

El concepto resistente como sistema configurador de proyectos singulares: La estructura envolvente del edificio 112 Reus

The resistant concept as a configurator system of singular projects: The envelope structure of the 112 Reus building

Roger SEÑÍS LÓPEZ

Dr. en Arquitectura por la UPC

Universidad Politécnica de Cataluña

Profesor e investigador de Estructuras en la Arquitectura (Dept. TA)

roger.senis@upc.edu

RESUMEN

El diseño y el desarrollo del edificio 112 Reus se realizó con un equipo multidisciplinar que trabajó conjuntamente mediante el uso de herramientas BIM (*Building Information Modeling*). El uso de este tipo de herramientas permitió la correcta y necesaria coexistencia formal entre arquitectura y estructura, mediante un único modelo para introducir los distintos sistemas configuradores del proyecto (arquitectura e ingeniería). Permitiendo, además, el intercambio de datos entre modelos BIM/CSI de forma eficaz, aportando un valor añadido al proyecto, configurando en todo momento un necesario diseño integrador, dada la complejidad tecno-tecnológica y de gestión del mismo.

ABSTRACT

The design and development of the 112 Reus building was carried out by a multidisciplinary team that worked together using BIM tools (*Building Information Modeling*). The use of this type of modeling tools allowed the correct and necessary coexistence between architecture and structure, by means of a single model to introduce the different configurator systems of the project (architecture and engineering). In short, the exchange of data between BIM/CSI models was possible, bringing a complementary value to the integrating project, according to the technological complexity and management of the building.

PALABRAS CLAVE: Edificio 112 Reus, relación arquitectura-estructura, estructura envolvente, viga de celosía, herramientas BIM.

KEYWORDS: 112 Reus building, architecture-structure relationship, envelope structure, lattice girder (truss), BIM tools.

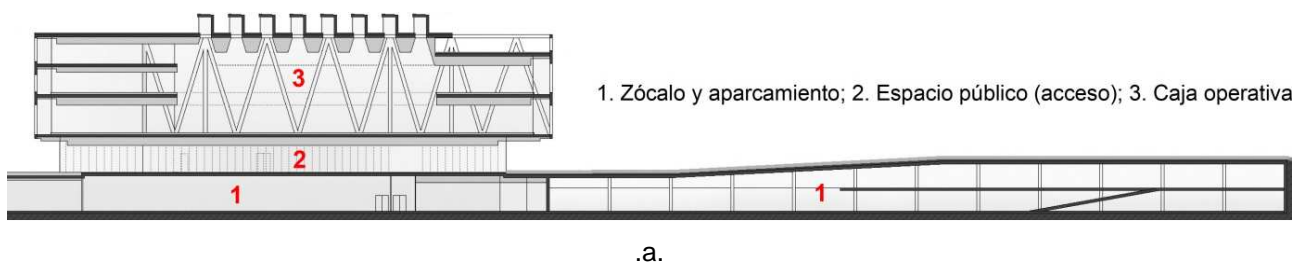
1. Introducción

El edificio para el Centro de Atención y Gestión de las Llamadas de Urgencia 112 Catalunya ubicado estratégicamente en Reus, junto a la autovía de Tarragona y la autopista AP-7, fue promovido el año 2008 por la Generalitat para centralizar cualquier tipo de emergencia en Cataluña mediante la llamada individual al número 112. De esta forma, se trata de una tipología arquitectónica que reúne todos los organismos encargados de atender y gestionar las emergencias de esta Comunidad de forma más eficaz y coordinada, además de ser el primer equipamiento público del país en obtener una "Certificación LEED" [1]. El edificio proyectado por ACXT-IDOM acoge todos los cuerpos implicados en la gestión de las llamadas de urgencia:

operadores 112, Mossos, Bomberos, Protección Civil, Sem y CECAT (Centro de Coordinación Operativa de Cataluña), entre otros. Para ello el proyecto, que cuenta prácticamente con una superficie construida de 15.000 m², se divide horizontalmente en tres niveles claramente diferenciados (Figura 1a), atendiendo a las necesidades funcionales y de seguridad del conjunto requeridas por la propiedad:

- Zócalo de servicios que alberga la zona de servidumbres e instalaciones principales del edificio, además del aparcamiento, donde este nivel tiene dos plantas adaptándose a la topografía del terreno.
- Espacio público o nivel de acceso.
- Caja operativa superior, con una superficie construida de 6.200 m², donde se ubican las salas de operadores de los distintos organismos en diferentes niveles (estratos horizontales).

El acceso al edificio se realiza desde el nivel intermedio (espacio público) y desde allí, mediante cuatro núcleos de circulación, se accede a la caja operativa. Cada uno de ellos confecciona uno de los distintos recorridos de comunicación (flujos verticales) del edificio conforme a los grados de privacidad y de seguridad requeridos: visitas externas, trabajadores, mantenimiento y autoridades [1]. Las pantallas centrales del núcleo de visitas se elevan por encima del edificio hasta una altura de 46 m para, además, dar lugar a la torre de telecomunicaciones (Figura 1b).



.b.

Figura 1. a) Sección longitudinal del conjunto, b) Vista de la caja operativa y torre de telecomunicaciones desde la fachada sur. (Redibujado sobre la base de [1] e imagen cedida por Adrià Goula, respectivamente)

Dichas necesidades proyectuales impulsaron que el edificio se caracterice por su diseño arquitectónico y, consecuentemente, por la estructura metálica de gran luz que conforman la caja operativa, ya que ésta gravita únicamente en los cuatro núcleos de circulación que realizan, también, la función resistente del volumen superior (núcleos de hormigón de base rectangular). Las características y dimensiones de la caja operativa (67,35x36,50 m en planta y 13,50 m de altura), acorde a las necesidades arquitectónicas expuestas, convergen en una “estructura innovadora que permite prescindir de pilares en el interior del edificio”, como expone el arquitecto del proyecto Marco Suárez [2]. Este aspecto favorece “la flexibilidad del edificio (plurifuncional) para incorporar futuras distribuciones, a la vez que se potencia una imagen de unidad entre todos los cuerpos operativos” [1].

La tipología estructural proyectada da respuesta a las cuestiones formales y funcionales del edificio 112 Reus (Figura 1b), y se compone de vigas de celosía de grandes dimensiones (luz y canto). Cuatro de ellas dispuestas dos a dos en los costados de los núcleos (vigas longitudinales L1-L4), mientras que las armaduras de cierre se sitúan en los laterales (vigas transversales T1 y T2), de acuerdo a la Figura 2. Las armaduras que se ubican en el perímetro (vigas longitudinales exteriores y vigas transversales) envuelven la caja operativa (estructura envolvente). Entretanto las dos vigas longitudinales interiores delimitan el patio central o atrio. Espacio alrededor del cual se articulan las distintas salas operativas, aumentando la coordinación y las sinergias entre los distintos operadores [1].

Consecuentemente, las vigas trianguladas que conforman la estructura resistente de la caja operativa se muestran al exterior (envolvente) e interior (atrio) del edificio. Un ejemplo de cierta relevancia de este concepto arquitectónico es el proyecto del Ayuntamiento de Benidorm, entre otros [3].

En este sentido, el creciente interés en los ámbitos de la Arquitectura e Ingeniería estructural en el uso de sistemas estructurales de acero, como elementos resistentes envolventes (propio de edificios en altura [4,5]), comporta que actualmente el concepto estructural adquiera un papel de mayor relevancia en el diseño y la estética del edificio. Por consiguiente, para poder hablar de una buena resolución arquitectónica del mismo, es necesaria la existencia de una estrecha relación del binomio que conforman ambas concepciones, diseño arquitectónico y concepto estructural, conocida, ésta, como «estética estructural» [5-10].

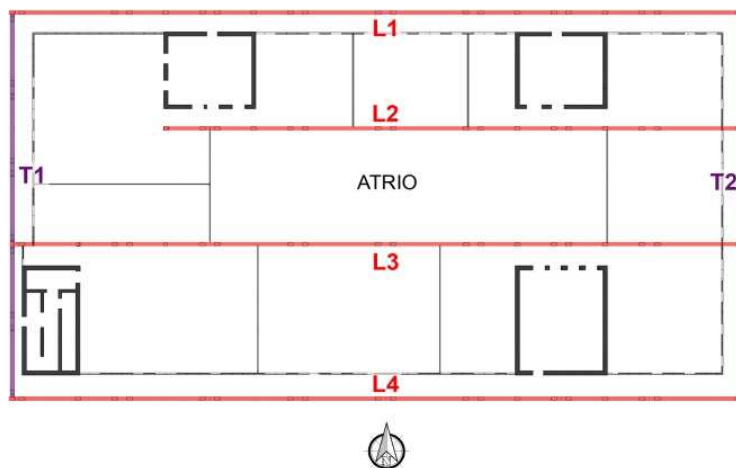


Figura 2. Disposición en planta primera de las armaduras en relación con los núcleos y atrio. La nomenclatura L1-L4 corresponde a las vigas longitudinales. T1 y T2 indican las vigas transversales. (Realización propia)

Es por ello que es oportuno citar en este sentido al ingeniero de caminos Javier Manterola: “para obtener un buen proyecto, la concepción espacial de un edificio depende también de su concepción resistente” [11,12].

Este nuevo contexto arquitectónico ha modificado significativamente los parámetros que rigen el papel de la estructura en la concepción del proyecto [13], aspecto de interés que se aborda en mayor profundidad a continuación acorde a la temática presentada, destacando claramente los aspectos relevantes de la relación arquitectura-estructura y el uso de herramientas BIM.

2. Relación arquitectura-estructura

Atendiendo al planteamiento de concepción previamente enunciado, desde un punto de vista formal y compositivo, la característica principal del edificio 112 Reus reside en la dependencia inequívoca entre arquitectura y estructura. Acentuando, así, la necesaria y estrecha colaboración entre arquitecto e ingeniero, para la obtención de un diseño integrador y altamente satisfactorio, a pesar de su complejidad funcional, formal y resistente.

El proyecto se caracteriza por disponer el sistema resistente como envolvente exterior, confeccionando una innovadora estructura contenedora, cuya relevancia reside en los aspectos que se indican a continuación, siendo básicamente:

- Optimización estructural de la composición, en función de la respuesta resistente.
- Utilización de pieles y fachadas resistentes, identificando la estructura como envolvente exterior.
- Liberación del espacio interior (diafanidad).

En definitiva, las estrategias de diseño estructural utilizadas en relación al desarrollo del proyecto dotan al concepto arquitectónico de coherencia, rigor e integridad, mediante la existencia de un único orden compositivo-estructural. De esta forma, se desarrolla el potencial de la fachada portante como sistema configurador del edificio [13].

Esta característica se potencia al disponer en la estructura perimetral una malla textil Serge Ferrari, atendiendo a cuestiones arquitectónicas, que genera la piel envolvente aprovechando las posibilidades que ofrece el concepto estructural. Dicha solución, no sólo aporta una plusvalía estética sino que además responde a las exigencias en materia de protección térmica, acústica y luminosa, mejorando el confort y la privacidad de los usuarios. Resolviendo, además, la problemática de compatibilidad clásica acerca de la colocación del cerramiento respecto al sistema resistente, al disponerlo en un plano ulterior (doble piel), generando, a su vez, un recorrido perimetral de servidumbre y mantenimiento de la estructura y/o fachadas (Figura 2), dotando de protagonismo a la estructura al utilizar su respuesta resistente como medio definidor de la concepción espacial [14].

En este contexto, destacar que la disposición de las vigas de celosía, de acuerdo a lo anteriormente expuesto, configuran espacios interiores diáfanos al separar las armaduras L1-L4 entre 10,80 y 14,40 m, según el caso, permitiendo una gran flexibilidad plurifuncional en cuanto a la distribución de las distintas salas y estancias de la caja operativa y nivel intermedio, atendiendo a las cuestiones arquitectónicas y funcionales de este singular e innovador edificio. El atrio responde a dicha sensibilidad proyectual, a la vez que actúa como punto central de entrada de luz natural (lucernarios). Estas estrategias son algunos ejemplos de diseño arquitectónico-estructural

que generan una indudable interacción bidireccional integral en todo momento entre ambas vertientes.

En efecto, la estructura adquiere, además de su función estática y resistente, un destacado papel en el diseño y la composición arquitectónica del proyecto, influyendo significativamente el concepto estructural en la concepción del mismo. Definiendo, pues, la forma de éste a través de geometrías que optimizan el comportamiento resistente, atendiendo a criterios de eficiencia estructural, se establece un sistema único e innovador, *ad hoc*, para un fin determinado [15]. Siendo la composición y el sistema resistente del edificio 112 Reus resultado de la eficiencia estructural (aunque no necesariamente estricta u óptima), basándose en la naturaleza de los esfuerzos para definir y configurar el proyecto reconociendo, formalmente, el flujo racional de las cargas, en relación al diseño de las vigas de celosía [15-24].

A su vez, el planteamiento formal y de optimización utilizado permite abrir innovadoras líneas de investigación para afrontar nuevos retos arquitectónicos mediante un mayor número de posibilidades proyectuales y de interés para las distintas partes [25]. En este caso, con el soporte informático de sistemas BIM (*Building Information Modeling*), los cuales se exponen a continuación.

3. Uso de herramientas BIM

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, para el correcto desarrollo del edificio 112 Reus, se utilizaron herramientas BIM tanto en el diseño como en el análisis estructural del mismo, que permitió realizar un proyecto integrador en ambas concepciones (diseño arquitectónico y análisis estructural).

3.1. Diseño arquitectónico

Dada la complejidad en el diseño y la construcción que conlleva este tipo de configuraciones, sobre la base de novedosas geometrías propias de los edificios de nueva generación, se deriva la necesidad de utilizar herramientas paramétricas de modelado compatibles con la tecnología y programas avanzadas de CAD, así como de análisis estructural. Estas nuevas y/o evolucionadas herramientas BIM, utilizadas en el desarrollo del proyecto (planificación, diseño, construcción y gestión), han permitido cambiar los procesos de producción y métodos de entrega en la industria de la Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operaciones industriales (AECO) [9,25], con una innovadora plataforma de trabajo.

En el caso concreto del edificio 112 Reus, el uso de este tipo de herramientas de modelado permitió la correcta y necesaria coexistencia formal entre arquitectura y estructura, implementando inequívocamente aspectos esenciales de colaboración, como los que se indican a continuación, entre arquitectos e ingenieros:

- Mayor eficiencia del equipo de trabajo.
- Flexibilidad de trabajo mediante el intercambio de información (exportación de modelos).
- Posibilidad de integración con funciones API (*Application Programming Interface*), para asegurar un mayor nivel de compatibilidad.

Para ello, se utilizó el *Revit Architecture* como herramienta de trabajo conjunta, bajo la coordinación del BIM Manager [26], con un único modelo para introducir los distintos sistemas configuradores del proyecto (arquitectura, estructura, instalaciones, etc.), (Figura 3).

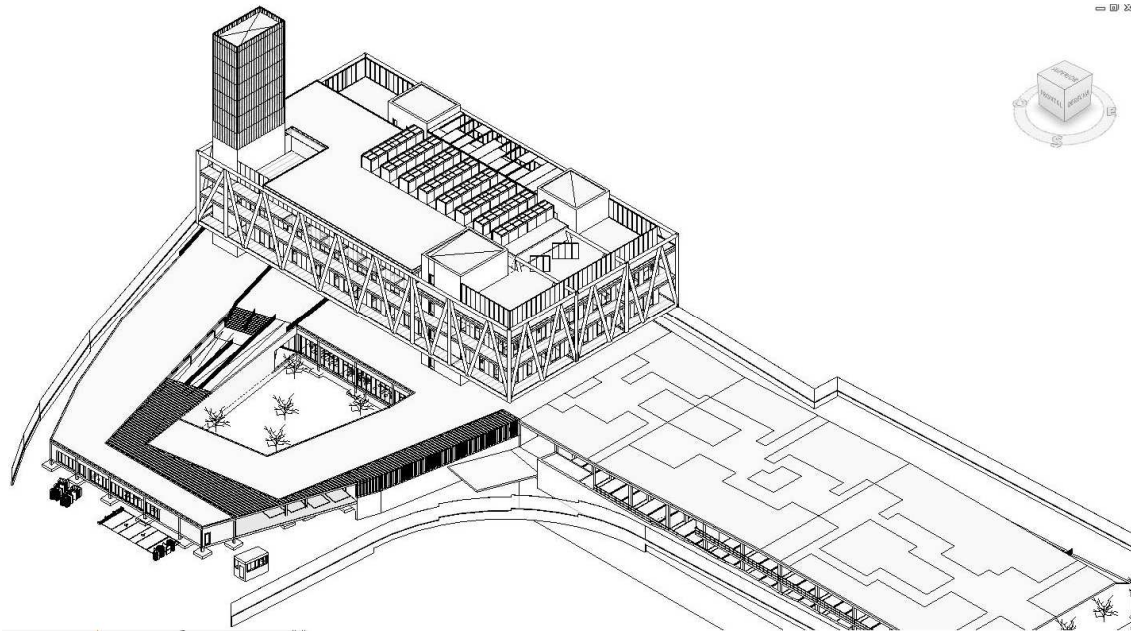


Figura 3. Vista general del modelo realizado. (Imagen propia del Revit Architecture)

Posteriormente, mediante el módulo *Revit Structures* se definieron con mayor detalle las características geométricas y mecánicas (material, dimensiones, etc.) de los distintos elementos resistentes, previo a la extensión de dicha plataforma para la interacción con productos de Ingeniería estructural CSI (*Computer & Structures, Inc.*). Exportando con *plugins* el modelo realizado a programas de análisis como SAP2000, SAFE y TEKLA, cuya aplicación se expone en el apartado 3.2, según el elemento resistente a analizar y dimensionar.

Una vez realizado el análisis final del sistema estructural completo, se importó la información obtenida (dimensionado) para actualizar el modelo inicial (*Revit Architecture*), detectando, así, los problemas e interferencias entre los distintos sistemas del proyecto, obteniendo una completa integración arquitectónico-estructural (Figura 4).



Figura 4. Sección longitudinal de la caja operativa (zona atrio). (Imagen propia del Revit Architecture)

3.2. Análisis estructural

Como se ha expuesto anteriormente, en el caso del modelo global o completo de la caja operativa, la geometría de éste se importó del *Revit Structures* al programa de análisis. En este caso, al SAP2000 (Figura 5) para realizar el análisis modal espectral oportuno.

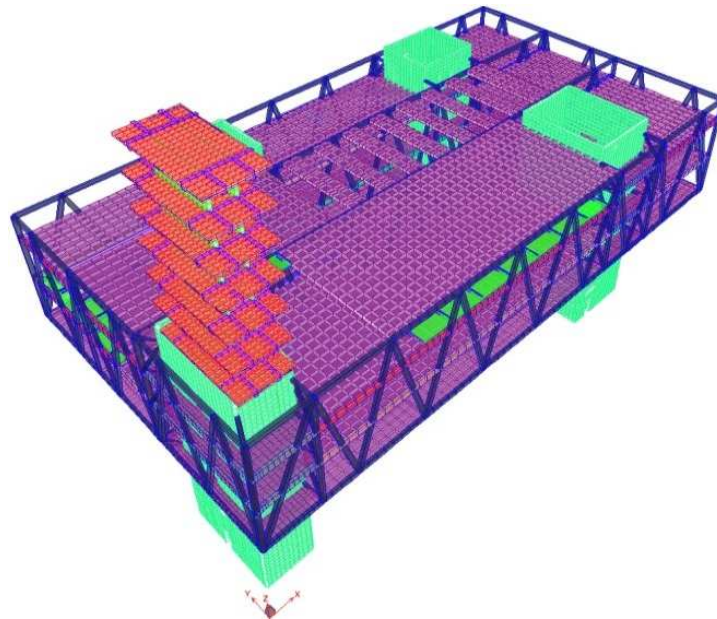


Figura 5. Vista 3D del modelo completo de la caja operativa. (Imagen propia del SAP2000)

Asimismo, acorde a lo indicado en el apartado 2, a su vez, la utilización del SAP2000 permitió intercambiar información con otros programas BIM/CSI para una mayor definición, análisis específico y dimensionado de los diferentes elementos resistentes: ETABS para la estructura reticular del zócalo, SAFE para la cimentación y núcleos de hormigón y TEKLA para detallar la estructura metálica, así como sus uniones, antes de su montaje en obra (Figura 6).

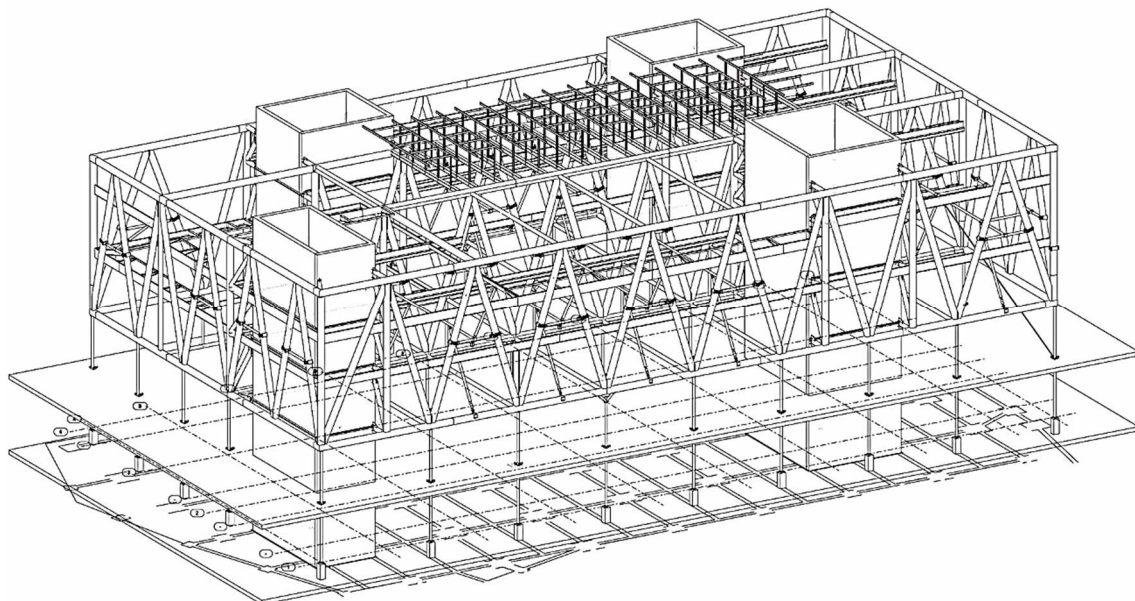


Figura 6. Vista 3D del proceso de montaje de la estructura metálica de la caja operativa. (Imagen propia del TEKLA)

Posteriormente, se traspasó la información de los modelos de análisis (dimensionado) al modelo arquitectónico inicial (*Revit Architecture*), de acuerdo a la metodología BIM aplicada y expuesta anteriormente (apartado 2).

En definitiva, fue posible el intercambio de datos entre modelos BIM/CSI de forma eficaz, aportando un valor añadido al proyecto, configurando en todo momento un necesario diseño integrador, dada la complejidad tecno-tecnológica y de gestión del mismo.

En este sentido, es conveniente destacar que la utilización de dichas herramientas BIM no sustituyó el criterio del responsable del diseño y análisis del sistema resistente, ya que se requirió un alto conocimiento estructural para abordar el correcto dimensionado del mismo. Siendo necesario definir adecuadamente las características geométricas y mecánicas de los distintos elementos estructurales, así como las condiciones de contorno y dimensionado oportunas, entre otros aspectos de relevancia.

4. Conclusiones

Para concluir, se expresan las reflexiones surgidas del trabajo desarrollado, y presentado, para el diseño y análisis del edificio 112 Reus, mediante el uso de herramientas BIM conjugando el diseño arquitectónico con el concepto estructural:

- a) Constatar, acorde al resultado final obtenido, que la estructura proyectada responde satisfactoriamente a las cuestiones formales y necesidades arquitectónicas, así como funcionales, resistentes y constructivas del proyecto.
- b) Subrayar que el edificio ofrece, desde las estrategias de diseño estructural utilizadas, una mayor integridad conceptual, dotando de coherencia y rigor la forma compositiva, potenciando la relación arquitectura-estructura.
- c) Mencionar que si bien la estrecha relación profesional entre arquitecto-ingeniero es necesaria en el desarrollo de cualquier proyecto, cuando la propuesta arquitectónica sea menos frecuente es fundamental y esencial intensificar dicha colaboración [12], para garantizar un resultado satisfactorio en todos los aspectos.

En este sentido, la utilización de herramientas paramétricas y programas BIM facilitó la mencionada relación entre profesionales que, a la vez, permitió hacer más eficiente el desarrollo del proyecto. Disminuyendo, así, la pérdida de tiempo en el diseño y la construcción del mismo [9].

- d) Enfatizar que el edificio proyectado constituyó un reto técnico y tecnológico de gran magnitud, tanto en fase de proyecto como durante el proceso de ejecución (Figura 7). Actualmente, el edificio 112 Reus es un referente en los ámbitos de la Arquitectura e Ingeniería estructural (Figura 8).



Figura 7. Vista general de la estructura metálica en la fase final de su ejecución. (Imagen propia)



Figura 8. Vista de la fachada lateral este del edificio 112 Reus. (Imagen cedida por Adrià Goula)

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a la empresa IDOM la disposición de los medios humanos y técnicos requeridos en mi etapa como consultor de estructuras arquitectónicas en ACXT-IDOM. Algunos de los resultados de este prolífero período se muestran en las realizaciones propias (Figuras), fruto del proceso natural de desarrollo y definición de una estructura resistente de estas características.

En este sentido, hacer una mención especial a los arquitectos Marco Suárez y Roberto Molinos por compartir tantas reflexiones sobre conceptos arquitectónicos y estructurales avanzados, surgidas de las largas, y tendidas, conversaciones mantenidas. Asimismo, agradecer al resto de profesionales que participaron en el proyecto por su disposición a trabajar en equipo en todo momento.

Por último, agradecer al arquitecto Adrià Goula su aportación con las fotos cedidas del edificio 112 Reus, que han permitido documentar gráficamente parte de la presente comunicación.

Referencias

- [1] M. Suárez. Centro de Atención y Gestión de Llamadas de Urgencia 112 Catalunya. Edificio 112 Reus. Convocatoria para la selección de edificios españoles para participar en SB11 Helsinki, 2011.
- [2] S. Sans. Más de 50 millones para el edificio 112 de Reus. LaVanguardia.es, 19 de octubre de 2009.
- [3] L. Basset, A. Guardiola. Celosías. RiuNet repositorio. Universitat Politècnica de València, 2011.
- [4] R. Señís, R. Sastre, R. Brufau, E.C. Carbajal. Estudio para la optimización de mallas estructurales de acero envolventes de edificios en altura según sus solicitaciones, en base al análisis de sus líneas isostáticas. Informes de la Construcción, 66(EXTRA-1) (2014) m005.
- [5] R. Señís. La utilització de les línies isostàtiques com a criteri de disseny per a millorar l'eficiència de la trajectòria de les malles estructurals d'acer envolupants d'edificis en alçada. Quaderns d'Estructures (dijous a l'ACE), 51 (2014) 38-44.
- [6] R. Señís. Isostatic lines' study to optimize steel space grid envelope structures for tall buildings according to their solicitations. Proceedings of the 2nd International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering. Granada (2013) 156-161.

- [7] R. Señís. Isostatic lines' study to optimize steel space grid envelope structures for tall buildings according to their solicitations. Proceedings of the 2nd International Conference on Structures and Architecture. Guimarães (2013) 631-635.
- [8] R. Señís, R. Sastre, R. Brufau, E.C. Carbajal. Ensayos con túnel de viento de edificios "romo" de base circular para optimizar mallas espaciales envolventes de edificios en altura. Actas del VI Congreso Internacional de Estructuras de ACHE. Madrid (2014) 1-6.
- [9] R. Señís. Optimización de mallas estructurales de acero envolventes de edificios en altura. Análisis de las direcciones principales identificadas por sus líneas isostáticas. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, 2014. ID: <http://www.tdx.cat/handle/10803/146178>.
- [10] R. Señís. Wind tunnel tests around bluff-bodies of circular base to optimize space grid envelope structures for high-rise steel buildings. Proceedings of the 3rd International Conference on Structures and Architecture. Guimarães (2016) 1247-1254.
- [11] M. Aguiló, J. Manterola, M. Onzain, J. Rui-Wamba. Javier Manterola Armisen: Pensamiento y obra. Editado por la fundación Esteyco, 2004.
- [12] J. Manterola. La estructura resistente en la arquitectura actual (continuación). Informes de la Construcción, 57(499-500) (2005) 9-35.
- [13] A. Bernabeu. Estrategias de diseño estructural en la arquitectura contemporánea. El trabajo de Cecil Balmond. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 2007.
- [14] M. Aguiló. Invariantes estéticos de la ingeniería civil. Revista de Obras Públicas, 3426 (2002) 59-68.
- [15] R. Señís. Criterios de diseño y análisis estructural del Centro de Atención y Gestión de Llamadas de Urgencia 112 Catalunya Reus. Informes de la Construcción, 68(541) (2016) e139.
- [16] R. Brufau. La flexió a les estructures metàl·liques. Les encavallades. Escola Professional Josep M^a Sert. Barcelona: COAC, 2004.
- [17] J. Estévez, E. Martín. Influencia de los parámetros de diseño en el rendimiento estructural de vigas de celosía. Informes de la Construcción, 54(479) (2002) 17-28.
- [18] R. Goñi. Cómo construir un edificio-puente. Aspectos estructurales. Revista de Edificación, 36-37 (2007) 31-36.
- [19] A. Muttoni. The Art of Structures: Introduction to the Functioning of Structures in Architecture. EPFL Press, Laussane, 2011.
- [20] R. Señís, R. Brufau, R. Sastre, E.C. Carbajal. Comparative study of trusses to determine the influence of the geometry in the structural efficiency, according to the directions of the principal stresses. Proceedings of the 3rd International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering, Sevilla (2015) 159-168.
- [21] J. Estévez, E. Martín. Análisis del rendimiento estructural de vigas Vierendeel. Informes de la Construcción, 54(483) (2003) 27-37.
- [22] F. Escrig, J. Sánchez. Diseño y análisis de una gran cubierta y criterios de diseño. Informes de la Construcción, 55(490) (2004) 29-37.
- [23] B. de Jager, R.E. Skelton. Stiffness of planar tensegrity truss topologies. International Journal of Solids and Structures, 43 (2006) 1308-1330.
- [24] W. Xu, L.-H. Han, Z. Tao. Flexural behaviour of curved concrete filled steel tubular trusses. Journal of Constructional Steel Research, 93 (2014) 119-134.
- [25] B. Succar. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction, 18(3) (2009) 357-375.
- [26] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers and Contractors. John Wiley & Sons, Inc. Second Ed. New Jersey, 2011.