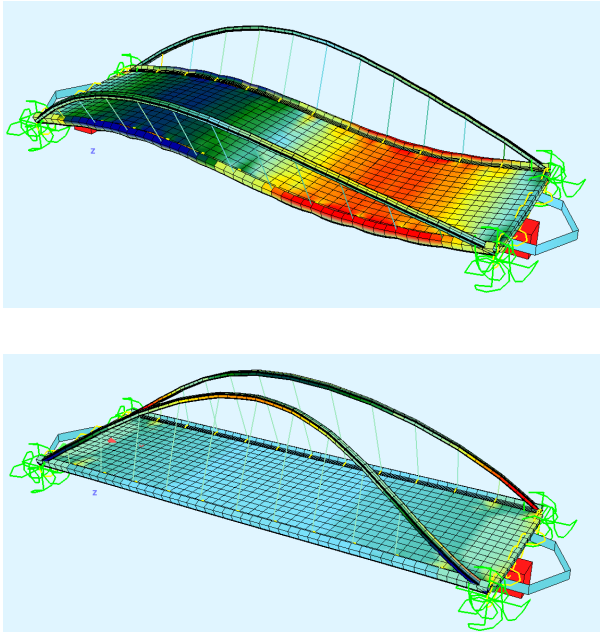


Figura 14. Modos de Pandeo

5. Proceso Constructivo

Durante las obras se descartaron las soluciones con elementos auxiliares en el cauce. Se optó por una propuesta singular -empleada exitosamente por el taller fabricante de la estructura metálica en una situación similar- consistente en el traslado completo del puente –previamente ensamblado en una de las márgenes- pasando sobre el puente antiguo transportado sobre *dollys* hasta quedar paralelo a su posición final. Desde esta es izado de los extremos con grúas y depositado en su situación definitiva.

Figura 15. Foto durante el desplazamiento por el puente antiguo

Figura 16. Foto durante su puesta en posición

La operación se realizó exitosamente y en una mañana pudo estar completamente concluida.

Una vez en su posición, se colocaron las prelosas, posteriormente la armadura para proceder entonces al hormigonado de forma simétrica de la losa.

Las péndolas se pusieron en carga en dos escalones, después de la colocación de prelosas y tras el hormigonado de la losa.

Una vez puesta en servicio el nuevo puente se procedió a la demolición del antiguo.

6. Cuantías principales

Acero estructural S-355	203402kg
Acero en péndolas Y-1050	1816kg
Acero de armar B-500	212223kg
Hormigón en losa HA-40	186m^3
Hormigón en estribo HA-30	241m^3

Longitud de pilotes de 1.50m	240m

7. Ficha técnica

- Propiedad: URA. Agencia vasca del agua-URA. Nekane Etxandi
- Proyecto (2012) : CARLOS FERNANDEZ CASADO S.L.-IKAUR SL: Javier Muñoz-Rojas, Sara Fernández, Miguel Salaverría
- Asistencia técnica a la construcción: CARLOS FERNANDEZ CASADO S.L: Javier Muñoz-Rojas, Sara Fernández.
- Construcción (2013-2014): Construcciones Zubieder SL: Asier Gárate, Iñigo Gasteminza.
- Estructura metálica: Talleres Estrumar
- Péndolas: Sistema de DSI

Figura 17. Imagen de la obra terminada

Figura 18. Imagen durante una crecida