

CAUCE

AÑO 2003

2 0 0 0

NÚMERO 115 - 6 €

ENTREVISTA

José Folgado
Secretario de Estado
de **Energía**

REPORTAJE

Metrosur,
en Madrid

LOS INGENIEROS DE CAMINOS EN LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

Calidad de **servicio**

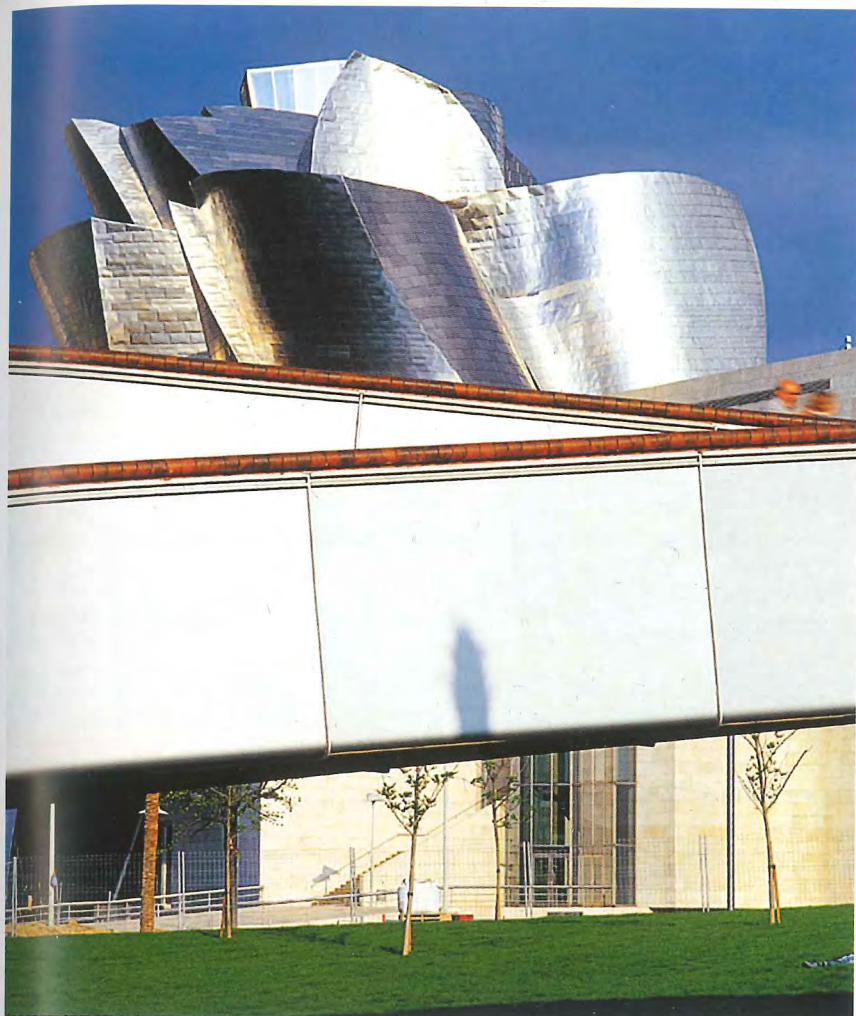
PASARELA PEATONAL PEDRO ARRUPE, EN BILBAO

Personalidad y elegancia

Por FRANCISCO MILLANES MATO, JAVIER PASCUAL SANTOS y TOMÁS RIPA ALONSO,
ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
y LORENZO FERNÁNDEZ ORDÓNEZ, arquitecto

En un entorno urbano marcado por el influjo de edificaciones de la **singularidad** del Guggenheim, se eleva la Pasarela de **Pedro Arrupe**. El singular diseño de la misma está condicionado por las elevadas exigencias **estéticas y funcionales** que se derivan de su especial ubicación. No en vano, la nueva pasarela abre a la ciudadanía **nuevos espacios** urbanos para su tránsito entre los nuevos **paseos** de las riberas y sobre su propia vía.





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 las futuras Biblioteca de la Universidad, de Rafael Moneo, y Torres de la Diputación, de César Pelli, constituye uno de los condicionantes más importantes que han orientado el proyecto de la misma.

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.

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.

El proyecto surgió, por tanto, de 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, sin añadidos o dicotomías que alteraran la pureza y sencillez como bases del fuerte carácter conceptual 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 lapache. El cuerpo interior de esta doble lámina está constituido por un entramado de perfiles de acero autopatinable 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.

ESTRUCTURA ESPACIAL

La tipología estructural de la solución tiene un marcado carácter espacial. 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

Vista interior de la pasarela y tramos en madera de lapache.

EL PROYECTO SURGE DE LA BÚSQUEDA DE UN ELEMENTO CONTINUO, UNITARIO E INTEGRADOR DE LOS MÚLTIPLES CONDICIONANTES FUNCIONALES DE GÁLIBOS, PENDIENTES Y FLUJOS PEATONALES ENTRE LAS MÁRGENES DE LA RÍA

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 esvía 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, 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 inicialmente exigidas en el Pliego del Concurso, pero necesarios en nuestra opinión dada la gran longitud de la pasarela, que en la idea de los autores del proyecto, debía concebirse como un nuevo puente-calle, a modo de paseo-balconada sobre el singular entorno en que se ubica.

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 alcanzar el carácter for-

mal 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:

Los marcos tipo 1 están dispuestos modularmente cada tres metros, su 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. Los marcos tipo 2 se ubican en las aristas de quiebro de la lámina para recoger las fuerzas de desvío. En cuanto a los marcos tipo 3, que materializan el apoyo transversal de la viga balcón lateral

Nombre de la obra**PASARELA PEATONAL PEDRO ARRUPE, EN ABANDOIBARRA (BILBAO)****Promotor****BILBAO RÍA 2000****Dirección del contrato****JAVIER MARZANA MARTÍNEZ (Bilbao Ría 2000)****ENRIQUE FERNÁNDEZ NEIRA (Bilbao Ría 2000)****Autores del Proyecto y Directores de las Obras**

JOSÉ ANTONIO FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, FRANCISCO MILLANES MATO, JAVIER PASCUAL SANTOS, TOMÁS RIPA ALONSO e IGNACIO DÍAZ DE ARGOTE CERVERA, ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
LORENZO FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, arquitecto

Empresa consultora**IDEAM, S.A.****Empresa constructora****U.T.E. FERROVIAL-AGROMÁN & URSSA****Ingeniero de Caminos, Gerente de la U.T.E.****JESÚS ORCAJO NÚÑEZ (Ferrovia-Agromán)****Ingeniero de Caminos, jefe de Obra****JOSÉ ANTONIO BORBOLLA (Ferrovia-Agromán)****Responsables de la ejecución de la estructura metálica****JOSÉ LUIS ARAICO Y JOSÉ RAMÓN ANGULO (URSSA)****Control de calidad****U.T.E. Labein-Euskontrol****PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS****Estructura metálica en acero inoxidable tipo Duplex****Solución estructural en lámina plegada espacial (pórtico espacial en célula triangular)****Ancho sección tipo 7,60 m (6,50 m útiles)****Ancho rampas/escaleras 4,10 m (3,00 m útiles)****Longitud total 142,25 m****Luz vano central 84 m****Acero al carbono 546.928 kg****Acero inoxidable 468.635 kg****Vista desde el
puente de Deusto.**

antes citada sobre la célula inclinada interna, son fundamentales para la correcta respuesta resistente de este tipo de estructura.

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 empleado es un acero dúplex 23.04, tipo URANUS 35 N, con un 23 por ciento de cromo y 4 por ciento 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 austeníti-

cos, 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 $\approx 1.3 \times 10^{-5}$

El acabado previsto en 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).

Se ha aplicado 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 electrolytica entre aceros de diferente par galvánico. La calidad de la impermeabilización del forjado de la pasarela se ha cuidado al máximo, disponiéndose láminas de betún elastómero con armadura de poliéster, autoprotectidas con gránulos cerámicos, adheridas al forjado de hormigón y en los solapes entre láminas, adyacentes, por temsoldabilidad. El proceso de instalación fue auditado externamente, lo que permitió obtener una garantía de funcionamiento de 10 años.

EL PROCESO CONSTRUCTIVO

El montaje realizado 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 hizo con grúas convencionales y el del central mediante flotación desde la ribera y posterior izado desde los apeos aprovechando la carrera de marea. El desapeo se prevé previo al hormigonado del forjado mixto de la pasarela.



Montaje por flotación e izado del tramo central.

Resulta necesario resaltar que gran parte del diseño y proceso de montaje quedaba condicionado por la necesidad de evitar daños superficiales en los paramentos vistos de acero inoxidable, dado que cualquier tratamiento mecánico superficial no resultaba posible pues alteraba inaceptablemente la textura y calidad visual del acabado final visto. Para ello se moduló 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 en las instalaciones de Avesta en Suecia, fueron trasladadas debidamente protegidas hasta los talleres de URSSA en Vitoria, donde se realizaron las operaciones de montaje y soldeo de la estructura metálica interior. Finalmente, a pie de obra se ensamblaron a tope las dovelas para conformar las grandes unidades que se elevaron posteriormente según el proceso descrito.

El pliego de ejecución de la estructura metálica establecía un Plan de Aseguramiento de Calidad muy preciso para garantizar la adecuada protección superficial de los paramentos externos durante toda la fabricación



y montaje de la pasarela, lo que permitió, gracias a su estricto cumplimiento por el contratista, evitar el rechazo de alguna dovela una vez fabricada o montada.

LIGERA Y FLEXIBLE

En los últimos años el diseño de pasarelas ha experimentado una progresiva complejidad en sus esquemas estructurales, muchas veces derivados de arriesgadas o poco controladas concepciones simbólicas o arquitectónicas. La respuesta dinámica de tipologías resistentes no convencionales, con progresivo aumento de su ligereza y flexibilidad, no queda cubierto por los criterios establecidos en las actuales normativas, tanto nacionales como europeas.

Los recientes problemas de vibraciones no controladas, detectadas en pasarelas tan simbólicas como la del Milenium en Londres o la de Solferino en París, que han obligado a costosas reparaciones una vez inauguradas, han puesto de primera actualidad el control dinámico de vibraciones en pasarelas. La sensibilidad actual sobre esta problemática queda reflejada por el título de una comunicación presentada en el reciente congreso "Footbridges 2002" que tuvo lugar en París: "¿Cuándo se cerrará la siguiente pasarela recién inaugurada?"

En nuestro caso esta preocupación estuvo presente desde las primeras fases del proyecto. En primer lugar, por la singularidad estructural del esquema resistente espacial de la pasarela, que obligaba a controlar no sólo el primer modo de vibración por flexión principal de la misma, en el entorno de 1.6 Hz, sino también la respuesta dinámica adecuada fren-

La pasarela y su entorno (Universidad de Deusto y paseo de Abandoibarra).

**SU UBICACIÓN
ACONSEJA
ASEGURAR LA
CORRECTA
RESPUESTA
DINÁMICA FRENTE
A MULTITUD DE
SOLICITUDES
PEATONALES,
COMO ANDAR,
CORRER, SALTAR,
QUE NO QUEDAN
CUBIERTAS
POR LAS
PRESCRIPCIONES
REGLAMENTARIAS
PARA PASARELAS
CONVENCIONALES**

te a modos superiores asociados a vibraciones según esquemas torsionales y asimétricos. En segundo lugar, porque su excepcional anchura y longitud, y su ubicación especial en el entorno de la Universidad de Deusto, el Museo Guggenheim y el entorno de la ría y de la zona de Abandoibarra, aconsejaba asegurar la correcta respuesta dinámica frente a multitud de sollicitaciones peatonales, transitorias y estacionarias, como andar, correr, saltar, algunos de cierta intensidad, que no quedan cubiertos por las prescripciones reglamentarias para pasarelas convencionales.

Si bien los controles dinámicos numéricos realizados en proyecto resultaron tranquilizadores, las singulares condiciones de esta pasarela junto con la sensibilidad actual antes citada, nos aconsejaron, ya desde la fase de proyecto, garantizar la máxima calidad de confort peatonal mediante la implementación de unos TMDs (amortiguadores de masas sintonizadas), de uso común en diseños sísmicos y de problemas vibratorios industriales. Se trata de masas conectadas con muelles y amortiguadores viscosos a los puntos más activos dinámicamente de la estructura, cuyos parámetros de masa, rigidez y viscosidad deben ser adecuadamente calibrados con modelos numéricos y posteriormente contrastados con pruebas dinámicas diseñadas al efecto. Se dispusieron seis amortiguadores, con masas entre 1000 y 1200 Kg, de pequeño tamaño y bajo coste de instalación y mantenimiento. Las pruebas dinámicas realizadas, antes y después de activar dichos sistemas resultaron muy satisfactorias y concluyentes, en nuestra opinión, sobre la eficacia y economía que se obtienen mediante el recurso a estos sistemas para el control de vibraciones. ▲