

Rotonda Elevada Allerru: silueta inspirada en la ley de momentos flectores

Elevated Roundabout Allerru: silhouette inspired by the law of bending moments

Mario Guisasola Ron^a

^aDr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ANTA IC. Director. mgr@anta-ic.com

RESUMEN

La nueva rotonda elevada de Allerru, sobre la carretera N-I en San Sebastián, sustituye un puente de gálibo reducido por dos estructuras de mayor gálibo que soportan una glorieta en forma de hipódromo. Los puentes, de acero corten y 44 metros de longitud, destacan por su diseño inspirado en la ley de momentos flectores, optimizando la eficiencia estructural. Estas estructuras, casi gemelas, se integran de manera natural en el entorno y mejoran la movilidad en los ramales adyacentes.

ABSTRACT

The new elevated roundabout of Allerru, over the N-I road in San Sebastián, replaces a low-clearance bridge with two higher-clearance structures that support a racetrack-shaped roundabout. The bridges, made of weathering steel and measuring 44 meters in length, stand out for their design inspired by the law of bending moments, optimizing structural efficiency. These nearly twin structures blend naturally into the surroundings and enhance mobility in the adjacent road links.

PALABRAS CLAVE: rotonda elevada, puente, acero corten, estética, simplicidad, ley de momentos flectores.

KEYWORDS: elevated roundabout, bridge, weathering steel, aesthetics, simplicity, law of bending moments.

1. Introducción

La ejecución de la nueva rotonda elevada de Allerru sobre la carretera N-I en San Sebastián supone la sustitución de un puente de gálibo reducido por dos nuevas estructuras de mayor gálibo sobre la carretera, la creación de una nueva glorieta elevada en forma de hipódromo y la modificación de los cuatro ramales de enlace existentes para mejorar el tráfico.

El protagonismo de la obra reside en los dos nuevos puentes de acero corten que salvan

la N-I soportando la nueva rotonda elevada. Se trata de dos estructuras casi gemelas. El puente norte presenta un tablero de 13 metros de anchura por el que discurren dos carriles de circulación y una acera. El paso situado en el lado sur no dispone de acera y su ancho es ligeramente inferior a los 12 metros. Ambos puentes presentan una longitud de 44 metros y su geometría tiene un carácter muy dinámico.



Figura 1. Rotonda elevada de Allerru sobre la N-I.

2. Diseño

El diseño de los pasos superiores de Allerru se basa en tres premisas: **la integración en el terreno, la simplicidad y la eficiencia.**

El **terreno** presenta algo más de espacio en el lado oeste que en el este. En el este, la existencia del río Oria conlleva la necesidad de acercar los ramales de enlace a la N-I. En el lado opuesto existe algo más de espacio y los ramales pueden alejarse de la carretera creando entre medio un amplio espacio verde. Así, los puentes presentan más espacio para apoyarse en el oeste que en el este. Ello ha permitido dotar a los puentes de un contrapeso en esta zona que se funde con el terreno. Las nuevas estructuras se basculan así hacia la zona donde más espacio existe. Los cimientos de hormigón quedan enterrados y da la impresión de que los puentes surgen directamente del terreno.

Los muros que discurren paralelos a la N-I presentan una geometría en diente de sierra con la altura mínima estricta para que las tierras no se derramen sobre la calzada. De este modo se mitiga el efecto túnel al pasar bajo la rotonda y se maximizan las zonas verdes ayudando a

integrar los puentes en el terreno de una manera natural.



Figura 2. Estructura empotrada – apoyada que parece surgir del terreno.

Se ha buscado conscientemente **simplificar** el aspecto de la obra eliminando todo elemento superfluo. Los puentes presentan unas vigas con una geometría rotunda completada con unos pretils de hormigón tintado de color gris oscuro y una barandilla con pies de estilo conciso y redes de acero inoxidable muy transparente. Los pretils y la barandilla pasan desapercibidos desde fuera y todo el protagonismo reside en la estructura metálica de acero corten.



Figura 3. Muros de en diente de sierra y parterres vegetalizados.

Los materiales elegidos (acero corten, acero inoxidable y hormigón) tienen muy buena durabilidad y no serán necesarias operaciones de repintado. De esta manera, el aspecto actual de la obra se mantendrá similar a lo largo de los años.

Se ha minimizado el número de elementos de la obra y se han concebido detalles simples y robustos para aumentar su durabilidad.

La forma de las vigas de los dos puentes es muy **eficiente** y está basada en la ley de momentos flectores que las solicitan. Se elimina el material en las zonas poco solicitadas y se concentra la materia en aquellas áreas que deben presentar más resistencia. De este análisis surge una estructura con una silueta muy dinámica, casi orgánica, que se integra muy bien en los parterres vegetalizados que bordean la N-I.

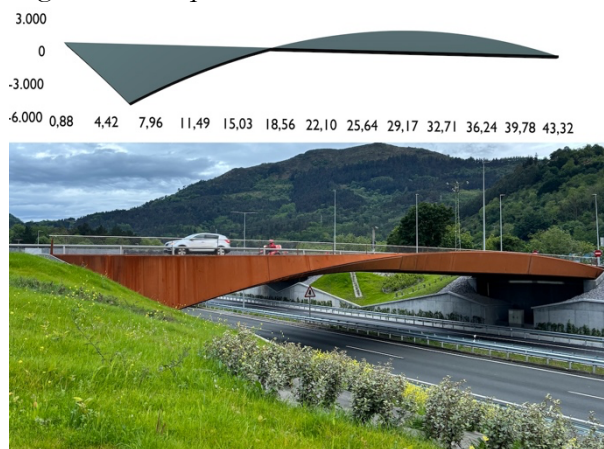


Figura 4. La silueta del puente se inspira en la ley de momentos.

Los nuevos puentes de la rotonda elevada de Allerru se integran de manera natural en las nuevas márgenes vegetalizadas de la N-I y presentan un diseño minimalista y eficiente basado en el análisis de los esfuerzos que solicitan la estructura.

3. Estructura

Cada puente está constituido por una estructura bijácena de dos vigas principales solidarizadas mediante viguetas dispuestas cada 2.652 metros. Cada viga principal se encuentra empotrada en el estribo oeste y simplemente apoyada en el este, salva un vano de 37.128 m y presenta una longitud total de 44.2 metros.



Figura 5. Modelo 3D de la estructura metálica.

El empotramiento se logra mediante un vano auxiliar de pequeña longitud, creándose así una viga continua de dos vanos muy descompensados. El alzado de los puentes se basa en la ley de momentos de la viga continua sometida a una carga uniformemente repartida a lo largo de toda su longitud. Se obtiene así una forma que expresa el comportamiento estructural de los puentes, y su alzado se adapta en todo momento a los máximos momentos que solicitan cada sección.

El empotramiento se establece disponiendo dos ejes de apoyo en cada estribo oeste: uno en compresión y otro en tracción. El apoyo en tracción corresponde a una articulación de doble bulón, que impide los movimientos verticales, y permite los horizontales.

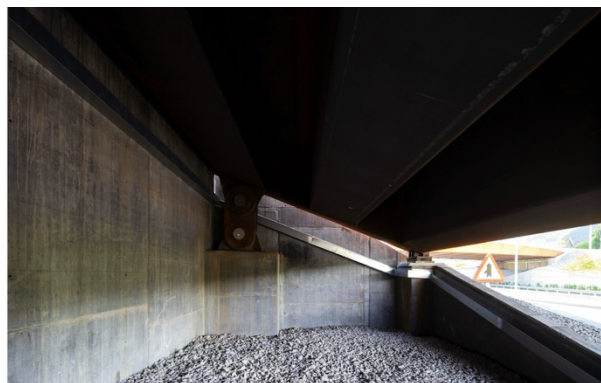
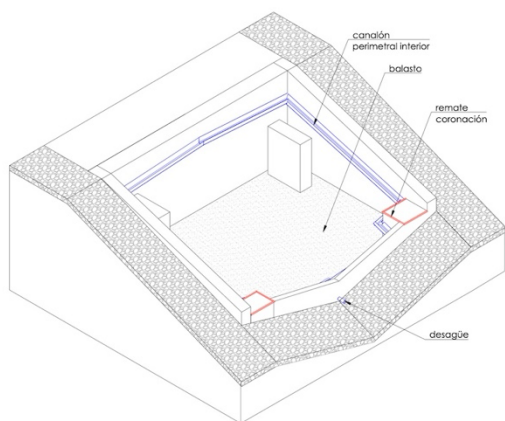


Figura 6. Estribo de empotramiento.

Los componentes estructurales básicos de los puentes son:

- Dos vigas cajón longitudinales.
- Unas viguetas transversales que solidarizan las vigas longitudinales, separadas una distancia de 2.652 m entre ejes.
- Los rigidizadores transversales de las vigas cajón se encuentran alineados con las almas de las viguetas transversales, constituyendo con estas unos marcos equidistantes que impiden la distorsión angular y el pandeo lateral de las vigas longitudinales. La geometría trapezoidal de los rigidizadores es el patrón interior que genera la forma de los cajones longitudinales.
- Unas placas de anclaje con doble bulón en el extremo empotrado de las vigas aseguran su empotramiento, soportando unas reacciones verticales de sentido

ascendente. La disposición de un doble bulón permite los movimientos longitudinales sin coacción alguna.

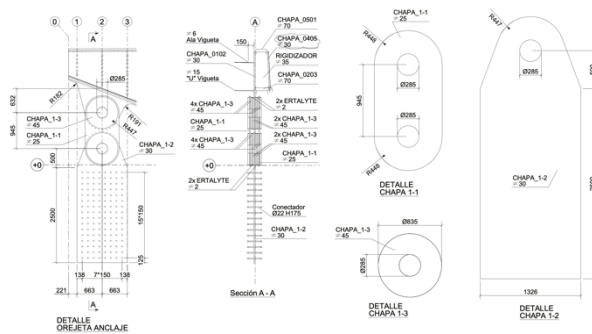


Figura 7. Detalle de articulación de doble bulón.

El cajón de las vigas principales es un trapecio de base principal inferior en el empotramiento, y base principal superior en centro de vano.

La relación entre los vanos laterales y los vanos centrales corresponde a un esquema 2 / 14: 16 paños de viguetas de 2.652 metros completados con sendos apéndices de 0.884 metros hasta lograr una longitud total de 44.2

metros: $0.884 + 2 \times 2.652 + 14 \times 2.652 + 0.884 = 44.2$ m.

La altura máxima de las vigas principales de los puentes en los empotramientos vale 3.07 m, y 1.65 m en centro de vano. El canto mínimo de las vigas es 0.71 metros. Las viguetas transversales presentan un canto mínimo de 0.41 metros.

Las 2 vigas principales del puente Sur presentan una separación de 11.7 m entre almas interiores de cajón. La plataforma de paso presenta dos carriles de 4 m; sendos arcenes de 1 m; zunchos de 0.55 m para alojar los pretiles de hormigón y sendos sobreanchos de 0.275 m en los extremos para alojar servicios.

Las 2 vigas principales del puente Norte presentan una separación de 13 m entre almas interiores de cajón. La plataforma de paso corresponde a una acera de 2 m, en el lado norte; 2 carriles de 4 m; arcenes de 1 m en el sur y 0.5 metros en el norte; zunchos de 0.55 m en el sur y 0.625 m en el norte, para alojar un pretil de hormigón y uno metálico, y un sobre ancho de 0.275 m en el sur para servicios.

El tablero de ambos puentes es una losa de hormigón armado de 20 cm de espesor, hormigonada directamente sobre unas viguetas

metálicas en “U” dispuestas cada 2.652 m. La conexión losa – viguetas transversales se establece mediante conectadores Nelson.

Los bordes exteriores de los puentes están rematados por una barandilla de acero corten con pasamanos, y cables horizontales de acero inoxidable. La acera del puente Norte se ha pavimentado con asfalto de color negro.

Debido a la existencia de una red de pluviales existente que cruza la N-I a la altura del puente Norte, los estribos de este se han diseñado para no interferir con la misma.

La ejecución de un nuevo ramal de salida de la N-I desde el Sur, y la modificación de los 3 ramales existentes conllevan la ejecución de 2 muros paralelos a la N-I, situados aproximadamente a 1 m de la cuneta existente. El alzado de estos elementos es fuertemente variable con una geometría buscada expresamente. En su base en cada caso se ha plantado una alineación de trepadoras.

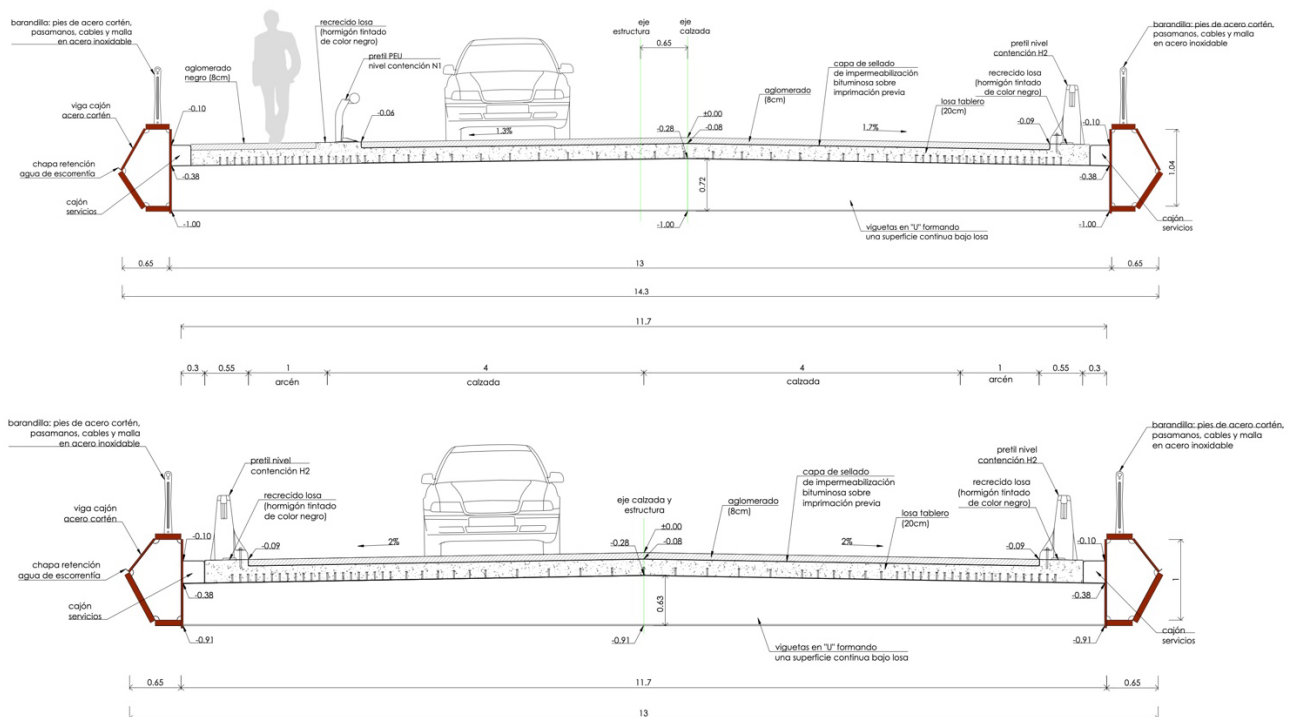


Figura 8. Sección transversal del puente Norte (arriba) y el puente Sur (abajo)

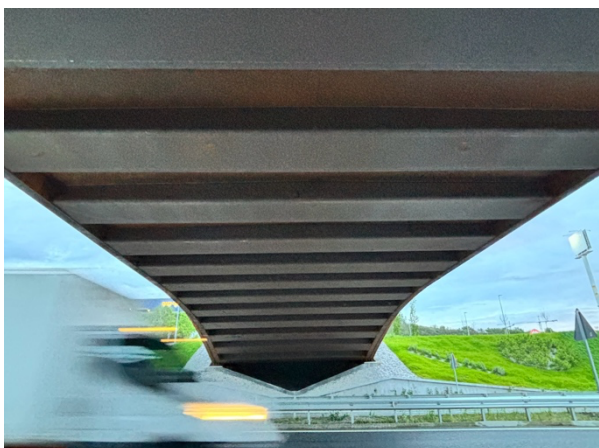


Figura 9. Viguetas transversales en "U" y muro en diente de sierra.

4. Cálculo

Desde el punto de vista del cálculo estructural, los puentes no presentan hechos reseñables más allá de la geometría muy variable de sus vigas principales.

El modelo de cálculo se realiza con Sofistik y consiste en un modelo híbrido de emparrillado espacial y elementos finitos. Está formado por elementos barras (las dos vigas principales longitudinales y las viguetas transversales) y elementos finitos tipo lámina (losa de 20 centímetros de espesor).

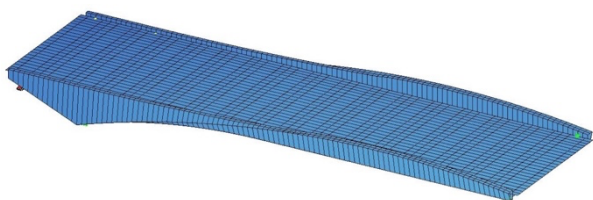


Figura 10. Modelo de cálculo.

La sección de las vigas principales es un polígono de cinco lados de dimensiones variables. La distancia horizontal entre los distintos vértices no varía, pero sí la distancia vertical, generando una variación de canto muy elevada.

La prueba de carga realizada en cada puente permitió verificar que las deformaciones calculadas en fase de proyecto se ajustaban de la realidad de la obra construida.



Figura 11. Prueba de carga y gráfica de resultados del puente Sur

5. Construcción

La construcción de las vigas de los puentes en taller se realizó en tres tramos y cada uno de estos se armó según la siguiente secuencia:

- Mamparos interiores: estos elementos son los que generan la forma final del puente, de manera similar a las cuadernas en el caso del casco de un barco.
- Alas superior e inferior.
- Chapas exteriores: estas chapas se disponen siguiendo la geometría impuesta por las alas y los mamparos transversales. En los puntos de mayor distorsión de las superficies las chapas debieron ser curvadas previamente. Una vez dispuestos estos elementos se sueldan los mamparos trapezoidales en cuatro de sus lados.
- Alma vertical interior: unas ventanas practicadas en el alma permiten soldar el quinto lado del mamparo desde el exterior.



Figura 12. Secuencias de armado en taller.

Una vez soldados los tramos en taller se trasladaron a obra y se dispusieron sobre los estribos y dos apoyos provisionales situados en el borde de la carretera. La orejeta de anclaje extremo del estribo de empotramiento fue hormigonada una vez colocado el correspondiente tramo sobre el estribo.



Figura 13. Montaje en obra por tramos sobre apoyos provisionales.

6. Conclusiones

Los nuevos puentes de la rotonda elevada de Allerru destacan por un diseño basado en la ley de momentos flectores, que optimiza el uso del

acero. El diseño de la obra se basa en tres premisas: la integración en el terreno, la simplicidad y la eficiencia.

Agradecimientos

El promotor de la obra es el Departamento de Infraestructuras Viarias de la Diputación Foral de Gipuzkoa. El director de Proyecto fue Agustín López Dóriga y los directores de obra Germán Pozas y Koldo Aldalur.

La ejecución de las obras se realiza a lo largo del año 2023 por la empresa Construcciones Amenabar. El taller encargado de la construcción metálica es Goros.

El proyecto y la asistencia técnica a la dirección de obra fueron confiados a ANTA con un equipo dirigido por Mario Guisasola en el que destacan Lore Mutiloa, Esther Azcona y Haritz Iriondo.

Referencias

- [1] Guisasola Ron, Mario (2016) *Bending Moment Diagram as Shape: Bicontentio Bridge and Bicontentio Sinus Footbridge in San Sebastián* Estocolmo, 19th IABSE Congress Stockholm
- [2] Guisasola Ron, Mario (2021) *Design Philosophy Based on the Span's Internal Forces*. Suiza, Structural Engineering International.
- [3] Guisasola Ron, Mario (2021) *Desarrollo de nuevas formas parametrizadas para Pasarelas Eficientes y Elegantes*. España, Universidad Politécnica de Valencia.
- [4] Guisasola Ron, Mario (2022) *Diseño de pasarelas: paisaje, simplicidad y forma estructural*.



Figura 14. Puente Sur Allerru.