

## Sobre el proceso de diseño: estructura de la ampliación del Palacio Euskalduna



### Alejandro Bernabeu Larena

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Bernabeu Ingenieros.

Universidad Politécnica de Madrid

#### Resumen

La estructura de la cubierta de la ampliación del Palacio Euskalduna presenta una aplicación muy singular de los sistemas de estructuras recíprocas, con una configuración de gran irregularidad.

El artículo presenta el proceso de diseño y desarrollo de esta estructura en sus distintas fases, detallando los análisis y enfoques planteados y las soluciones adoptadas.

Plantea asimismo una reflexión general sobre los procesos de diseño de la estructura, reivindicando este proceso no sólo en función del resultado final –el proyecto–, sino en sí mismo, como un recorrido que debe ser igualmente considerado, aprovechado y sobre todo disfrutado.

#### Palabras clave

Euskalduna, estructura recíproca, proceso de diseño, estructura metálica, irregularidad

#### Abstract

*The roof structure to the extended Euskalduna Conference Centre and Concert Hall incorporates a very original application of reciprocal frame structures with a highly irregular arrangement.*

*The article presents the design process and development of this structure over its different stages, describing the analysis and approaches adopted.*

*The article provides a general description of the design processes of the structure and justifies this process both in function of the end result –the design– and as a means in itself, as a pathway that should be equally taken into account, exploited and appreciated.*

#### Keywords

*Euskalduna, reciprocal frame, design process, steel structure, irregularity*

El alto grado de ocupación del Palacio de Congresos y de la Música Euskalduna en Bilbao, inaugurado en 1999, llevó a plantear su ampliación con un nuevo espacio abierto de unos 3.000 m<sup>2</sup>, directamente conectado con el hall de exposiciones del edificio existente.

La estructura de la cubierta de la ampliación presenta una solución singular basada en los sistemas clásicos de estructuras recíprocas. Más allá de la descripción pormenorizada de esta estructura<sup>1</sup>, el artículo se centra en explicar el proceso de diseño y desarrollo de la misma, y propone una reflexión general sobre los procesos de diseño de la estructura, no sólo como medios para alcanzar un producto –el proyecto–, sino en sí mismos.

### Proceso de diseño y desarrollo de la estructura de la ampliación del palacio Euskalduna

El elemento más representativo del proyecto de ampliación del palacio Euskalduna es la cubierta que, debido al gran desnivel existente en la parcela, es claramente visible desde la avenida de Abandoibarra y adquiere una importante presencia exterior.

La cubierta ocupa una superficie de unos 50 x 80 metros, y debe adaptarse a una geometría en planta irregular, sin una dirección clara predominante, con una luz máxima aproximada de 45 metros.

El planteamiento arquitectónico inicial de la cubierta proponía una serie de líneas curvas que se cruzaban entre sí en varios puntos, abarcando la totalidad de la superficie. Este sistema,

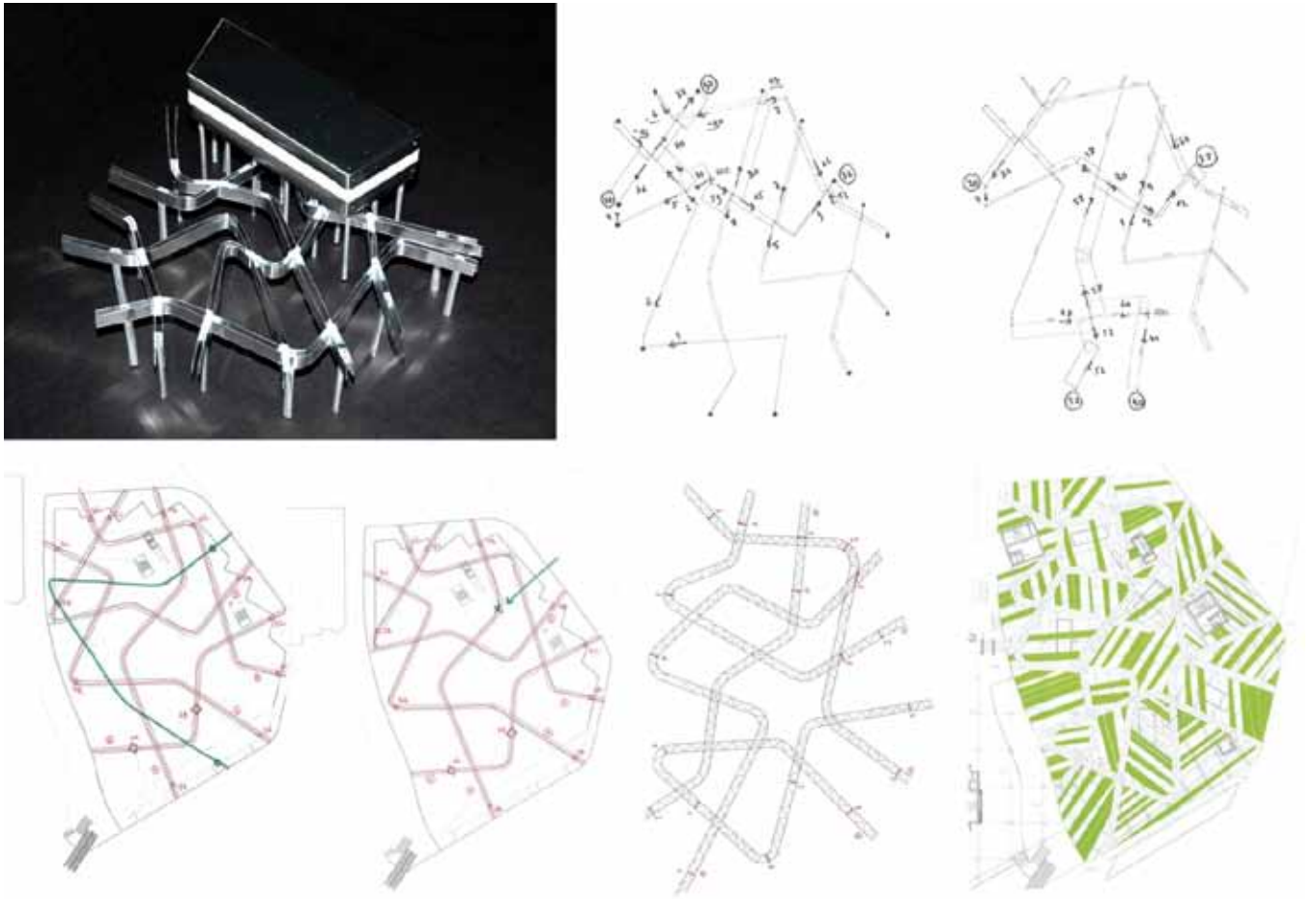


Fig. 1. Proceso de diseño de la estructura de cubierta. Planteamiento inicial y primera fase de desarrollo

de gran libertad en su trazado, se alejaba decididamente de los sistemas tradicionales de vigas principales y estructura secundaria perpendicular, en respuesta a la irregularidad de la planta.

Para valorar el comportamiento estructural de este sistema, se estudiaron los diferentes recorridos de esfuerzos que se producían al variar el punto de aplicación de una determinada carga puntual y los elementos movilizados en dichos recorridos. Este análisis permitía identificar las líneas con mayor concentración de esfuerzos, así como determinar las zonas que requerían aumentar la rigidez. La propia configuración del sistema permitía resolver estos casos fácilmente, disponiendo una nueva línea estructural principal, o modificando el trazado de las existentes para aumentar la densidad de elementos estructurales en las

zonas requeridas. Era, en ese sentido, un sistema flexible y adaptable, y pudo adecuarse sin problema en función de su comportamiento resistente.

No obstante, el trazado de las líneas principales de cubierta, que presentaba vuelos y quiebros importantes, generaba esfuerzos muy significativos, tanto de flexión en las dos direcciones como de torsión, lo que hacía necesario materializar estas líneas estructurales principales como potentes celosías metálicas espaciales (fig. 1).

En este punto de desarrollo del proyecto, diversas coyunturas hicieron que debiera reconsiderarse el proyecto de la ampliación en su conjunto, eliminando alguno de los espacios previstos (sótano y un volumen de oficinas, que se situaba por encima de la cubierta) y ajustando otros.



Fig. 2. Desarrollo arquitectónico de la estructura de cubierta. Maquetas de trabajo

En ese momento, partiendo de la experiencia y los resultados obtenidos con el desarrollo inicial de la estructura de cubierta, se decidió explorar nuevas posibilidades formales y estructurales. Se mantenía la idea base de partida, de definir una geometría irregular de la estructura, sin una dirección predominante, pero se eliminaba la concentración y clara identificación de unas líneas principales de la estructura, proponiendo en su lugar un sistema de ocupación del espacio basado en

la repetición y superposición de elementos de menor tamaño, que permitían cubrir la totalidad de la superficie de forma más natural (fig. 2).

Este planteamiento de acumulación de elementos ofrecía sin embargo a nivel estructural un funcionamiento similar a la solución inicial, requiriendo al igual que ésta la consideración de elementos de gran rigidez a flexión y torsión, consecuencia

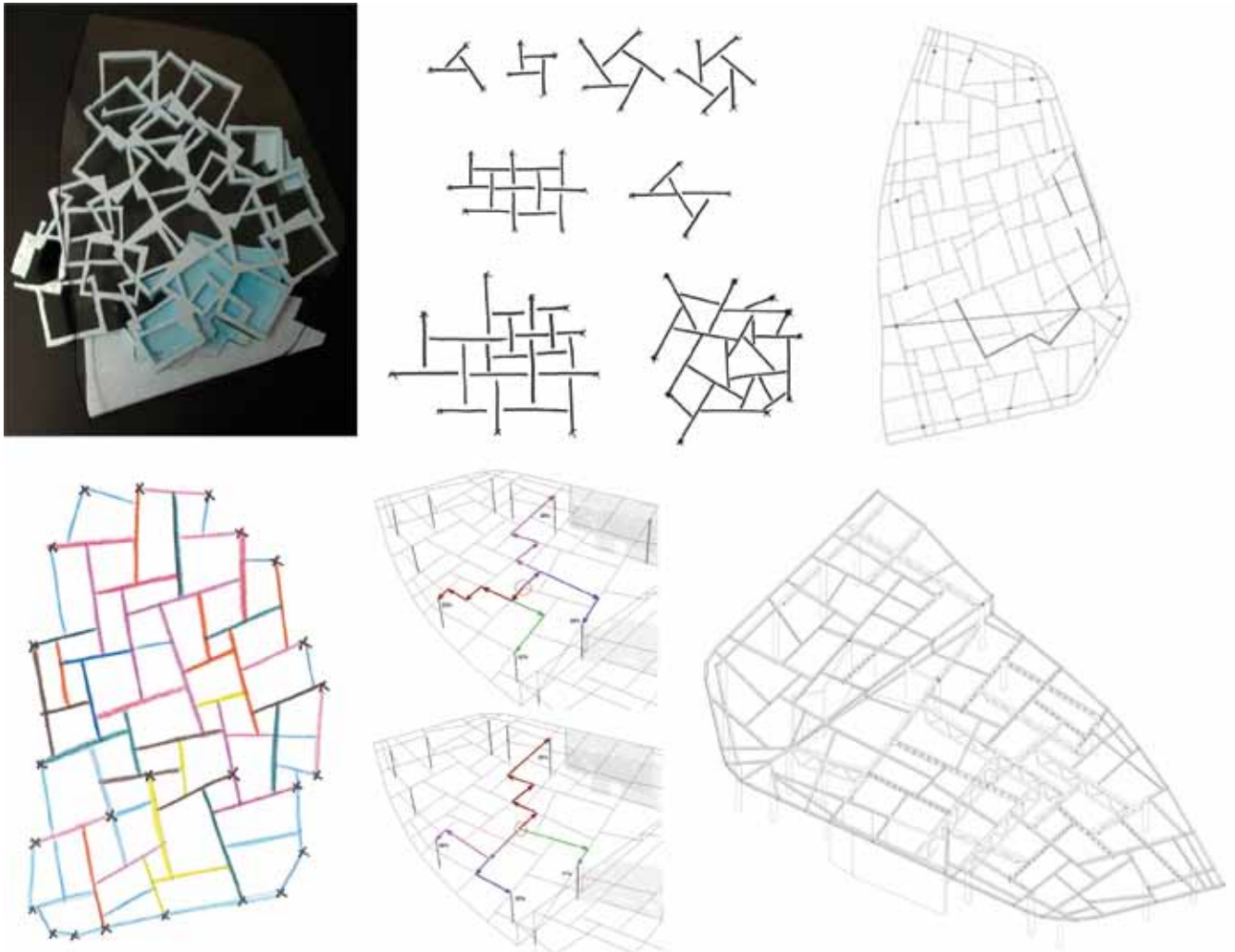


Fig. 3. Proceso de diseño de la estructura de cubierta. Segunda fase de desarrollo

de la discontinuidad de la estructura y de la existencia de numerosos vértices libres y zonas en vuelo.

Sugería sin embargo la posibilidad de plantear un esquema basado en la utilización de los sistemas clásicos de estructuras recíprocas<sup>2</sup>, aunque con un mayor grado de libertad e irregularidad, que le permitiera adaptarse con naturalidad a la geometría en planta de la cubierta y ofreciera la deseada imagen de bidireccionalidad e irregularidad.

El desarrollo se orientó entonces en esa línea, definiendo una estructura recíproca irregular, adaptada en función de los requisitos geométricos de las distintas zonas y de la organización

y delimitación de algunos de los espacios interiores (auditorio, espacios de instalaciones). Había que tener asimismo en cuenta el canto disponible para la estructura, que tenía que ajustarse en algunas zonas para respetar la altura libre requerida, y el trazado de la fachada perimetral, que debía reproducirse a nivel de cubierta para garantizar una adecuada fijación de la misma.

Este proceso resultó de gran complejidad, al tratarse de un sistema poco previsible, de gran irregularidad y sensibilidad, en el que una pequeña variación de alguno de los elementos (en disposición geométrica o en rigidez) podía modificar sustancialmente el comportamiento del conjunto, alterando radicalmente el recorrido de los esfuerzos. Se trabajó nueva-



Fig. 4. Imágenes del proceso de montaje de la estructura recíproca de cubierta

mente estudiando el recorrido de los esfuerzos producido por una carga puntual aplicada en distintas zonas de la cubierta, y modificando dichos recorridos de manera que se logran satisfacer los distintos requisitos.

Vinculado a este proceso, la enorme disparidad de esfuerzos a los que estaban sometidos los distintos elementos de la estructura, sugería adoptar un dimensionado muy diferente para cada caso, lo que por otra parte encajaban bien con la intención arquitectónica de irregularidad del sistema.

El resultado es una compleja estructura recíproca irregular, que salva una luz máxima de aproximadamente 45 m, con elementos de menos de 20 m de longitud. El dimensionado de los distintos elementos varía en función de la luz que salvan y de los esfuerzos a los que están sometidos, desde perfiles estándar IPE400 a vigas alveoladas de 1,00 m de canto y grandes celosías espaciales de 2,00 m de canto (fig. 3).

La aplicación de los sistemas de estructuras recíprocas irregulares permitió así en este caso dar una respuesta positiva a los distintos requisitos e intereses funcionales y arquitectónicos,

dotando al conjunto de una lógica estructural y constructiva claras.

Constructivamente, la propia configuración y funcionamiento de las estructuras recíprocas, basado en el apoyo de unos elementos en otros, hace que la conexión entre elementos sea sencilla, debiendo transferir exclusivamente esfuerzos de cortante, lo que simplifica enormemente la ejecución de los nudos y su puesta en obra.

Sin embargo, las estructuras recíprocas tienen que estar completamente montadas para ser estables, por lo que deben considerarse las etapas intermedias de montaje, disponiendo apoyos provisionales que garantizan la estabilidad del sistema hasta su completa ejecución y funcionamiento como estructura recíproca (fig. 4).

#### **Sobre el proceso de diseño**

El proceso de diseño y desarrollo de la estructura de la ampliación del Palacio Euskalduna pone de manifiesto, más allá de los sistemas aplicados y las soluciones adoptadas, la importancia y el interés del proceso en sí mismo. El proceso en cuanto a

exploración, aplicación, evolución y transformación de ideas y conceptos. El proceso también como mecanismo de integración y compatibilización de los distintos requisitos y complejidades que conlleva la formalización y materialización del proyecto.

El paso del planteamiento o concepto inicial a un proyecto supone tanto el desarrollo y aumento del grado de definición de esa idea inicial como su confrontación con toda una serie de requerimientos a los que debe dar respuesta, y que pueden ajustar, modificar o incluso poner en cuestión las bases de partida.

En el caso de la ampliación del Palacio Euskalduna, este proceso resultó especialmente significativo, y el hecho de que durante el mismo se presentara un punto de inflexión y de que se tuvieran que reconsiderar distintos aspectos permitió volver a enfrentarse al proyecto con el conocimiento, la experiencia y la exploración acumuladas previamente.

Diversos autores han propuesto procesos de diseño de la estructura<sup>3</sup>, que consideran tanto el desarrollo y aumento del grado de definición progresivo en las distintas fases, siguiendo un proceso continuo e integrador, como la definición de mecanismos de control que permitan tanto revisar el cumplimiento y consideración de los objetivos iniciales del proyecto, como identificar posibles requerimientos o posibilidades de desarrollo futuros. Se busca también con estos procesos establecer un paralelismo o relacionar el proceso de diseño de la estructura con las etapas de resolución creativas de problemas (*creative problem solving*), o incluso con el proceso creativo de los artistas, evitando el establecimiento de soluciones genéricas, de manera que cada proceso se comience de nuevo, con la experiencia acumulada, pero siendo capaz de poner incluso en cuestión las certezas alcanzadas en procesos previos.

Un aspecto especialmente significativo en la relación con los procesos de determinados artistas es otorgar al proceso relevancia en sí mismo<sup>4</sup>.

Sin embargo, el contexto actual, caracterizado por las enormes capacidades de análisis y computación, orienta los procesos hacia la automatización y la inmediatez, con el objetivo claro de alcanzar rápidamente un resultado.

Y es entonces aún más importante reivindicar el proceso, no sólo en función del resultado final, sino en sí mismo, como un recorrido que debe ser igualmente considerado, aprovechado y, sobre todo, disfrutado. **ROP**

#### Notas

(1) La explicación detallada de la solución estructural adoptada se aborda en el artículo '*Extension of Euskalduna conference centre and concert hall: a contemporary application of irregular frames*' (Bernabeu Larena, Alejandro; García Menéndez, David. *Structural Engineering International* 1/2014, pp. 63-67).

(2) El libro de Olga Popovic, '*Reciprocal frame architecture*' (Architectural Press. Amsterdam, 2008) es un excelente estudio del estado del arte de las estructuras recíprocas.

(3) Son significativos los procesos de diseño de la estructura propuestos por Frank Newby (Addis, Bill. 2001. "Creativity and innovation. The structural engineer's contribution to design". Oxford: Architectural Press), Edmund Happold (Happold, Edmund; Liddell, Ian; Dickson, Michael. 1976. "Design towards convergence". *Architectural design*, vol. 46, n. 7, July, pp 133-138; Happold, Edmund. 1986. "The role of the professional: an engineer's perspective". *Design studies*, vol. 7, n° 3, July 1986, pp. 133-138) y Cecil Balmond (Balmond, Cecil. 2002. "informal". Prestel Verlag).

El paralelismo entre los procesos de diseño arquitectónicos y científicos y las etapas de la resolución creativa de un problema ha sido abordada en Santamarina, JC; Akhouni, K. 1991. '*Findings in creativity and relevance in civil engineering*'. *Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol. 117, pp. 155-167.

La ponencia '*Structural design process versus creative process: an open discussion in terms of learning and teaching*' (Bernabeu, Jorge; Bernabeu, Alejandro. 2015. 9th International Technology, Education and Development Conference, Madrid) considera también la relación entre los procesos de diseño de la estructura y los procesos creativos, así como su aplicación a la enseñanza de las estructuras.

(4) Especialmente atractivo resulta en este sentido el proceso de realización de los cuadros de Luis Gordillo, que desde los años 80 fotografía las distintas etapas del proceso de gestación de los cuadros, siguiendo su ritmo de transformación. Estas fotos, que han sido exhibidas en diversas ocasiones junto con los cuadros, documentan el proceso y se convierten en "archivo de ideas perdidas y desechadas". Se pueden consultar por ejemplo los catálogos de las exposiciones "Luis Gordillo", itinerante en el IVAM Centro Julio González, Valencia, el Centro Andaluz de Arte Contemporáneo, Sevilla y el Meadows Museum, Dallas, en 1994, y "Luis Gordillo (1983-1996)", editado en 1998 por la Caja de Burgos.