



## Puente del Lehendakari José Antonio Agirre sobre el Urumea

**Sergio SAIZ GARCÍA**

Ingeniero de Caminos  
INGZERO

**Ana I. LOREA ARNAL**

Ingeniera de Caminos  
INGZERO

**Alfonso VÁZQUEZ ALTUNA**

Ingeniero de Caminos  
Excmo. Ayuntamiento de San Sebastián

**Mikel OTEIZA GALAIN**

Ingeniero de Caminos  
**LKS Ingeniería**

**Enrique ELKOROBEREZIBAR**

Ingeniero de Caminos  
LKS Ingeniería



## RESUMEN

Para completar el desarrollo urbano de la ciudad en la margen derecha de la desembocadura del Urumea el Ayuntamiento de Donostia-San Sebastián decidió acometer la construcción de tres nuevos puentes que completasen la malla vial de la ciudad entre ambas márgenes.

La concepción del Quinto Puente obedece a la voluntad de vadear los 80 metros de cauce sin apoyo en el río, con máxima permeabilidad visual e integración formal en la trama urbana.

La solución proyectada se adapta a las particularidades geotécnicas y urbanas del entrono, donde, coincidentemente las mayores restricciones aparecen en la margen izquierda del río. Con este objeto, se elige proyectar una solución que concentre el flujo de las cargas en la margen derecha, materializado en un empotramiento mediante contrapeso en esta margen y apoyos simples en la opuesta.

La estructura principal consiste en dos arcos mixtos, asimétricos en alzado, con sección de geometría variable, que arrancan desde el fondo del cauce en la margen derecha para elevarse sobre el tablero y apoyar en la ribera opuesta a la altura de este.

El tablero, de planta asimétrica y anchura total 27.5 m, aloja cuatro carriles para vehículos, dos aceras y un carril bici. Estructuralmente está compuesto por dos nervios longitudinales, entre los que se dispone un entramado de vigas metálicas sobre las que descansa la losa de hormigón para constituir un sistema mixto. La losa se postesa longitudinalmente para, conjuntamente con los nervios, atirantar los arcos.

La transmisión de cargas a los arcos se realiza a través de 13 péndolas.

Aguas abajo la acera se coloca volada, apoyada en un sistema de costillas que dan soporte al pavimento de madera.



## QUINTO PUENTE SOBRE EL URUMEA EN SAN SEBASTIÁN

### 1. Introducción

El diseño del Quinto Puente sobre el Urumea se fundamenta en la búsqueda de la solución formal sin pilas, idónea para la conformación de un entorno urbano integrado en el nuevo diseño del tráfico viario y estructuración de la ciudad. El vano de 80 metros y las limitaciones de canto impuestas por la cota de avenida del Urumea imponen la necesidad estructural de elementos resistentes superiores, que definen la línea de diseño del puente, haciendo de su concepción un proceso de minimización de la estructura superior en aras de lograr la menor incidencia visual para el observador y permitir desde él una vista plana de la desembocadura del Urumea. De esta búsqueda surge un puente arco de planta y alzado asimétricos.

Dos arcos gemelos emergen desde la ribera derecha, se elevan sobre la rasante y apoyan en el paseo de la margen opuesta, conceptualizando un alzado sólo surcado por la horizontal de la plataforma. En planta, los dos arcos paralelos, delimitan una zona interior formada por la acera de aguas arriba y la calzada, y permiten, de forma no simétrica, volar un balcón aguas abajo entre ambas riberas.

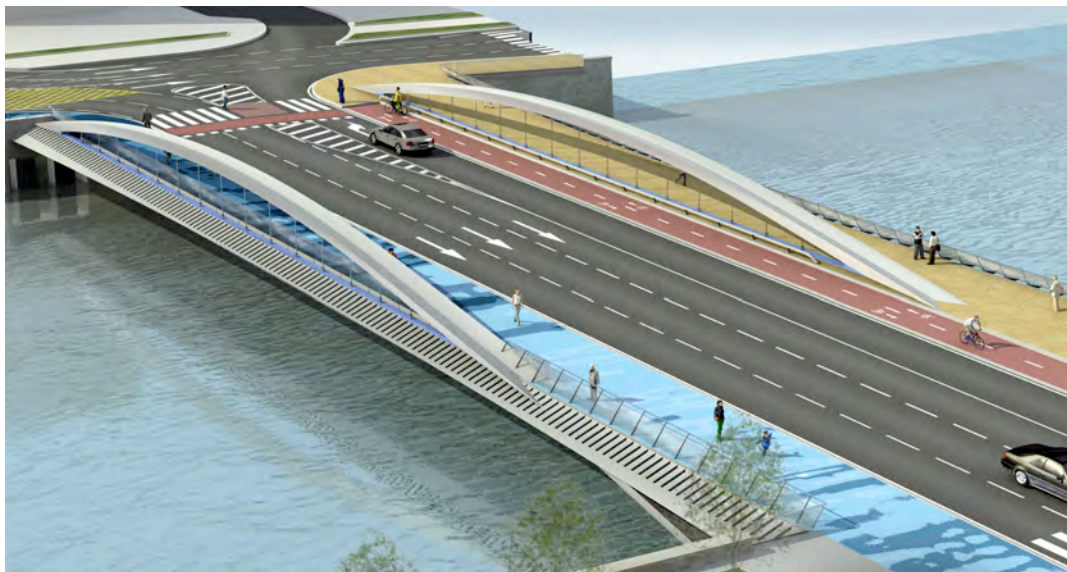


Fig. 1 Vista del Quinto Puente sobre el Urumea

Los arcos, morfológicamente cambiantes, evolucionan desde las zonas inundables de arranque, a un esbelto tramo curvo metálico de sección en "V" muy tendida y de espesor e inclinación variables a lo largo del desarrollo del mismo.

La relación entre los arcos y el tablero no está exenta de formas. Aguas arriba, el tablero se macla a su cruce con el arco, que en su ascenso y ocaso desperdiga péndolas verticales para finalizar uniéndose de nuevo al tablero en el apoyo de la ribera opuesta. Aguas abajo, la unión arco-talero cede protagonismo a la acera, que vuela aquí por delante de ambos elementos.



Desde la margen izquierda el usuario percibe los arcos como dos elementos manguantes que son recogidos por el terreno.

Sobre la calzada la segregación parcial entre los flujos de peatones y vehículos que permite el arco aguas abajo, favorece la utilización de las acera como espacio urbano para el peatón, mientras que la inclusión entre los arcos de la acera de aguas arriba permite humanizar la zona interior destinada a los vehículos.

Bajo los arcos, en acero, dos nervios longitudinales de sección prismática integran el tablero, formando el cordón de tracción del arco y anclando las péndolas que cuelgan la plataforma. La zona central del tablero y la zona volada de la acera están formadas por dos costillares metálicos.

Aguas abajo la zona volada finaliza en un pronunciado saliente o "nariz". Aguas arriba son los propios elementos estructurales, sin elemento ornamental alguno los que componen la forma.

La cimentación, de tipo profunda, se resuelve en la margen izquierda mediante un cabezal micropilotado sobre el que apoya el conjunto arco-tablero, mientras en la margen derecha los arranques del arco y el tablero se empotran en el contrapeso formando sendas células equilibradas con el lastre del relleno de tierras.

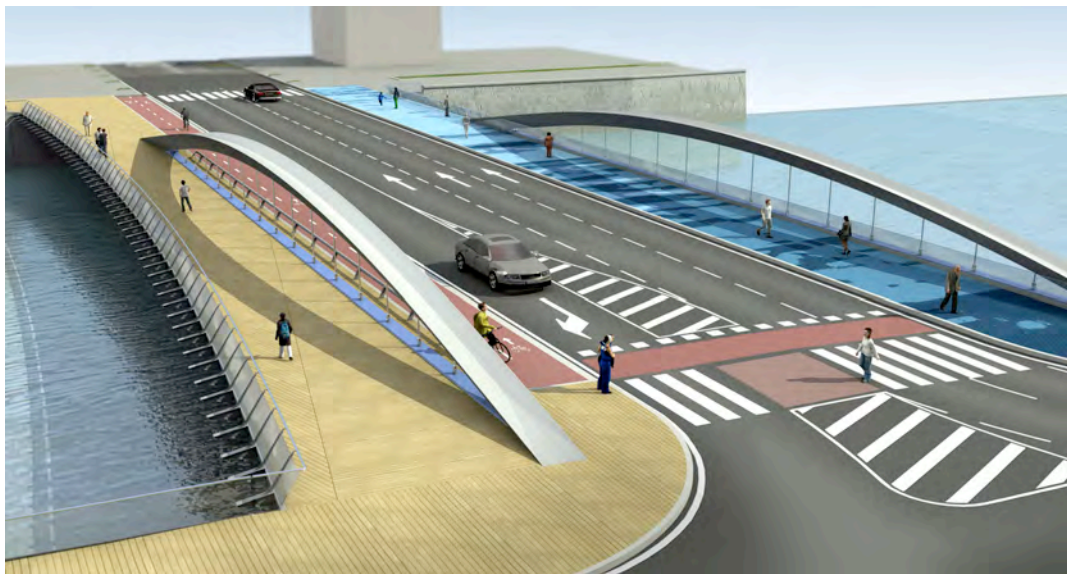


Fig. 2 Vista del Quinto Puente sobre el Urumea

Dentro de las posibilidades estéticas que nos posibilitan los materiales utilizados se propone la estructura íntegramente en blanco, dejando el protagonismo al juego formal entre las diferentes partes y a la sutil variación de sombras y texturas.





## 2. Descripción

### 2.1. La cimentación y los estribos

El puente se cimenta profundamente mediante 14 pilotes de 1.5m en la margen derecha y de 38 micropilotes de 168x12.5 en la margen izquierda.

El estribo derecho está formado por un encepado de 32x16.5x2 m, sobre los que se disponen cuatro tabiques que formalizan las células de empotramiento de los arcos.

El alzado, lo completa un muro frontal forrado con la piedra del encauzamiento general del río en su parte inferior y por trencadís blanco en la superior.

El relleno entre tabiques constituye el lastre de contrapeso.

En el estribo izquierdo se disponen sendos cabezales bajo cada arco, que a su vez apoyan sobre los micropilotes ejecutados hasta una profundidad de 40 metros tras el muro de encauzamiento del Urumea.

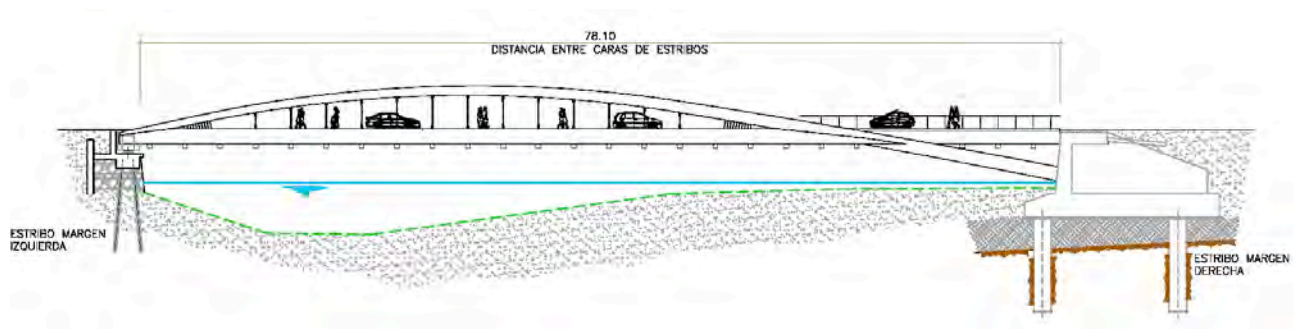


Fig. 3 Alzado general del puente.

### 2.2. Los arcos

Para contener el impacto de la estructura la altura máxima del arco sobre rasante es de 3.35m. El eficiente trabajo de la célula de hormigón del empotramiento reduce la luz equivalente del puente y permite aumentar la esbeltez aparente a  $L/24$ .

Los arcos mixtos presenta una sección transversal en "V" muy tendida y de espesor e inclinación variables a lo largo del desarrollo del mismo, alcanzando en su base una anchura máxima de 3.0 metros.

Se construyen con una piel exterior en acero S355, salvo en la zona inundable de arranques donde se emplea acero inoxidable dúplex tipo 1.4462.

Interiormente se rellenan con hormigón autonivelante HA-70.

La elección de los materiales para los arcos se justifica por las necesidades estructurales impuestas por el vano a saltar y estéticas para lograr la mínima sección.



### 2.3. Los nervios longitudinales y el tablero

Los dos nervios longitudinales metálicos, integran el cordón de tracción de los arcos colgando al tablero de los mismos. Son de sección trapezoidal, con canto de 1.3 m y anchos de 1.5 y 0.5 m en fondo y coronación respectivamente. En la zona de tablero sobre arco su canto se reduce a 1.10 m para permitir el paso de las aceras sobre ellos.

El tablero está formado por un sistema mixto que se empotra en los nervios longitudinales y forma el esquema resistente transversal. La sección transversal posee dos familias de elementos en sección doble "T" no simétrica. El ala inferior de estos perfiles es más ancha y está cerrada por células triangulares. Las vigas del tramo central se disponen a separaciones de 3 m y forman la primera familia, la segunda es un costillar con elementos cada 1.5 m volado desde el lateral que da soporte a la acera de aguas abajo y que se cierra del mismo modo que la anterior.

Todo el sistema de vigas transversales está conectado superiormente a una losa de 26 cm hormigonada sobre chapa grecada de encofrado perdido que materializa la superficie de calzada. El canto del emparrillado permite el paso de la avenida máxima de 500 años con desahogo.

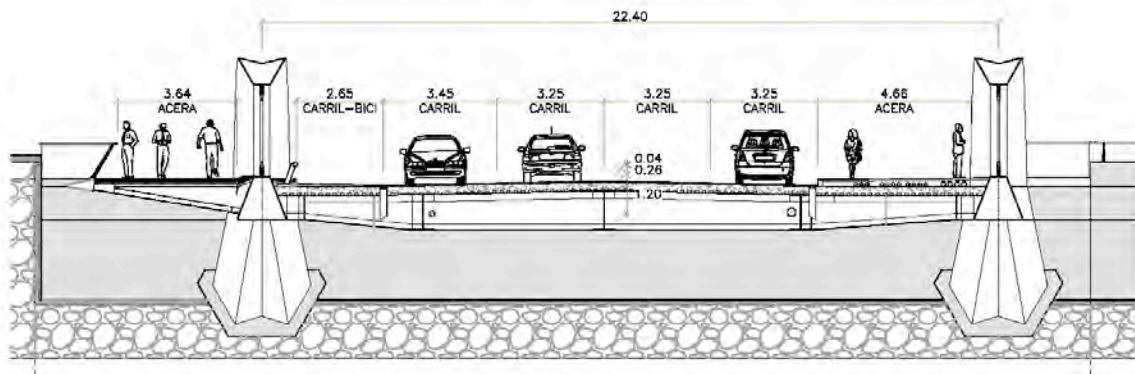


Fig. 4 Sección transversal. Vista hacia el estribo de la margen derecha.

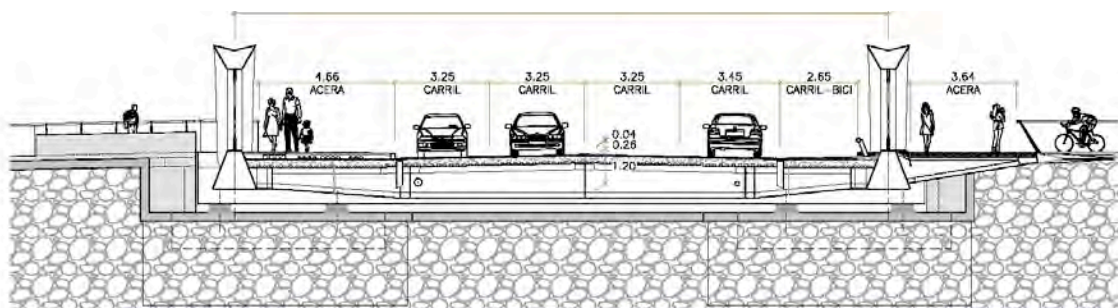


Fig. 5 Sección transversal. Vista hacia el estribo de la margen izquierda.



## 2.4. El proceso constructivo

La tecnología utilizada para la construcción de la estructura es estándar y permite estimar sin incertidumbres los plazos y costes derivados de la ejecución de las obras y su perfecta planificación.

Los arcos y el cajón metálico del tablero se prefabrican en taller procediéndose a su transporte y posterior ensamblaje en obra. El montaje en taller permite mantener unos estándares de calidad muy altos y lograr la geometría en "V" variable de los arcos sin desviaciones.

### - Fase 1

En una primera fase se realiza el pilotaje de los contrapesos en la margen derecha y de la riostra de apoyo en la izquierda. Simultáneamente se prepara la meseta artificial de trabajo en el cauce para cimentación de las torres auxiliares de apuntalamiento de los arranques de los arcos. La interferencia en el cauce que produce la meseta artificial es mínima, dado que ésta se realiza en la zona poco profunda y el área de afección es reducida.



Foto. 1 Ferrallado de cabezales de apoyo en margen izquierda.





### - Fase 2

En una segunda fase se realiza el ferrallado y hormigonado del encepado y muros de los contrapesos lastrados así como de la riostra.

Una vez finalizados los elementos de cimentación y colocadas los apeos provisionales se procede a colocar los arranque de los arcos, entre el alzado del estribo derecho y los apeos, uniendo por soldadura los tramos de nervios a los anclajes metálicos embebidos en el contrapeso a tal efecto. Estos arranques permanecerán apuntalados hasta que se completen los arcos.

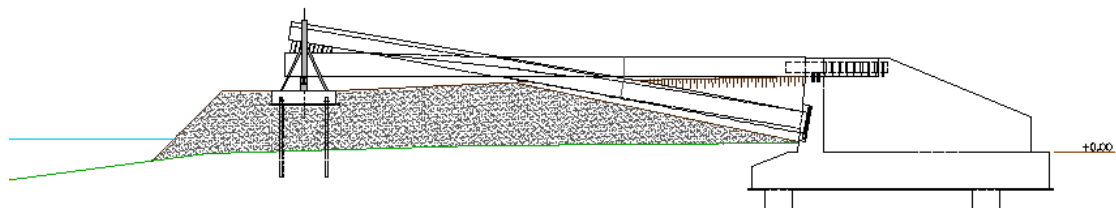


Fig. 6 Alzado frontal. Sección Colocación primer tramo de arranques.

### - Fase 3

Tras la colocación de la pieza metálica se procede al hormigonado del interior de los arcos de este tramo.

Simultáneamente en el parque de prefabricación situado en la margen derecha se realizan los trabajos de ensamblaje de los tramos de nervio, arco y péndolas.



Foto. 2 Vigas transversales acopiadas en parque de montaje.





- Fase 4

Una vez ha alcanzado el hormigón interior de los arcos la resistencia exigida, se colocan mediante grúa las dos celosías laterales del puente, formadas por los arcos, los nervios, el nudo de unión arco-nervio de la margen izquierda y las péndolas. Estos cuchillos metálicos se apoyan en la margen izquierda sobre la riostra y en el extremo del nudo 1 colocado en la fase 2. Se procede a realizar las soldaduras de unión de estos tramos.

En esta misma fase se van colocando sucesivamente, con grúa y desde la margen derecha, las catorce primeras vigas transversales. Conforme se va ensamblando el costillar central con los nervios principales, se va colocando la chapa nervada de la losa. La chapa, que hará de encofrado perdido para el hormigón de la losa, proporciona a su vez, una plataforma de trabajo segura para los operarios.

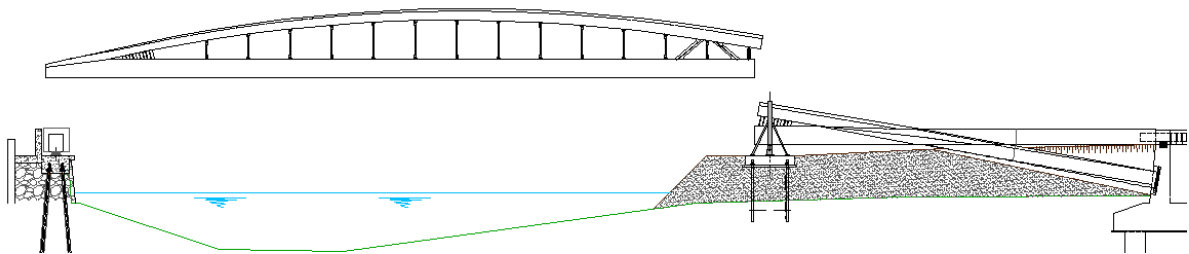


Fig. 7 Colocación tramo principal de arcos.

- Fase 5

En esta fase se procede al desapeo simultáneo de los arcos mediante dos gatos de arena.

Una vez desapeados los arcos se comienzan los trabajos de retirada de la península y de los apeos provisionales.

- Fase 6

Se continúan los trabajos de ensamblaje del resto de las vigas transversales a los nervios y, una vez montado el emparrillado metálico central se hormigona el tramo central de los arcos.

- Fase 7

Seguidamente se realiza el hormigonado continuo de toda la losa central. Una vez fraguada la losa se colocan las costillas exteriores que dan soporte a la acera volada. Ésta podrá ejecutarse desde la plataforma central sin necesidad de estructuras auxiliares de apoyo provisional. El proceso seguido en el montaje del vuelo será idéntico al de la plataforma central: unión de los elementos metálicos a los nervios, colocación del tramex de apoyo y colocación del pavimento de madera.



- Fase 8

En última fase y habiendo ejecutado el tablero se procede a la realización de los remates, aglomerado de la calzada, ejecución del pavimento de las aceras, colocación de barandillas e iluminación y sistemas de proyección.



Fig. 8 Fotomontaje del puente terminado.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

"Quinto Puente en San Sebastián" IV Congreso Internacional de Estructuras de la ACHE, 2008 Valencia .

"A "Vierendeel" Grillage for Composite Prestressed Concrete Slab in Staged Construction Analysis". Third International Bridge Seminar TNO-Diana Midas, Imperial College, 2009 Londres