

Pasarela en Sestao

Sestao footbridge

Roberto REVILLA ANGULO

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y
Arquitecto
r2 estudio
CEO
roberto.revilla@r2estudio.es

Pablo CEMBRERO MASA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Bowstring
CEO
pablocebreromasa@gmail.com

RESUMEN

La pasarela peatonal y ciclista se sitúa en Vega Vieja, un antiguo área industrial y de servicios en reconversión al sur de Sestao que se va a urbanizar. Por tanto, surge de la necesidad de comunicar diferentes zonas situadas a distintos niveles, y de superar la herida longitudinal del río Ballonti y de la línea de ferrocarril de cercanías C-2. Estructuralmente, presenta una tipología de viga con sección en "U" con planta en "S" que se resuelve mediante un tablero continuo de acero corten de 171.05 m de longitud y 5.55 m de anchura, materializado mediante una sucesión de cuatro vanos, de luces 60.85, 25.55, 46.8 y 37.85 m.

ABSTRACT

The pedestrian and cyclist footbridge is situated in Vega Vieja, an industrial and service restructuring area that is going to be urbanized. Therefore, it was born from the need to communicate different areas located at different levels, overcoming the existence of a longitudinal cut of the Ballonti river and the local rail line C-2. Structurally, the footbridge is a beam with a section of "U" that is solved by a continuous deck materialized by weathering steel beam 171.05 m long and 5.55 m wide. It presents a S plant, materialized by a succession of four spans, 60.85, 25.55, 46.8 and 37.85 m long.

PALABRAS CLAVE: viga, sección U, pila tabique, tablero continuo, acero corten.

KEYWORDS: beam, U-section, wall pier, continuous deck, weathering steel.

1. Introducción

La pasarela peatonal y ciclista se sitúa en Vega Vieja, un antiguo área industrial y de servicios en reconversión al sur de Sestao que se va a urbanizar (Figura 1). Actualmente se encuentra separada de dicho núcleo de población por la Autovía Sestao-Ortuella (BI-628).



Figura 1. Situación.

La pasarela, surge de la necesidad de comunicar diferentes zonas situadas a distintos niveles, y de superar la herida longitudinal del río Ballonti y de la línea de ferrocarril de cercanías C-2.

La pasarela con planta en “S”, se resuelve mediante un tablero continuo de acero corten de 171.05 m de longitud materializado mediante una sucesión de cuatro vanos, de luces 60.85, 25.55, 46.8 y 37.85 m (Figura 2). Su anchura es constante de valor 5.55 m, salvo en el vano 2 en la zona del mirador, en donde está es variable aumentando hasta un máximo de 7.4 m.

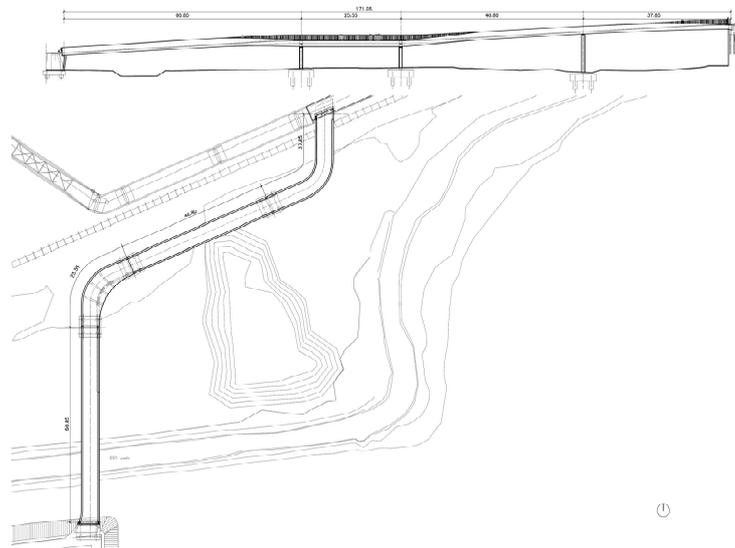


Figura 2. Alzado y planta.

Nace de la tierra, a la cota de la futura urbanización y progresivamente se va elevando aproximadamente 7.3 m hasta alcanzar la cota más alta en su unión con el carril bici de Bidegorri Baracaldo-La Arena.

En su desarrollo, de un salto limpio y claro a través de una viga en “U” y con un vano de 61 m de luz, salva el río para establecerse en una zona horizontal a modo de mirador, para finalmente

volver a elevarse, retornando a la tierra y alcanzando el carril bici una vez superado el ferrocarril [1].

2. El proyecto y su génesis

El río y el ferrocarril a modo de heridas longitudinales, dividen el entorno e impiden la comunicación transversal entre este área industrial en reconversión, en donde se situarán las futuras urbanizaciones, y el carril bici de Bidegorri, que lo conecta con el municipio de Sestao. La pasarela surgió como superación de dichas barreras físicas y como elemento capaz de restablecer la permeabilidad transversal en este espacio.

La ausencia de referencias visuales en este entorno prácticamente horizontal hacen que la pasarela, aún estando definida mediante un elemento tan primario como la viga, que ofrece un tablero con ligera pendiente como solución más funcional, además de generar paisaje y conectar zonas actualmente inconexas, sea capaz de crear una referencia en el lugar (Figura 3).

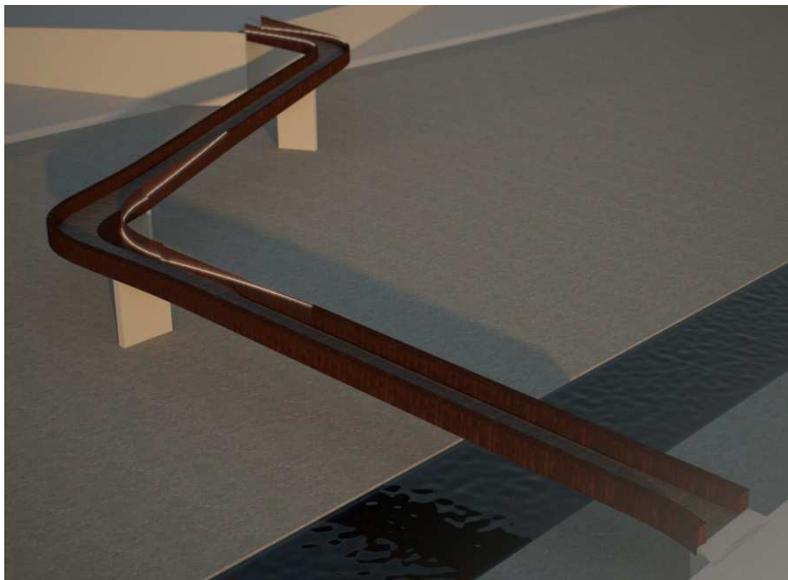


Figura 3. Perspectiva de la pasarela.

La viga que reposa sobre los apoyos manteniendo un papel estructural pasivo, al trasladar las acciones verticales a los mismos de manera limpia y directa esta tradicionalmente asociado al comportamiento resistente a flexión, con lo que se confronta con mayor eficiencia cuanto mayor es el canto de la sección y por tanto, con secciones de máxima inercia [2]. En nuestro caso lo funcional se interpenetra con lo resistente al aprovechar las vigas verticales laterales como barandillas e introducir a los peatones dentro de la sección en U.

3. Diseño formal y estructural

En la viga el predominio de la dimensión horizontal en la dirección longitudinal frente a la vertical es absoluto, con relación de cantos a luz de 1/10 a 1/30. Con su carácter neutro y gran adaptabilidad se relaciona con el entorno de una manera simple y directa, combinando estéticamente lo funcional y lo resistente en una forma de mínima presencia que difumina el alzado en una línea que marca la horizontalidad a través de la concentración visual máxima del material utilizado (Figura 4).



Figura 4. Vista lateral de pasarela.

4. Geología y geotecnia de las cimentaciones

Las cimentaciones de las pilas y estribos se encuadran en la Cuenca Vasco–Cantábrica, en una zona caracterizada desde el punto de vista geológico por la presencia de depósitos cretácicos y cuaternarios que se pueden agrupar en tres diferentes capas.

Una primera capa de rellenos heterogéneos granulares de espesor variable de 0.6 a 4.6 m. Un segundo nivel compuesto de depósitos de estuario (fangos) que oscila entre los 12 y los 17 m y una tercera capa que se corresponde con el sustrato rocoso compuesto a base de margas y margocalizas con grado de meteorización II en donde la calidad de la roca varía de buena a excelente [3].

Las cimentaciones tanto de las pilas como de los estribos se realizan de forma profunda. El encepado del estribo tiene forma paralelepípeda de base rectangular de 7.15 m de longitud, 5.7 m de anchura y 1 m de canto, apoyado sobre 4 pilotes de aproximadamente 20 m de profundidad. Las tres pilas también tienen un encepado forma paralelepípeda de base cuadrada de 6.6 m de lado y 1.9 m de canto, apoyado sobre 4 pilotes de aproximadamente 20 m de longitud. Todos los pilotes de 1 m de diámetro se encuentran empotrados como mínimo 3 m en el sustrato rocoso.

El estribo 2 e resuelve mediante una viga cabezal esviada de 1.2 m de canto, 6.05 m de anchura y 1.7 m de longitud apoyada sobre 8 micropilotes ϕ 200 de aproximadamente 17 m de longitud, de los cuales al menos los 7 m más profundos están empotrados en roca.

5. Estribos

El estribo 1 de 5.7 m de altura para adecuarse a la variación de anchura de la pasarela en su inicio tiene una anchura de fuste variable de 6.08 m a 6.72 m y un canto variable, siendo máximo en la coronación de valor 1.72 m y mínimo en la base de valor 1.15 m. De esta forma, en su sección longitudinal el alzado presenta en su intradós una línea inclinada (Figura 5) [4].

El estribo 2 está resuelto mediante una viga cabezal la cual descansa sobre 8 micropilotes que atraviesan el muro de tierra armada. En su encuentro con el carril bici la estructura apoya de forma esviada, lo que unido a la torsión generada por la curvatura en planta del vano 3 provoca el aumento significativo del canto de la sección cajón a 1.2 m y por tanto, el aumento en la altura del estribo. El estribo 2 tiene una anchura en la dirección esviada de 6.5 m, una longitud de 1.7 m y una altura de 2.6 m.

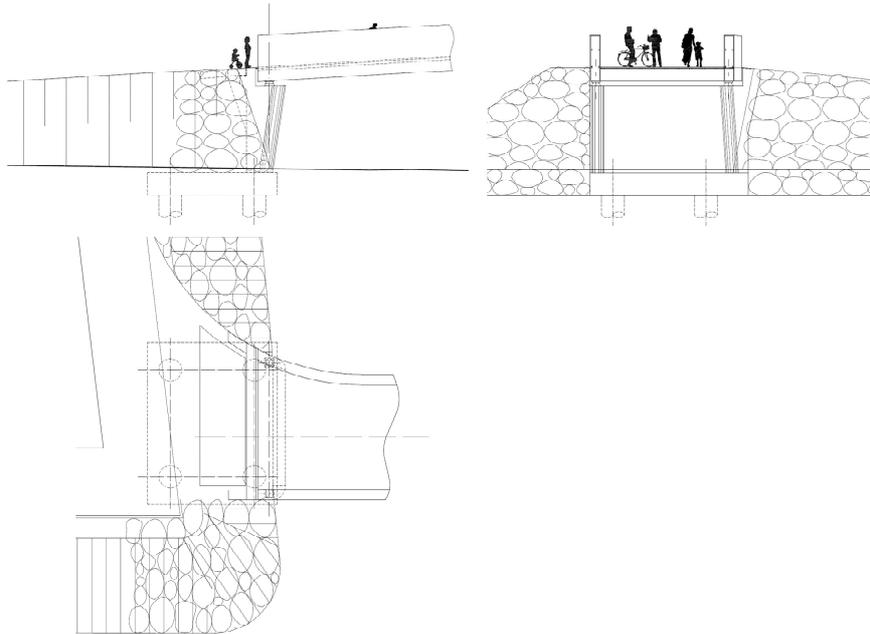


Figura 5. Geometría de estribo 1.

6. Pilas

Para lograr una cierta unidad compositiva con el tablero las pilas diseñadas con forma de pastilla tienen la misma anchura que la sección en U (Figura 6).

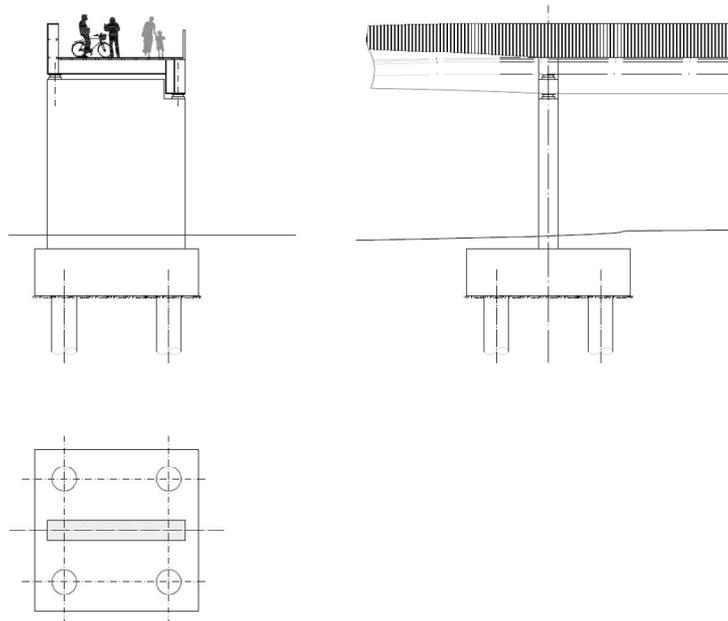


Figura 6. Geometría de la pila 3.

Las pantallas verticales que conforman las pilas tienen una altura que va desde los 5.9 m en la pila 1 a los 10 m en la pila 3. La sección transversal está resuelta mediante una sección rectangular maciza de hormigón armado de 5.55 m de anchura y 0.8 m de canto.

7. Tablero

La sección transversal, que da cabida a peatones y ciclistas, está resuelta mediante una sección en “U” de acero corten formada por dos vigas laterales longitudinales portantes de 2.05 m de canto y 0.45 m de anchura que actúan a modo de parapetos (Figura 7) [5] y [6]. Cuando ambas

almas laterales se encuentran a la misma altura, y está es máxima situándose a 1.4 m sobre el pavimento de madera, la sección en U tiene 0.45 m de anchura y 2.05 m de canto.

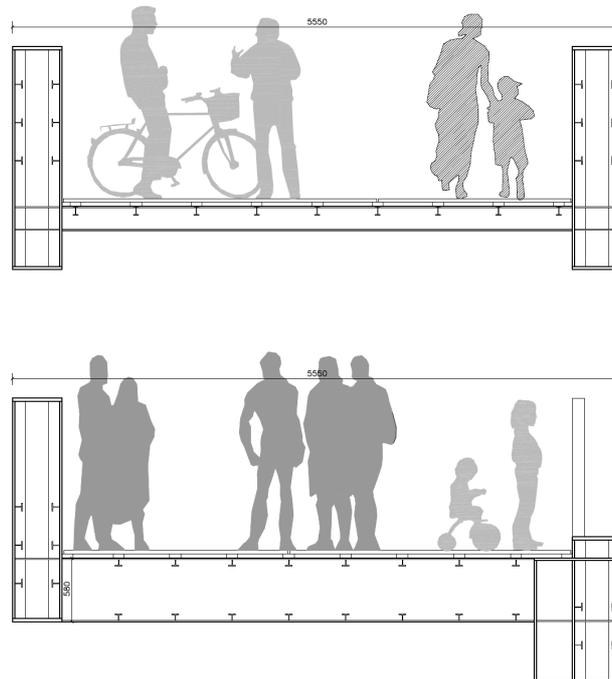


Figura 7. Sección transversal de pasarela.

En los vanos 1, 2 y 3 la sección tiene una canto constante en su alma izquierda y variable en su alma derecha dado que ésta última, en el vano 1 a 20 m de la pila 1, y en el vano 3 a 20 m de la pila 2, va variando de canto de 2.05 m a 1.38 m, y de anchura inferior de 0.45 m a 0.80 m, para permitir la diafanidad del lado lateral derecho en el vano 2 en donde se dispone un mirador de anchura variable que va desde los 5.55 m a los 7.4 m. Este mismo efecto se produce en ambas vigas laterales a todo lo largo del vano 4 a su llegada al estribo 2, para permitir salir de la estructura lateralmente, reduciéndose en este caso el canto de 2.05 a 1.20 m.

En los vanos curvos y en los tramos adyacentes a éstos, a unos 10 m a cada lado de los mismos, las dos vigas laterales se unen mediante dos chapas, una a nivel de pavimento y otra a 0.60 m por debajo de éste, conformando una sección cajón cerrada de 5.55 m de anchura y 0.60 de canto muy eficaz para controlar las flechas de torsión (Figura 8).



Figura 8. Vista de pasarela.

La estructura metálica se hace mixta hormigonándose el interior de la sección cajón y de sendas vigas laterales hasta el mismo nivel en los tramos cercanos a las pilas con objeto de disponer un mayor peso y lograr una mayor rigidez frente a fenómenos dinámicos. De la misma manera, el interior de la sección cajón de la primera dovela del estribo 2 de 1.2 m de canto y 5.55 m de anchura también queda hormigonado en toda su anchura en sus 0.6 m inferiores.

A lo largo de la pasarela, dependiendo en la zona en que nos encontremos, dichas vigas laterales se unen transversalmente mediante perfiles IPE 220 dispuestos cada aproximadamente 2.5 m (inicio de vanos 1 y 3), o mediante chapas continuas transversales dispuestas inferiormente, a nivel del parapeto izquierdo según sentido de avance, y superiormente, a nivel de la calzada.

La pasarela dispone de iluminación continua a todo lo largo de la misma mediante luminarias empotradas dispuestas cada 4 m a uno y otro lado, en la zona en donde las vigas laterales hacen de parapeto, y mediante LEDs colocados entre las balaustradas en la zona en donde las vigas disminuyen de canto a base de perfiles verticales de acero corten dispuestos cada 0.14 m (Figura 9).

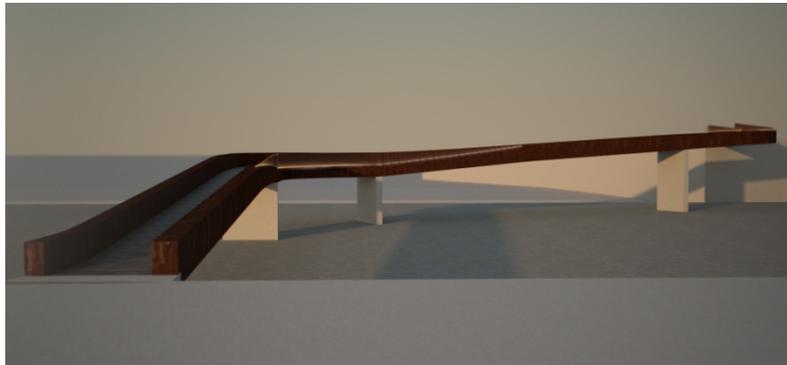


Figura 9. Vista frontal de pasarela.

El pavimento está conformado a base de tablonces longitudinales de compuesto de madera que se disponen sobre listones transversales clavados a la perfilería de acero.

8. Análisis estructural

El puente, dada su forma en planta, tiene un marcado carácter tridimensional. Con el fin de que el modelo reprodujera fielmente el comportamiento longitudinal real de la estructura, fue necesario realizar un modelo de barras 3D (Figura 10).

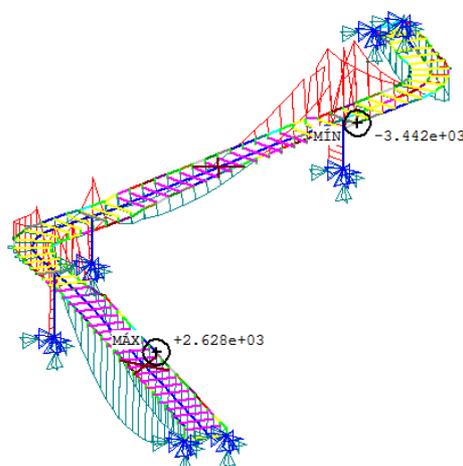


Figura 10. Modelo 3D de la pasarela.

Dado el carácter evolutivo del puente y por tanto, de su esquema estructural, con este modelo se ha realizado una modelización de todas y cada una de las fases constructivas [7]. De esta manera fuimos capaces de conocer todos los esfuerzos y tensiones existentes en todas las secciones de la pasarela a lo largo de la vida útil de la estructura.

Al tratarse de una estructura metálica continua situada en un clima suave las deformaciones impuestas (térmicas) son del orden de una tercera parte de las que se consideran en estructuras postensadas. Además, la curvatura en planta hace que los movimientos se produzcan en dos direcciones y por tanto, algo menores que los que se producirían si la estructura fuese recta (Figura 11).



Figura 11. Planta de la pasarela.

Para el cumplir el ELS de deformaciones se comprobó que la flecha máxima era menor que la flecha admisible $L/1200$ definida en la IAP 11 para sobrecarga frecuente.

Para calcular el ELS de vibraciones [8] de manera que quedasen limitadas las aceleraciones verticales y horizontales así como el evitar fenómeno de la resonancia, fue necesario realizar un cálculo dinámico. En el diseño de la pasarela se ha evitado que la frecuencia natural de la estructura tanto en la dirección vertical como horizontal se encontrara dentro de los rangos de frecuencias definidos en las normativas vigentes.

El método Newmark ha sido el utilizado para obtener las frecuencias naturales y las aceleraciones horizontales (longitudinales y transversales) y verticales producidas por grupos de peatones (con densidades de peatones máximas de acuerdo a la bibliografía técnica especializada) en actividades comunes como andar, correr y saltar. Se ha considerado que dichos grupos pudieran atravesar de una manera sincronizada la estructura con frecuencias variables según la actividad valorándose el grado de seguridad, aceptabilidad y tolerancia psicológicas de acuerdo con los límites de aceptación considerados. Este método al suponer una variación lineal de la aceleración en cada intervalo de tiempo (dominio del tiempo) y permitir estimar la acción de sobrecargas móviles que transitan sobre la pasarela, es el que hemos utilizado al considerarlo más realista.

Se ha utilizado un tipo de carga senoidal al representa mejor la realidad. De esta forma, la fuerza vertical se descompuso en una parte estática correspondiente al peso del peatón y en una parte dinámica, suma de las funciones armónicas con frecuencias enteras múltiplos de las frecuencias de paso (golpeo) de los peatones.

9. Proceso constructivo

La construcción de la pasarela se iniciará con la ejecución de las cimentaciones (encepados, pilotes y micropilotes) y los alzados de las pilas y estribos (Figura 12).

Posteriormente, se procederá al montaje a pie de obra de los diferentes tramos en que se dividirá el tablero. Más tarde se realizará el izado de los tramos rectos (que incluirán 5 m del vano curvo adyacente), el izado de los tramos curvos y posteriormente la unión de los mismos mediante soldadura.

Finalmente se procederá al hormigonado en el interior del tablero en las zonas de pila y del estribo 2 y a la colocación del pavimento de madera, de la iluminación y de los acabados de la estructura.

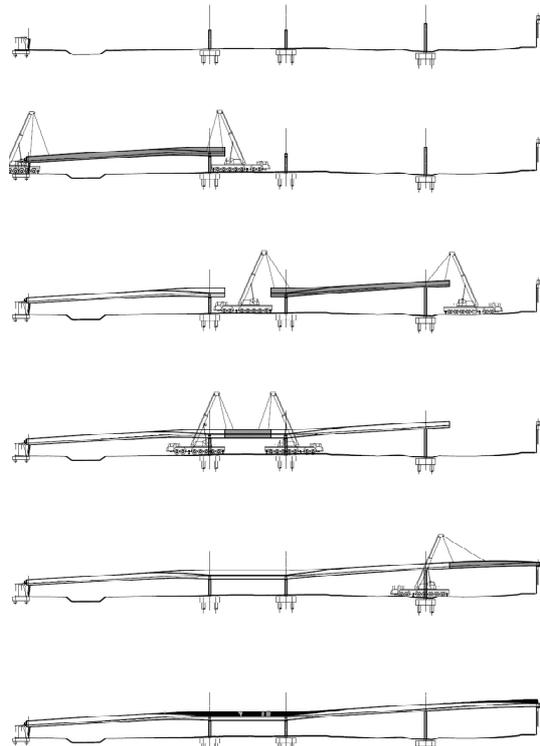


Figura 12. Fases constructivas.

10. Conclusiones

El proyecto se genera a partir de la existencia de la barrera física del río y del ferrocarril y de la ausencia de un paisaje de referencia en el lugar. Al encontrarnos en un entorno que se va a urbanizar, se ha cuidado su diseño.

Arquitectónicamente, la pasarela, a través de su tipología estructural de viga se relaciona de manera simple y directa con el entorno y mediante su planta en forma "S" es capaz de generar un nuevo espacio arquitectónico diáfano, abierto y dinámico. Mediante el predominio de la horizontalidad frente a la verticalidad, y a través del desarrollo de una forma lineal curva en planta y en alzado y de su sección en U, que aprovecha las vigas laterales como parapetos, funde estéticamente lo funcional y lo resistente en una forma de mínima presencia a través de una fina línea horizontal que difumina el alzado, que se adapta a la circulación, y que vincula unos espacios con otros (Figura 13).

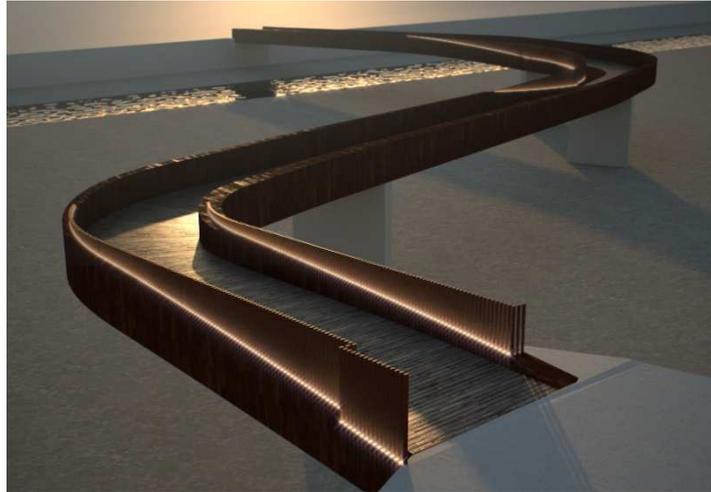


Figura 13. Vista Frontal.

Agradecimientos

Propiedad

Sociedad Ibar-Zaharra

Autores del proyecto

Roberto Revilla Angulo

Pablo Cembrero

Ingeniería

INGEPLAN/arkiGest

Igor Barrenechea-Arando

Ibon Askargorta

Referencias

- [1] L. Fernández Troyano, Tierra sobre el agua: Visión Histórica Universal de los Puentes. Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid, 2004.
- [2] M. Aguiló, Qué significa construir. Claves conceptuales de la Ingeniería Civil; Adaba Editores, 2013.
- [3] Dirección General de Carreteras, Guía de cimentaciones en Obras de carretera, Ministerio de Fomento, 2003.
- [4] F. Leonhardt, Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado. Tomos I, II, III, IV, V y VI, Librería "El Ateneo", 1980.
- [5] Eurocode 3: Design of steel structures - Part 2: Steel bridges, 2006.
- [6] L. Viñuela, J. Martínez, Proyecto y construcción de puentes metálicos y mixtos. Madrid: APTA, 2009.
- [7] J. Manterola, Puentes: apuntes para su diseño, cálculo y construcción. Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid, 2006.
- [8] H. Bachmann, Lively footbridges a real challenge. Proceedings of the International Conference on the Design and Dynamic Behavior of footbridges, Paris, 2002.