

II CONGRESO DE ACHE
PUENTES Y ESTRUCTURAS EDIFICACIÓN

Realizaciones
Puentes



La Pasarela de Acero Inoxidable de Abandoibarra, frente al Museo Guggenheim en Bilbao

Francisco Millanes Mato
Javier Pascual Santos
Tomás Ripa Alonso

IDEAM, S.A.

1. INTRODUCCIÓN

La nueva pasarela de Abandoibarra debe salvar el paso sobre la ría de Bilbao, conectando el área Universitaria de Deusto, en la margen derecha, con la nueva zona remodelada de Abandoibarra, en la margen izquierda justo delante del Museo Guggenheim, edificio que ya forma parte de la vanguardia estética mundial.

La ubicación de la pasarela, en un entorno de carácter urbano muy fuerte y de gran personalidad: museo Guggenheim, Aula Magna de la Universidad de Deusto, puentes de la Salve, Deusto y Euskalduna, nuevo Palacio de Congresos y futuras torres de César Pelli, constituye uno de los condicionantes más importantes que han orientado el proyecto (foto portada).

La solución proyectada resultó ganadora en un Concurso de Ideas promovido por Ría 2000.

PASARELA DE ABANDOIBARRA	
Propiedad:	Bilbao Ría 2000
Proyecto y Apoyo Técnico a Obra:	IDEAM S.A. José Antonio Fernández-Ordoñez Francisco Millanes Mato Javier Pascual Santos Tomás Ripa Alonso Lorenzo Fernández Ordóñez (Arquitecto)
Tipo de concurso:	Restringido de Ideas (1995)
Empresas Constructoras Adjudicatarias:	FERROVIAL-AGROMAN & URSSA U.T.E.
Jefe de Obra:	Jesús Orcajo/José Antonio Borbolla

2. LA SOLUCIÓN PROYECTADA PARA LA PASARELA

Resolver todas la conexiones y flujos peatonales entre los paseos de la ribera de la ría, la Universidad de Deusto y el parque de Abandoibarra no permitía una solución convencional de pasarela tradicional con un salto único sobre la ría, ya que las conexiones con los paseos de ribera quedarían como añadidos al margen de la esencia del proyecto, generando un fuerte impacto visual y formal sobre un entorno tan simbólico y singular (fig. 1).



Fig. 1: Foto aérea de la operación de Abandoibarra

El proyecto surgió, por tanto, de la profundización en los criterios expuestos, en la búsqueda de un elemento continuo, unitario e integrador, en su propia tipología estructural, de los múltiples condicionantes funcionales de gálibos, pendientes y flujos peatonales entre ambas márgenes de la ría (fig. 2), sin añadidos o dicotomías que alteraran la pureza y sencillez como bases del fuerte carácter de la solución.

Dicho elemento continuo tiene forma de lámina plegada estructural de canto constante, constituida por elementos prismáticos que se quiebran en líneas de corte y plegamiento muy definidas. La lámina tiene una doble piel: la exterior, que constituye la sección estructural, en acero inoxidable y la interior, que envuelve la plataforma peatonal, en madera de lapacho (fig. 3). El cuerpo interior de esta doble lámina está constituido por un entramado de perfiles de acero al carbono pintado que materializan el sistema de rigidización de la estructura, soportan el ligero forjado de hormigón armado de la misma y permiten alojar las instalaciones y servicios necesarios.



Fig. 2: Foto maqueta pasarela



Fig. 3: Doble piel “acero inoxidable-madera”

3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La tipología estructural de la solución tiene un marcado carácter espacial (fig. 1 a 4). Su esquema resistente fundamental es una lámina plegada en la que la flexión positiva del esbelto tramo central se ayuda con el fuerte empotramiento suministrado por las células triangulares laterales apoyadas en ambos márgenes de la ría, contrapesadas por los anclajes verticales en los apoyos extremos ubicados en el parque de Abandoibarra y en la entrada al Aula Magna de la Universidad de Deusto.

La flexión negativa en los apoyos intermedios se recoge por el conocido esquema de puntal inclinado comprimido y tirante horizontal superior traccionado. La biela dorsal inclinada, también comprimida, autoequilibra la componente horizontal del puntal evitando la aparición de empujes horizontales en la cimentación, imposibles de absorber por unos pilotes exentos empotrados en la roca del fondo de la ría a unos 14.0 m de profundidad.

Las bielas y puntales inclinados, donde se alojan las rampas peatonales de descenso a las márgenes, se abren espacialmente en planta, conformando una célula triangular tridimensional.

La longitud total de la pasarela principal es de 142.25 m., con una distancia entre ejes de apoyo del vano central de 84.0 m. Existe un ligero esviaje en planta del eje del trazado del vial peatonal respecto a los márgenes de la ría que origina una pequeña oblicuidad espacial de la estructura, que afecta de manera no despreciable a la respuesta resistente y geométrica de la misma.

La sección transversal de la pasarela es en forma de U (fig. 4), de 1.95 m de canto, 7.60 m de ancho en la zona de clave y 4.10 m en las zonas inclinada laterales. Se consiguen de esta forma unos anchos útiles de 6.50 m para el vial peatonal principal y 3.00 m para las rampas laterales, muy superiores a las exigidas en el Pliego del Concurso pero necesarios en nuestra opinión dada la gran longitud de la pasarela.

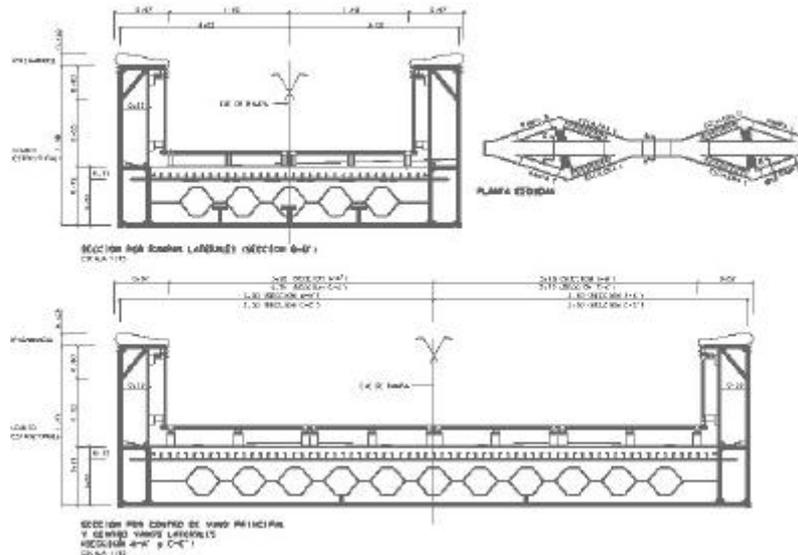


Fig. 4: Secciones transversales

La sección estructural en U es de acero inoxidable de espesor constante de 20 mm, necesario tanto por condiciones resistentes y deformacionales como formales, de manera que las soldaduras de los sistemas de rigidización interior no afectaran a la apariencia exterior de la sección. Las platabandas superiores, en chapas de 30 a 50 mm, son de acero al carbono pintado y quedan ocultas bajo el pasamanos de madera que remata la pieza.

La sección estructural en forma de U, en la que las almas de la misma constituyen al mismo tiempo los parapetos-barandillas de la plataforma, permite conseguir el carácter formal rotundo y unitario buscado, sin las dicotomías habituales estructura/barandilla, al mismo tiempo que reduce estrictamente el canto visual de la pieza, acentuando la esbeltez y respetando las condiciones de gálibo muy estrictas en el paso de la Avenida de las Universidades de Deusto.

La necesidad de cortar la continuidad del esquema resistente fundamental en célula triangular en las intersecciones de la sección abierta en U con las secciones abiertas de las rampas inclinadas, así como de las escaleras de acceso en los apoyos intermedios, modifica fundamentalmente la respuesta estructural bien conocida en las soluciones de célula triangular. Se genera una respuesta resistente, compleja y de gran interés estructural, entre los dos cordones laterales de la sección resistente de las zancas. La célula triangular queda constituida en realidad por las almas laterales del cordón principal y las interiores de los puntales o zancas inclinados, a modo de lámina plegada espacial. Por otra parte, el alma

lateral exterior de los puntales, actúa como una viga balcón espacial apoyada, por un lado, en unos salientes transversales sobre el extremo de la célula triangular lateral y, por otro, en un apoyo articulado a compresión excéntrica en la base o meseta de coronación del apoyo intermedio de llegada de las escaleras.

Lógicamente, la correcta respuesta resistente de este complejo esquema de lámina plegada espacial, así como las exigencias de estabilidad, precisa de la disposición de importantes sistemas de marcos abiertos en U, en acero al carbono, de rigidización transversal. Se proyectan tres tipos de marcos de rigidez.

- marcos tipo 1, dispuestos modularmente cada 3.0 m, cuya misión es garantizar la indeformabilidad de la sección transversal así como arriostrar el cordón superior comprimido de la sección frente a la inestabilidad por pandeo horizontal;
- marcos tipo 2, ubicados en las aristas de quiebro de la lámina para recoger las fuerzas de desvío.
- marcos tipo 3, que materializan el apoyo transversal de la viga balcón lateral antes citada sobre la célula inclinada interna, y que son fundamentales para la correcta respuesta resistente de este tipo de estructura.

Se disponen asimismo los tradicionales sistemas de rigidización de alma y fondo, de células triangulares en cabeza de almas, así como unos elementos específicos o largueros localizados en los quiebros y encuentros para la correcta difusión de las fuerzas puntuales que allí se generan.

El elemento transversal inferior de los marcos de rigidización constituye al mismo tiempo el alma de un ligero forjado mixto cuya cabeza de compresión es una losa de hormigón de 15 cm de espesor, y cuyo canto total es de 72 cm. La losa de hormigón sirve asimismo de elemento resistente y rigidizador de la estructura frente a acciones de tipo horizontal.

El recurso al acero inoxidable como elemento estructural principal constituye una aplicación singular de un material con importantes cualidades mecánicas, estéticas y de mantenimiento, todavía poco explotadas en el ámbito de la obra civil pero con indudable proyección en un futuro inmediato.

El acero inoxidable a emplear es un acero dúplex 23.04, tipo URANUS 35 N, con un 23% de cromo y 4% de níquel. Es un acero austenítico-ferrítico con propiedades a la corrosión iguales o superiores a los aceros inoxidables tradicionales tipo A316 L. En cambio, sus características mecánicas son muy superiores a las de los aceros austeníticos, que no resultan aplicables a este tipo de estructura:

Resistencia a rotura por tracción = 600 Mpa

Límite elástico característico (0.2 %) = 400 Mpa

Módulo de deformación = 200 Gpa

Deformación última a la rotura = 25 %

Coefficiente de dilatación térmica $\cong 1.3 \times 10^{-5}$

El acabado previsto es un blanco/plateado mate obtenido directamente tras el proceso de laminación en caliente en la siderurgia, tras el oportuno tratamiento de decapado químico en fábrica, sin ningún tipo de pulido.

Este tipo de acero inoxidable, de altas prestaciones mecánicas, no se fabrica actualmente en nuestro país, siendo posible su suministro desde Francia (Cli. Creusot-Loire Industrie) o Suecia (Avesta Sheffield), que fueron finalmente los adjudicatarios.

Se ha previsto una pintura de calidad de 35 micras de todas las superficies interiores no vistas, tanto del acero inoxidable como del acero al carbono, así como las adecuadas precauciones durante el proceso de ejecución y soldeo para eliminar los riesgos de corrosión electrolítica entre aceros de diferente par galvánico.

4. RESPUESTA RESISTENTE Y ANALISIS ESTRUCTURAL.

La respuesta estática estructural de esta compleja estructura ha sido básicamente descrita en el apartado precedente. Para su correcto análisis y dimensionamiento se han realizado tres tipos de cálculos estáticos de creciente precisión:

- a) Análisis aproximado inicial, para el predimensionamiento de la estructura mediante un modelo de barras espacial (ROBOT) en el que se reflejaban los elementos resistentes,

por separado, de las almas exteriores e interiores de cada sección en U, vinculadas transversalmente por elementos que reflejaban la respuesta de los marcos de rigidización transversal. Las dos barras laterales de la sección tenían asignadas los correspondientes anchos eficaces de flexión y axil de la chapa de fondo de la U.

- b) Análisis preciso, de verificación final, mediante elementos finitos tipo placa/lámina (ANSYS) reflejando todos los paneles metálicos estructurales de la sección, vinculados a elementos lineales que representan los perfiles de rigidización transversal y en el plano de las chapas.
- c) Análisis localizado de las zonas de marcos de rigidización tipo 2 y 3, como subestructuras dentro del modelo general de elementos finitos, para el control final de todos los nudos y enlaces de esta zonas de compleja respuesta estructural.

En el proyecto se ha prestado una especial atención a la respuesta deformacional, estática y dinámica, de la pasarela bajo el paso de sobrecargas móviles, no sólo en lo que respecta a la integridad y seguridad estructural sino también en los efectos psicológicos que puedan dar lugar a un malestar o inquietud en los peatones, lo que resulta de especial importancia dada la singular ubicación y dimensiones (ancho útil de 6.0 m) de la pasarela, que no puede asimilarse a las estructuras convencionales contempladas en las normativas. El análisis dinámico y la solución proyectada con sistemas amortiguadores semiactivos es objeto de otra ponencia en este Congreso.

5. PROCESO CONSTRUCTIVO.

El proceso previsto es convencional dentro del campo de las estructuras metálicas y mixtas, mediante el ensamblado de grandes tramos metálicos en las riberas y su montaje en grandes unidades correspondientes a los tramos central, lateral y zancas inclinadas, utilizando apeos provisionales pilotados en la ría. El montaje de los tramos laterales se hace con grúas convencionales y el del central mediante flotación y posterior izado desde los apeos. El desapeo se prevé previo al hormigonado del forjado mixto de la pasarela.

Conviene únicamente resaltar que gran parte del diseño y proceso de montaje queda condicionado por la necesidad de evitar daños superficiales en los paramentos vistos de acero inoxidable. Para ello se ha modulado la pasarela en dovelas de anchura completa y 3

m, aproximadamente, de longitud, que corresponden básicamente a las anchuras de las planchas de laminación de la siderurgia. Tras el oportuno plegado en U y su decapado químico en origen, son trasladadas a los talleres de URSSA en Vitoria donde se realizan las operaciones de montaje y soldeo de la estructura metálica interior. Finalmente, a pie de obra se ensamblarán a tope las dovelas para conformar las grandes unidades que se elevarán según se ha visto.

Se han previsto unos embellecedores a modo de resaltes o costillas de pocos centímetros, en acero AE 316 L, que actúan como chapa dorsal de la soldadura a tope entre dovelas, al mismo tiempo que la ocultan y crean un ligero, pero muy eficaz visualmente, juego de sombras que corta modularmente los grandes planos de acero inoxidable, eliminando la importancia de cualquier defecto de planeidad, inevitable en la ejecución de piezas de esta envergadura.

En las fig. 5 a 9 se presentan varias fotografías de la ejecución y montaje de la pasarela cuyo montaje está previsto para el verano de 2002 y su terminación para otoño de 2002.



Fig. 5: Premontaje tramo central a la ribera



Fig. 6: Transporte tramo lateral en camión



Fig. 7: Izado tramo lateral



Fig. 8: Tramo lateral del lado Deusto ya montado



Fig. 9: Tramo lateral lado Deusto ya montado