

TRABAJO FINAL DE GRADO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS

ALUMNA: BAÑULS COTS, PAULA
TUTOR: FENOLLOSA FORNER, ERNESTO JESÚS



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

RESUMEN

La Torre Diagonal Zero Zero proyectada por el estudio de arquitectura EMBA, con el arquitecto Enric Massip-Bosch a la cabeza, en 2011, se ha convertido en un hito de la arquitectura contemporánea para la ciudad de Barcelona, formando parte del famoso *skyline* de la *Ciudad Condal*.

La privilegiada ubicación de la torre y la forma de implantarse en el territorio es uno de los puntos fuertes de este proyecto, siendo su forma, de prisma de base romboidal, que se asemeja a un diamante, una de las características principales de este proyecto.

La torre, está formada por veinticuatro plantas de oficina, de planta abierta, que se organizan alrededor de un núcleo central de hormigón armado, que posee una doble función, la primera, la estructural, formando la columna vertebral del edificio, la cual, recibe las cargas y las transmite a la cimentación y, segundo, albergando en su interior la zona de servicios y comunicación vertical, favoreciendo espacios diáfanos alrededor de éste.

La estructura es sencilla, el núcleo central se conecta a los soportes en la fachada mediante la losa de forjado.

El análisis de la forma de trabajo de la estructura, permite conocer perfectamente las solicitaciones y las deformaciones del conjunto, proporcionando resultados para poder elaborar unas conclusiones verídicas y determinar el adecuado dimensionamiento de todo el conjunto estructural.

PALABRAS CLAVE: *“tubo en tubo”, bambúes, diáfano, núcleo central, Diagonal Zero Zero.*

RESUM

La Torre Diagonal Zero Zero, projectada per l'estudi d'arquitectura EMBA, amb Enric Massip-Bosch al capdavant, en 2011, s'ha convertit en un símbol de l'arquitectura contemporània per a la ciutat de Barcelona, formant part del famós *skyline* de la *Ciutat Comtal*.

La privilegiada ubicació de la torre y la forma en la que s'ha implantat en el territori és un dels punts forts d'aquest projecte, sent la seua forma, de prisma de base romboïdal, que s'assembla a un diamant, una de les característiques principals del projecte.

La torre, està formada per vint-i-quatre plantes d'oficines, de planta oberta, que s'organitza al voltant d'un nucli central de formigó armat, que poseix una doble funció, la primera, la estructural, formant la columna vertebral de l'edifici, la qual, rep les càrregues y les transmet a la cimentació i, la segon, albergant en el seu interior la zona de serveis i la comunicació vertical, afavorint els espais diàfans al voltant d'este.

La estructura es sencilla, el nucli central es connecta al soports en la façana a través de la losa del forjat.

L'anàlisi de la forma de treballar de la estructura, permet conèixer a la perfecció les sol·licitacions i les deformacions de tot el conjunt, proporcionant resultats per a poder elaborar unes conclusions verídiques i determinar el adequat dimensionament de tot el conjunt estructural.

PARAULES CLAU: *“tubo en tubo”, bambus, diàfan, nucli central, Diagonal Zero Zero.*

ABSTRACT

The Diagonal Zero Zero Tower, whose architect is Enric Massip-Bosch, from EMBA Architecture Studio, was projected in 2011 and it has become a milestone for Contemporary Architecture in Barcelona as being a major element in the Catalanian capital skyline.

Its privileged location and its insertion in the territory are the main strengths of this project, being its shape of prism with romboidal base similar to a diamond, one of the principal characteristics of the project.

The tower it is formed by twenty-four floors of offices, with opened-floors, organized around the central nucleus of concrete that has a double purpose, the first, the structural, making the vertebral column of the building, that it receive the loads and it transmit it to the foundations and, the second, it harbor in its interior the services area and the vertical communications, favoring the clear spaces around it.

The structure is easy, the central nucleus is connected with the columns of the facade with the cement floor.

The analysis of the structural work allow to know what are the solicitations and the deformations of all the whole, providing a results for make an appropriate conclusions and it can establish the correct sizing of all the whole of the structure.

KEY WORDS: *“tube in tube”, bamboos, clear, central nucleus, Diagonal Zero Zero.*

OBJETIVOS

En el trabajo realizado a continuación se va a estudiar el edificio Torre Diagonal Zero Zero, emplazado en la Avenida de la Diagonal de la ciudad de Barcelona y proyectado por el estudio de arquitectura EMBA, con Enric Massip-Bosch a la cabeza junto con una estrecha colaboración del estudio de ingeniería MC2, con Julio Martínez Calzón al frente.

En primer lugar, se han elaborado unos resúmenes sobre el arquitecto Enric Massip y sobre las obras más importantes de su carrera profesional.

A continuación, se estudia el proyecto arquitectónico desde diferentes aspectos, un primer apartado, el funcional, en el que se explica el edificio desde el punto de vista arquitectónico, recorriendo todas las estancias y explicando los diferentes usos a los que está sometido el edificio.

El estudio de la construcción y de la estructura es una de las partes fundamentales del cuerpo del trabajo, en las cuales se estudia parte por parte todos los elementos estructurales desde el punto de vista de la construcción y del de la estructura.

Posteriormente, se dedica a un apartado importante a la modelización de la estructura del edificio en el programa de Architrave, la que posteriormente se calculará y se sacarán unos resultados de este cálculo, los cuales serán analizados y explicados para una correcta comprensión de todo el conjunto.

Finalmente, se elaborarán las conclusiones finales de todo el trabajo realizado.

INDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.

- 1.1. Biografía del arquitecto.
- 1.2. Obras del arquitecto.

2. EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO.

- 2.1. Idea de proyecto.
- 2.2. Emplazamiento e implantación.
- 2.3. Organización del programa funcional.
- 2.4. Materialidad y construcción.

3. CONSTRUCCIÓN Y PROCESO CONSTRUCTIVO.

- 3.1. Definición de los elementos constructivos.
- 3.2. Proceso constructivo del edificio.
- 3.3. Información técnica de la edificación.

4. ESTRUCTURA: DEFINICIÓN Y MODELIZACIÓN.

- 4.1. Definición y forma de trabajo de la estructura.
- 4.2. Cálculo de la carga de viento.
- 4.3. Cálculo de cargas permanentes y variables.
- 4.4. Combinación de cargas.
- 4.5. Modelización de la estructura.

5. MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ARCHITRAVE Y APLICACIÓN DE LAS CARGAS.

- 5.1. Proceso de modelización estructural en Architrave.
- 5.2. Detección de problemas durante la modelización estructural.

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

7. CONCLUSIONES FINALES.

8. BIBLIOGRAFÍA.

9. ÍNDICE DE IMÁGENES.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. BIOGRAFÍA DEL ARQUITECTO

Enric Massip-Bosch es un arquitecto nacido en Barcelona en el año 1960.

Estudió en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB) en la Universidad Politécnica de Catalunya.

Actualmente es investigador y profesor asociado en el Departamento de Proyectos Arquitectónicos en la UPC. Desde el año 1987 hasta el 1989 estuvo becado por el Gobierno de Japón en la Universidad Politécnica de Tokio-TOKODAI, donde trabajó en el estudio de Kazuo Shinohara.

Enric Massip ha dado conferencias en multitud de escuelas y países, entre las cuales destacan, Madrid, Venecia, Bucarest, Oporto, Budapest, Maastrich, Bérgamo, Viena, Nueva York, París y evidentemente Barcelona. Además, ha sido invitado a diferentes escuelas en todo el mundo, en Europa, Asia y América.

Es director y cofundador del Máster de Diseño Urbano en San Petersburgo Building the City Now, co-organizado por el CISR-Centre for Independent Social Research/SREDA y acreditado por la UPC de Barcelona.

Su trabajo teórico ha sido publicado en diferentes libros y artículos, entre los cuales destacan, Architecture on the horizon (Londres: RIBA, 1996), Concealed Complexities (Tokio: Toto, 1999) y Viviendas Experimentales, 1971-1994 (Barcelona: Ediciones UPC, 1996).

Más tarde, en el año 1990, funda el estudio de arquitectura EMBA (Estudi Massip-Bosch Arquitectes). Con el estudio, ha ganado diversos concursos arquitectónicos, entre ellos, destacan, la Torre Diagonal Zero Zero en los años 2000-2001, el nuevo centro penitenciario de Tàrrega en los años 2006 a 2010, la sede y centro logístico de TJ Collection de Moscú en los años 2007-2010 y el edificio de usos mixtos de Vullparelles en Sant Cugat del Vallés desde los años 2003 a 2009.

El estudio EMBA, ha hecho diferentes exposiciones tanto fuera como dentro de nuestro país, como en el RIBA de Londres en el año 1996, en

Melbourne, Oporto, Sofía, París, en la Bienal de Arquitectura de Venecia en el año 2000 y la Bienal de Arquitectura de Bucarest en el 2005.

Enric Massip ha publicado en la Guía de la Arquitectura Moderna (1880-2007), y en ArqCat (2008).

En estos últimos años, las obras de EMBA que han sido galardonadas son, entre otras, la Remodelación de la Place Republique en Leucate en Francia, el Instituto de enseñanza secundaria de Girona, obra que fue seleccionada en los Premis d'Arquitectura de Girona en el 2007, el centro de asistencia primaria en Sabadell, que fue seleccionada en la Tercera Biennial d'Arquitectura del Vallès en el año 2005.



Imagen 1.1.1. Fotografía del arquitecto

Enric Massip ha sido entrevistado recientemente para diferentes fuentes informativas, en las cuales, ha explicado su forma de concebir la arquitectura actualmente.

Entre ellas, destacan algunas preguntas como:

“¿Cree que durante esta crisis financiera mundial podemos encontrar una manera de reconsiderar las formas en que podemos diseñar y construir tanto los edificios como el entorno urbano?”

El vivir en uno de los países que más se ha desacreditado por la crisis no sirve para nada, es doloroso, sería devastador para muchas personas, para muchas empresas, para muchas sociedades, pero no va a ser higiénico, no es una oportunidad para esta meritocracia, de la que estaba hablando antes. Sólo aquellos que tienen la posibilidad de sobrevivir lo harán, pero no veo la oportunidad de paradigma, todo el mundo está hablando de cambios y paradigmas, pero no creo que ello esté sucediendo y no creo que sea posible. Si nos fijamos en la forma en la que el capitalismo ha participado en las últimas décadas, puede verse que no hay ningún cambio en esta dirección, porque, en los países que lo están llevando a la economía ahora son Brasil, China e India; los que están tratando de alcanzar los mismos objetivos y que tienen África, que está creciendo de forma espectacular en los últimos años. Los últimos cinco votos a favor de África han crecido enormemente y, éste es el futuro del capitalismo, por lo que, probablemente, dentro de cincuenta o sesenta años podremos hablar sobre el cambio de paradigma, pero aún no, y esta crisis sólo será, más que una gran cantidad de dolor, un montón de sufrimiento. Mientras tanto, yo no creo que las cosas vayan a cambiar, las cosas básicas que generan la ciudad o crean las oportunidades de la arquitectura.”

“¿Qué aporta Enric Massip a su equipo? ¿y su equipo a Enric Massip?”

Los proyectos de EMBA se hacen con diálogo. Diálogo con todos los agentes, clientes, colaboradores, usuarios, pero sobretodo diálogo dentro del propio estudio. Mi rol a menudo consiste más en hacer preguntas o plantear las posibles cuestiones importantes del proyecto que en dar respuestas concretas. Aunque por supuesto las decisiones finales las tomo yo, no lo hago nunca sin consultar, y sin ponerlas a prueba todo lo necesario hasta asegurar que el resultado integra todos aquellos aspectos que nos interesan. Y en este proceso el trabajo, las ganas y la creatividad de mis colaboradores son imprescindibles para conseguir los mejores resultados.”

Entrevista extraída de la Revista PANEL Omega Z, Arquitectura y Arte.

Enric Massip está muy concienciado en la forma de concebir la arquitectura hoy en día. En una reciente entrevista, se le pregunta por su opinión respecto al estado de los arquitectos en la sociedad actual, a lo que Massip responde de forma clara, exponiendo que, en su opinión, los arquitectos se encuentran en una posición privilegiada, alegando que en muchas ocasiones, se encuentran cerca del poder. Esta concepción empieza con Cerdà, cuando las personas estaban interesadas en los planes urbanísticos de extensión de la ciudad, y que ahora, perdura en nuestros días. Tanto en debates públicos como en las noticias actuales, los arquitectos son muy importantes, sobretodo en los medios de comunicación. Esta aproximación entre los arquitectos y el poder, relación tradicionalmente conocida, se extiende ahora también a los nuevos partidos políticos.

En estas relaciones se basa, el modo de afrontar nuevos retos, manteniendo un vínculo entre administraciones públicas y entes privados.



Imagen 1.1.2. Fotografías del arquitecto

1.2. OBRAS DEL ARQUITECTO

El estudio de arquitectura EMBA, desde su creación en el año 1990, ha estado entre uno de los más importantes estudios, tanto como dentro del territorio nacional, como internacional, con proyectos en Arabia Saudí, Taiwan, Andorra, Japón y Francia.

EMBA, especialmente ha estado presente tanto en proyectos públicos como privados dentro de Catalunya, especialmente de la provincia de Barcelona, en edificaciones aportando a esta ciudad obras que le confieren un sello de identidad fuerte e innovador.

En algunas de sus entrevistas, se le ha preguntado por la diferencia tan grande que existe entre sus proyectos, diferencias que van desde la metodología estructural y constructiva hasta la gran variedad de formas diversas que presentan cada uno de los proyectos que ha elaborado este estudio de arquitectura.

Cierto es, que cada obra de EMBA, no tiene nada que ver con ninguna de las anteriores, siendo una difícil tarea poder identificar en un primer golpe de vista el autor de dichas obras. No presenta una seña de identidad fuertemente visible, cosa que lo hace reinventarse cada vez que aborda un nuevo encargo.

Con lo que respecta a la obra objeto de estudio, la Torre Diagonal Zero Zero, el arquitecto responde a una serie de cuestiones relacionadas con este proyecto. Una de las más destacables, podría ser:

Entrevistador - La Diagonal Zero Zero está cerca del "22 @" ¿que es el proyecto de remodelación de la antigua zona industrial? ¿Qué es lo más importante en el proceso de reconstrucción de las zonas industriales: es lo que tiene la forma de gestionar las relaciones entre los sectores público y privado o sobre la protección del patrimonio industrial?

EM-B - Control de la Tierra y de la colaboración pública y privada es muy importante.

La política de uso de la tierra que fue adoptada no canceló el uso de la industria, ésta cambió por su tecnología. Existe la vivienda, por lo que no es el uso mixto del suelo. No estoy satisfecho con el resultado arquitectónico del edificio y el espacio, sino como una estrategia, la que considero muy buena, el procedimiento público y privado es absolutamente necesario para contar con la colaboración entre ambos sectores.

Entrevista extraída de la Revista PANEL Omega Z, Arquitectura y Arte.

La Torre Diagonal Zero Zero, es un proyecto en el cual, la sostenibilidad es una de las premisas de proyecto. A la pregunta a Enric Massip de que si es posible tener edificios verdes sin una política urbana sostenible, Massip responde que, se puede tener una edificación verde fuera de la ciudad verde, no tiene sentido aplicar última tecnología en la fabricación de un edificio verde, como el ahorro de energía, el reciclaje de las aguas, entre otros factores, si se necesita un medio privado de transporte para acceder a dicho edificio, es decir, las infraestructuras de transporte deben estar orientadas hacia la sostenibilidad. Este ámbito de la sostenibilidad, es una cuestión de relación de los valores públicos y privados, con el objeto de desarrollo de la ciudad.

En resumen, Enric Massip, está a favor de la sostenibilidad en el ámbito que implica la proyección de edificios verdes, pero hay una parte que es esencial a la hora de proyectar este tipo de edificios que le corresponde a las relaciones entre ámbitos públicos y privados.



Imagen 1.1.3. Fotografía de los integrantes de EMBA Architects



RASCACIELOS

— **2007-2010** TORRE DIAGONAL ZERO ZERO.
Barcelona.



— **2010-Actualidad** HOTEL Y CENTRO COMERCIAL.
Ar Riyadh, Arabia Saudi.



— **2012-Actualidad** VIVIENDAS D ELUJO Y CENTRO COMERCIAL.
Tainan, Taiwan.



EDIFICIOS PÚBLICOS

— **2006-2010** AYUNTAMIENTO DE SANTA COLOMA DE GRAMENET.
Santa Coloma de Gramenet.



— **2010** BIBLIOTECA CENTRAL DE BARCELONA.
Barcelona.



— **2010** NUEVO CENTRO PENITENCIARIO.
Tàrraga. Lleida.



— **2002** NUEVO PARLAMENTO DE ANDORRA.
Andorra la Vella. Andorra.



EDIFICIOS RESIDENCIALES

— **2005-2010** EDIFICIOS DE USO MIXTO.
Sant Cugat del Vallès.



— **2002-2010** VIVENDAS Y CENTRO COMERCIAL.
Montcada. Barcelona.



— **2001-2005** SEAVIEW RESIDENTIAL DEVELOPMENT.
Tiana, Barcelona.



— **2008-Actualidad** EDIFICIO RESIDENCIAL Y PÚBLICO
Barcelona.



EDIFICIOS DE OFICINAS

— **2005-2010** BUSINESS ECO-PARK.
Sant Cugat del Vallès.



EDIFICIOS EDUCATIVOS

2003-2006 INSTITUTO DE FONTAJAU.
Girona.



2009-2011 ESCUELA DE PRIMARIA.
Tornelló. Barcelona.



1998-2000 CENTRO DE INVESTIGACIÓN.
Manresa, Barcelona.



2002 INSTITUTO UNIVERSITARIO.
Dornbirn. Austria.

DISEÑO URBANO



2005-2007 RENOVACIÓN DE LA PLAZA DE LA REPÚBLICA.
Vila de Leucate. Francia.



2013-2007 RENOVACIÓN DE LA PLAZA GAMBETTA.
Carcassonne. Francia.



2011 NUEVA RENOVACIÓN PLAZA DE LA ESTACIÓN Y EDIFICIO MULTIDISCIPLINAR.
Getxo. País Vasco.



PLANEAMIENTO URBANO

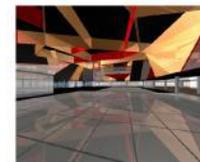
2007 PLANEAMIENTO URBANO DE CUNIT.
Cunit. Tarragona.



2011 PLANEAMIENTO URBANO FREIHANM-NORD.
Munich. Alemania.

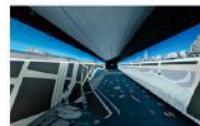


2012 PLANEAMIENTO URBANO DE TOULOSSE.
Toulouse, Francia.



EXPOSICIONES

2004 PABELLÓN ESPAÑOL EXPO DE AICHI.
Aichi. Japón.



2007 FRONTERAS EXPOSICIÓN Y CICLO DE CONFERENCIAS.
Barcelona.



2007-2009 EXPOSICIÓN DE LA GRAN CIUDAD CHINA.
París-Barcelona.

Imágenes 1.1.4. Imágenes del eje cronológico

2. EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

2.1. IDEA DE PROYECTO.

La Torre Diagonal Zero Zero es la nueva sede de la empresa española Telefónica en Cataluña.

Este proyecto de construcción empezó en 2009 y culminó en el año 2011.

La Torre Diagonal Zero Zero de Telefónica es, junto con la torre de comunicaciones futurista de Montjuic, encargada a Santiago Calatrava, sede que también fué proyectada para Telefónica para la retransmisión televisiva de los Juegos Olímpicos de Barcelona de 1992, que simboliza la importancia de Cataluña para la empresa Telefónica.

De la misma forma, se encarga al estudio EMBA Architects la proyección de una torre que transmitiera la misma idea que la torre futurista de Montjuic, la importancia de Barcelona para esta empresa, mejorando su presencia en esta comunidad.

La empresa de Telefónica es una de las principales empresas operadoras de telecomunicaciones en todo el mundo. Esta empresa resuelve problemas y facilita soluciones integradas de entretenimiento, comunicación e información en Europa, China y en América Latina, presente en 24 países.

La Diagonal Zero Zero, posee un diseño vanguardista, que, junto con la ubicación en la que se encuentra, el inicio de la Avenida de la Diagonal, representa el espíritu y los valores de la empresa para la que se proyecta, global, eficiente e innovadora. Además de este símbolo que representa, la torre representa un hito en el desarrollo de esta empresa en Cataluña, ya que Barcelona se ha convertido en el punto de encuentro entre los continentes en los que está presente.

El edificio ha sido premiado en numerosas ocasiones, recibiendo galardones tan prestigiosos como:

- Mejor edificio comercial en el año 2011.
- Premio al mejor rascacielos nuevo en el año 2010.
- Primer premio al mejor proyecto urbano de actualidad económica en el año 2009.

- Candidato CTBUH PREMIOS al mejor edificio alto en el año 2011.
- Primer premio Catalunya de Construcción y Gestión de la Construcción en el año 2011.

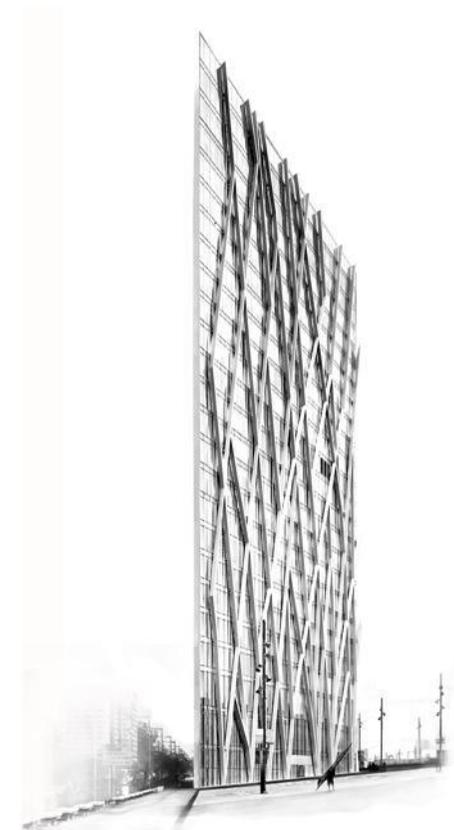


Imagen 2.1.1. Dibujo exterior de proyecto

2.2. EMPLAZAMIENTO E IMPLANTACIÓN

La Torre Diagonal Zero Zero, se emplaza en la ciudad de Barcelona, ciudad con una fuerte historia urbana, que se debe tener presente a la hora de implantar cualquier tipo de proyecto, desde los más importantes que crean un hito en la estructura urbana, hasta los proyectos de menor envergadura, de menor escala.

A continuación se hace un breve resumen de la historia de esta ciudad.

El tratamiento urbano de la ciudad de Barcelona ha evolucionado, y han ido sobreponiéndose estratos desde la antigua ciudad romana hasta hoy en día, y toda la historia urbanística ese vé aún hoy en día. En el casco antiguo de esta ciudad se puede ver el *cardo maximus* y el *decumanus*, llamado actualmente plaza de San Jaime, epicentro de la vida política de esta ciudad.

Los siguientes crecimientos son los de la ciudad medieval, y las murallas del Borne o del Raval, éstas también siguen siendo relativamente visibles hasta los límites de este casco antiguo.

Este límite anterior, fué el límite de Barcelona hasta 1859, cuando la ciudad decidió prescindir de las murallas y crecer hasta extenderse hasta los pueblos de alrededor, hoy en día actuales barrios de la ciudad de Barcelona, como el barrio de Gracia, el del Poblenou, l' Horta o el famoso barrio de Sants.

Este crecimiento siguió las directrices del plan de ensanche proyectado por Ildefonso Cerdà, poplarmente conocido como el Plan Cerdà, con la famosa malla ortogonal con todos los cruces achaflanados.

La Avenida de la Diagonal, diseñada también por Cerdà, es una de las ggrandes avenidas del ensanche, ésta avenida, junto con la avenida de la Meridiana, corta oblicuamente la estructura tan reticular que posee el ensanche de Barcelona.

Esta avenida tiene su origen en el distrito de San Martín y su final en el barrio de Les Corts, en la Ronda de Dalt.

La avenida de la Diagonal mide casi once kilómetros de largo, con una sección constante de 50 metros de ancho.

Durante los siglos XIX y XX, los diferentes regímenes que asentaron en la ciudad de Barcelona trataron de cambiar el nombre de esta famosa avenida, la cual tuvo nombres como: Gran Avenida Diagonal, nombre que le dio Vicor Balaguer junto a Ildefonso Cerdà. Posteriormente, pasó a llamarse Avinguda de Argüelles en el año 1874, en el 1922 se renombró como Avinguda de la Nacionalidad Catalana, dos años más tarde pasó a llamarse Avenida de Alfonso XIII, durante la dictadura de Primo de Rivera, años más tarde, durante la segunda república, se llamó Avenida del catorce de Abril, y así sucesivamente, tuvo diferentes nombres dependiendo del gobierno de la ciudad, hasta finalmente pasarse a llamar Avenida Diagonal, desde el año 1979 hasta la actualidad.

Esta avenida posee hitos arquitectónicos destacables de la ciudad de Barcelona, como son el Palacio del Barón de Quadras, proyectado por Josep Puig i Cadafalch, la iglesia de estilo bizantino del Carmen, de Josep Domènech Estapà, la casa Terrades, también de Puig i Cadafalch, La Torre Banco de Sabadell, de Francesc Mitjans y la famosa Torre Agbar, de Jean Nouvel, junto a la Plaza de las Glòries Catalanas.

Actualmente, se ha iniciado un proceso participativo, llevado a cabo por el alcalde Jordi Hereu, para la mreclamada Reforma de esta avenida, para unir el tranvía de Trambaix y el de Trambesòs, una consulta popular en Mayo de 2010, presentando dos alternativas de propuesta, la de Rambla y la de Boulevard. Esta consulta tuvo una muy baja participación ciudadana, rechazando las propuestas ofrecidas por el ayuntamiento.

El edificio de estudio, es la última incorporación a la línea del horizonte de Barcelona, contribuyendo a la formación de un *skyline* más poderoso de esta ciudad.

La Torre Diagonal Zero Zero está emplazada en el inicio de una de las avenidas más importantes de Barcelona, la Avenida de la Diagonal, en un solar de unos 4000 m².

La forma de atacar el emplazamiento debía ser muy cuidadosa, ya que en en sus alrededores, se encuentran edificios de gran prestigio como son el Fórum de Herzog y De Meuron, y de la futura Spiralling Tower de Zaha Hadid.

El edificio es visible desde la costa y desde la ciudad, estableciendo, de alguna forma una frontera entre la ciudad y los grandes espacios públicos de la zona del Forum.

En su entorno inmediato, la torre está rodeada de edificios de diferentes escalas en un contexto aislado, albergando diferentes tipos de edificios, algunos de oficinas, como el edificio de estudio y otros destinados a residencia común, dando lugar a un nuevo vecindario en formación en esta nueva zona de la ciudad.

La forma del edificio es un prisma trapezoidal, muy estilizado y agudo, de color blanco. Esta forma tan peculiar nace de la forma de la parcela en la que se ubica. La fachada está formada por un muro cortina de vidrio muy claro, que revela los volúmenes interiores que responden a las diferentes exigencias del programa funcional, relacionándose con los edificios de diferentes alturas de su entorno inmediato.

La forma del edificio, exteriormente alega a la ciudad de Barcelona y a una visión lejana. Las formas internas, reflejan las funciones propias internas y a la visión más cercana, respondiendo a las dos escalas que la torre debe resolver.

El emplazamiento es un lugar privilegiado en el cual, las vistas hacia la ciudad de Barcelona y hacia el puerto hacen que, además de la estética de la torre, las visuales sean uno de los puntos más atractivos de éste.

Además, se coloca como remate a la gran Avenida de la Diagonal, una de las vías más transitadas de esta ciudad, haciendo más visible, si cabe, la torre en cuestión.

La forma de implantarse dentro del solar fué bastante sencilla, las líneas generadoras del volumen se trazan a partir de las directrices del solar, formando así, un prisma romboidal, que alega a la forma de un diamante, ya no solo por su forma de generarse, sino también por el aspecto exterior tan blanquecino y transparente, característica que le confieren los materiales de la fachada y las forma de construirse.

A continuación, se muestran dos imágenes del emplazamiento de la Diagonal Zero Zero en la ciudad de Barcelona.

La primera de ellas, refleja la ubicación de la torre y los edificios contemporáneos que están cercanos a ella, como lo son el Auditorio Forum, de Herzog & De Meuron, enfrente con la torre y la Torre Agbar, a unos metros de ella, proyectada por el arquitecto Jean Nouvel.



Imágenes 2.2.1. y 2.2.2. Emplazamiento de la torre Diagonal Zero Zero

2.3. ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA FUNCIONAL

La torre, dispone de 25 plantas sobre rasante, lo que alcanza unos 110 metros de altura, y dos plantas más bajo rasante, destinadas a aparcamientos, con un total de 280 plazas.

La Torre Diagonal Zero Zero posee un doble programa funcional, tiene una parte pública muy importante que se relaciona con la ciudad y los flujos urbanos, emplazada en la planta baja, formada por tres niveles relacionados entre sí, alrededor de un atrio de 40 metros de altura, siguiendo la pendiente de la plaza Forum, que está situada adyacentemente.

Esta forma de alargar y continuar la vida urbana del exterior de la ciudad hacia el interior de la torre actúa en beneficio de ésta, favoreciendo las relaciones entre los ciudadanos curiosos por entrar a visitarla y ofreciéndoles la posibilidad de disfrutar de las actividades que en su interior se generan, actualmente, un centro para demostraciones tecnológicas, actuando como foco de la divulgación de la tecnología y las nuevas comunicaciones.

La parte privada de la torre se desarrolla en las restantes plantas, estando formada, mayoritariamente por oficinas y despachos.

Las oficinas son diáfanas, gracias a la estructura, denominada *tube-in-tube*, la cual permite que los espacios se desarrollen libremente, sin pilares ni muros, ya que la estructura portante recae sobre el núcleo interior de hormigón y los esbeltos soportes situados en la cara interior de la fachada, ambos unidos por la losa de forjado, que transmite las solicitaciones desde el exterior hasta dicho núcleo.

Este sistema estructural, permite una gran difusión de luz solar, creando espacios de trabajo interiores de gran calidad.

Por lo que respecta al tratamiento de la sección y de las alturas, en el interior de este edificio, se generan cuatro áreas singulares fácilmente diferenciadas, que crean cuatro experiencias interiores totalmente distintas: en primer lugar, un vestíbulo principal, con un atrio de casi 40 metros de altura orientada hacia la avenida, otro atrio en la planta 17, más alto, en la planta 23, se crea una doble altura, en el espacio correspondiente a la sala de juntas y finalmente, el auditorio, que ocupa dos plantas, dividiéndose en dos anfiteatros que funcionan de forma

autónoma que, se pueden cerrar y formar grupos más pequeños y un puesto de ventas.

La organización de las plantas de oficinas es sencilla, ya que, el núcleo interior, además de trabajar como elemento estructural, alberga en su interior el núcleo de comunicación vertical y la zona de servicios, facilitando de esta forma, que las estructuras sean lo más diáfanas posible.

Dentro de estas plantas de oficinas, existen espacios de diferentes usos, como son las oficinas individuales, formadas por mesas para los trabajadores, las oficinas múltiples, con mesas más grandes que permiten trabajar de forma colectiva, las salas de reuniones y, finalmente, los despachos.

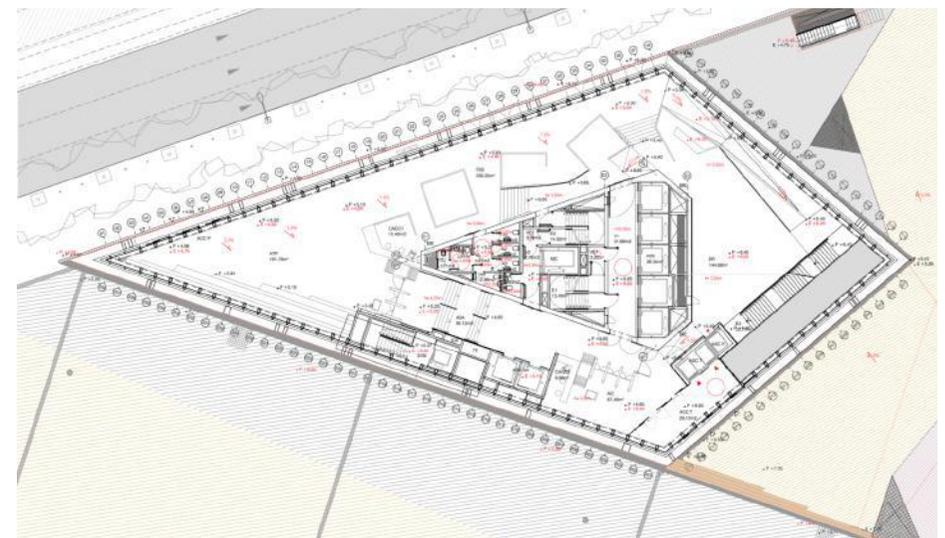


Imagen 2.3.1. Planta baja

La imagen superior corresponde a la planta baja, la de la cota zero, donde se ven los accesos al edificio, el núcleo interior, que funciona como núcleo de comunicación vertical y las zonas diáfanas entre el núcleo y la fachada exterior, ámbitos correspondientes a las actividades destinadas al público de la ciudad.

Estas zonas poseen un amplio atrio que le confiere amplitud a estos espacios, que se muestra a continuación.

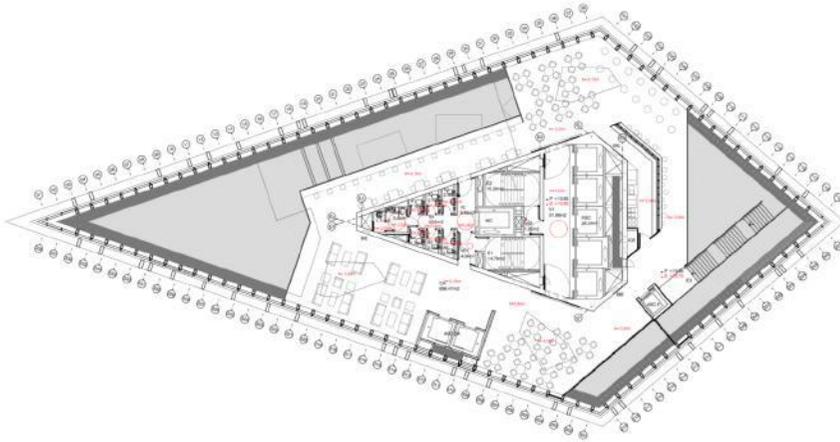


Imagen 2.3.2. Planta primera

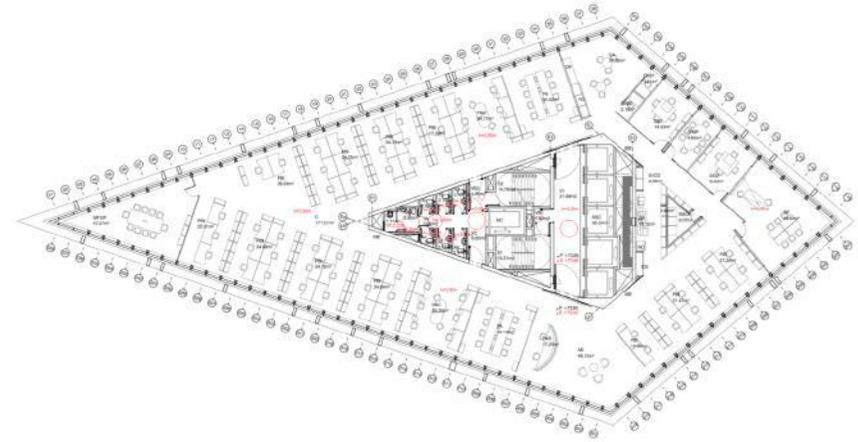


Imagen 2.3.4. Planta dieciseis

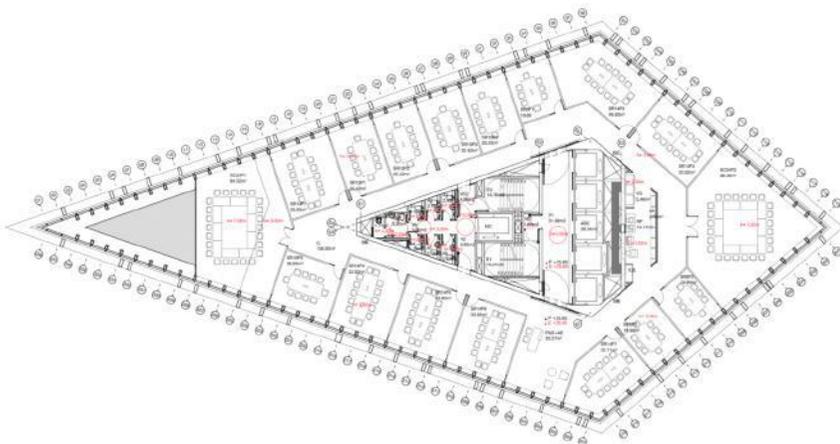


Imagen 2.3.3. Planta quinta

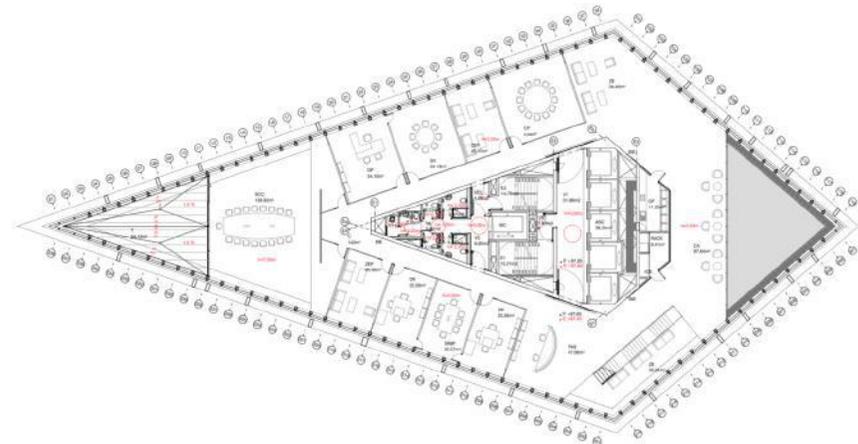


Imagen 2.3.5. Planta veintidós

Las plantas mostradas anteriormente, son un resumen de de todas las plantas que forman la torre.

En la planta primera, se encuentran espacios diáfanos que albergan zonas de relación, con mesas abiertas y sofás. En esta planta, se puede ver perfectamente el atrio que va desde la planta baja hasta la quinta.

En la planta segunda y tercera, aparece un auditorio, que se desarrolla en una doble altura, en una de las esquina del romboide que forma la planta. Además, esta planta, alberga también un serie de aulas de pequeña dimensión.

En la planta cuarta, ya aparecen las salas de reuniones, cerradas y orientadas al exterior, dejando, de esta forma, un corredor perimetral paralelo al núcleo central del edificio.

A partir de la quinta planta, aparecen las oficinas diáfanas, sin apenas particiones interiores, permitiendo una mayor amplitud en los espacios y favoreciendo la relación entre los trabajadores.

El resto de plantas hasta llegar a la veintidós, se rigen por el mismo esquema que la planta anterior, formando una sucesión de plantas de oficina diáfanas, con una variante, la incorporación de un atrio en una de las esquinas de la planta, permitiendo la percepción de espacios de mayores dimensiones gracias a la apertura vertical que éste le proporciona.

Es en la planta veintidós donde vuelve a cambiar ligeramente el espacio, repitiéndose otra vez el esquema de la planta cuarta, con salas de reuniones y de trabajo más cerradas e independientes del resto.

El resto de plantas hasta llegar a la veinticuatro siguen las mismas directrices mencionadas anteriormente.

La organización en planta es regular, siguiendo siempre el mismo esquema, el núcleo centra de comunicación y las estancias servidas alrededor de éste.

SECCIONES



Imagen 2.3.6. Sección 1

En la sección anterior se ve perfectamente el juego de las alturas en las diferentes plantas. El atrio del acceso principal, es uno de los más importantes, ya que la apertura en vertical de las plantas proporciona gran amplitud. En las últimas siete plantas, aparece el otro atrio, de menor dimensión que el anterior, al cual vuelcan las estancias de estas plantas superiores.

Una de las características principales que más llama la atención de la torre es la peculiar fachada que posee.

Ésta es, sin duda, una parte fundamental del proyecto, que le confiere personalidad, favoreciendo que la torre se convierta en un hito de la ciudad de Barcelona.

Las fachadas, están compuestas por un muro cortina transparente, casi blanquecino que se monta a través de unos bastidores metálicos prefabricados que le confieren un aspecto blanquecino y transparente. Adosados a este muro cortina, aparecen unos “tubos de metal”, los cuales, en el proyecto se denominan siempre “bambúes”, que van desde la parte inferior de la fachada hasta la parte más alta, encontrándose, la mayor parte de éstos en la parte inferior, coincidiendo con las plantas más bajas.

Estos “bambúes” son los que se convierten en la característica principal respecto la estética del edificio.

Los “bambúes”, además de ser un importante componente estético, también reciben algunas cargas horizontales de viento, transmitiéndolas, a través de unos enganches en los forjados, al núcleo central de hormigón armado, transfiriéndose los esfuerzos desde los “bambúes” hasta el núcleo a través de la losa que conforma los forjados.

Esta absorción de esfuerzos es, sin embargo, muy reducida respecto el núcleo central y los soportes metálicos ubicados en la parte interior del muro cortina de la fachada, que son los elementos que realmente absorben la mayor parte de las solicitaciones, tanto horizontales de viento, como las solicitaciones verticales, derivadas de las cargas permanentes y variables.

En conclusión, la fachada es el elemento que más llama la atención, sin embargo, al analizar y conocer más profundamente el edificio, la fachada es un elemento más del conjunto estructural, que, aunque colabore en menor medida, en un principio, en la elaboración del proyecto se concibe como tal.

Finalmente, todo el conjunto de la torre, tanto estructural como estético, favorece la concepción de una edificación clara, transparente y blanquecina, que se inserta en el territorio de una forma sencilla y discreta, tal y como se concibe, desde un primer momento, como una de las ideas principales de proyecto.

ALZADOS

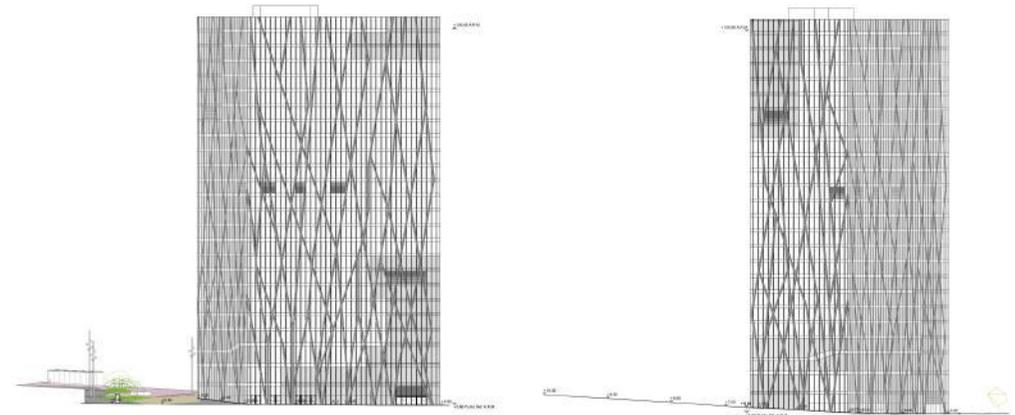


Imagen 2.3.7. Alzados C/ Eduard Maristany



Imagen 2.3.8. Detalle “bambús” de la fachada

ESPACIOS INTERIORES

Respecto a los espacios interiores, como ya se ha mencionado anteriormente, su característica más importante es la diaphanidad de los espacios, que permiten la creación de ámbitos de una mayor calidad espacial, ya que no aparecen elementos estructurales ni divisorios que segmenten estas zonas y dividan las estancias, dejando libre todas las formas de relación que éste tipo de proyectos abiertos permiten.

Esto, en parte se consigue porque los soportes se colocan perimetrales en la parte interior de la fachada, dejando libre todo el espacio intersticial entre el núcleo y éstos elementos estructurales.



Imagen 2.3.9. Fotografía del interior

Como se ve en la foto superior, los espacios tan claros y diáfanos permiten una mayor apertura, dejando libres todas las estancias. Además, se proyectan las sombras arrojadas de los soportes en el perímetro interior de la fachada.

Otra de las características que a simple vista llama la atención de los espacios interiores, y se ha convertido en uno de los adjetivos con los cuales, los ciudadanos definen este proyecto es la transparencia, ésta, junto con los colores tan claros y blancos de todos los materiales que conforman tanto los exteriores como los interiores, ya sea en los suelos técnicos, los falsos techos, el cajeadado de los soportes de fachada y los elementos lineales de la fachada, le confieren a la torre un carácter limpio y blanquecino, que hace que los espacios se perciban más grandes y amplios.



Imagen 2.3.10. Interior oficinas



Imagen 2.3.11. Interior auditorio



Imagen 2.3.12. Detalle doble altura del auditorio

2.4.MATERIALIDAD Y CONSTRUCCIÓN

La construcción de edificios de gran altura, como es el caso de la Diagonal Zero Zero, ha constituido como un campo que, recientemente está de máxima actualidad y apertura. Sin embargo, la construcción de este tipo de construcciones requiere de una colaboración estrecha entre arquitectura e ingeniería.

La forma arquitectónica nos muestra la gran capacidad de creación de los arquitectos contemporáneos, mientras que, el trabajo estructural, más referido en este caso a la ingeniería, refleja el enorme desarrollo de conocimientos para llevar a cabo dichos esquemas estructurales.

La Torre Diagonal Zero Zero, es un proyecto en el que se usan unos determinados materiales, reducidos, todos ellos en concordancia para lograr un mismo objetivo, la transparencia de los espacios, la singularidad y la sencillez a la hora de percibirla.

Uno de los materiales principales es el hormigón, el cual forma la columna vertebral del edificio, el sistema resistente. Este material se comporta frente a las acciones horizontales de viento, de manera muy diferente, dependiendo de sus direcciones principales.

En la dirección longitudinal, este sistema estructural elegido es muy eficaz, ofreciendo al viento unas dimensiones reducidas y por formar un gran brazo interno resistente.

Por el contrario, en la dirección transversal, la resistencia es sensiblemente menor, a causa de los huecos de acceso a las zonas de servicios, instalaciones y comunicación vertical.

Consecuencia de esto, se utilizan hormigones de alta resistencia, a disponer de espesores mayorados y a dimensionar unos armados muy potentes para cumplir con las necesidades que el proyecto en cuestión requiere, tanto resistentes como de deformación.

De este mismo material, el hormigón armado son las losas de forjado que transmiten las solicitaciones desde la fachada exterior hasta el núcleo mencionado anteriormente.

Otro de los materiales esenciales es el acero, que conforma tanto los soportes metálicos ubicados en la parte interior del muro cortina, posteriormente protegidos con aislante térmico, y cajeados para cumplir con las exigencias de protección contra el fuego.

Los elementos tubulares de la fachada, los denominados, “bambú”, también son perfiles metálicos tubulares, de forma rectangular, de acero, así como los enganches de éstos a los correspondiente forjados.

Por último, el vidrio es otro de los materiales fundamentales en este proyecto, ya que conforma el muro cortina exterior de las cuatro fachadas.

Vidrios de grandes dimensiones montados mediante bastidores metálicos y ensamblados entre sí.

De esta forma, respecto a la materialidad, el proyecto se elabora con estos tres materiales, tan básicos y elementales, favoreciendo la percepción clara y limpia de la totalidad del proyecto.



Imagen 2.4.1. Núcleo central de hormigón

3. CONSTRUCCIÓN Y PROCESO CONSTRUCTIVO

A continuación, se detalla el proceso constructivo elegido, los materiales necesarios para poder llevarlo a cabo y los detalles constructivos más singulares de la torre Diagonal Zero Zero.

Se ha dividido la información en dos partes, primeramente la definición de cada uno de los elementos constructivos y se detalla el proceso constructivo que se llevó a cabo, al final, aparece la información técnica.

3.1. DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

La estructura propuesta para la torre es un sistema que se encuentra a medio camino entre un sistema convencional y uno que posee un carácter más novedoso e innovador.

La forma estructural base, responde a la denominada estructura “tubo en tubo”, descrita en la memoria del proyecto, en la cual, el tubo interior es, un núcleo rígido de hormigón armado, concebido como la columna vertebral de todo el conjunto y, el tubo exterior, corresponde al perímetro exterior formado por una doble malla de acero, de soportes metálicos colocados en la parte interior del muro cortina de la fachada. Este tubo exterior, es el que corresponde a un sistema más novedoso, que además de aportar estabilidad estructural, se convierte en el elemento que conforma el exterior y por tanto, la estética de la torre.

El trabajo estructural se lleva a cabo a través de la conexión de ambos sistemas anteriores, mediante las losas de los forjados de todas las plantas, que los conectan sin la existencia de algún soporte interior.

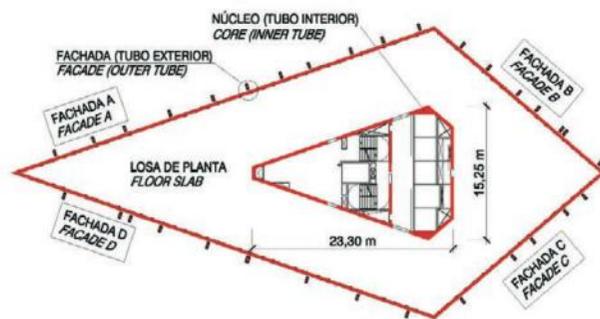


Imagen 3.1.1. Esquema del funcionamiento estructural



Imagen 3.1.2. Proceso constructivo de la torre I

El tubo exterior, el correspondiente a la doble malla metálica, está formado por dos partes, una capa exterior de tubos de acero, portante, de sección rectangular y de dimensiones 68 x 24 centímetros, medidas tomadas desde el exterior de la pieza, que se encuentran dispuestos perpendicularmente a la fachada. Sin embargo, aunque este entramado de tubos sea perpendicular a la fachada, en el alzado se encuentran dispuestos en triangulación.

Dicha triangulación recuerda a una forma orgánica, semejante a un árbol, que llevó a denominar estas piezas como los famosos “bambúes”.

Por otro lado, la otra parte de la malla metálica, está formada por unos soportes verticales metálicos, de gran esbeltez, situados muy próximos entre sí, en concreto, están separados 1,35 metros. Estos perfiles poseen una anchura constante de 16 cm, separados de la fachada exterior 36,50 cm.

Este doble sistema doble, conjuga, por un lado, la estética que le transmiten el sistema exterior de las fachadas, aportándole gran calidad, con una gran fuerza expresiva, mientras que, la trama interior de soportes y bordes de forjado, queda oculta en el interior de la fachada.

A continuación, se detallan todos los elementos constructivos que forman todo el conjunto estructural.

NÚCLEO CENTRAL DE HORMIGÓN ARMADO

El núcleo central de hormigón armado es la columna vertebral de toda la edificación, formando uno de los elementos más importantes del sistema resistente.

La característica principal del este núcleo es la gran diferencia de resistencia entre las dos direcciones principales. En la dirección longitudinal, el muro es extremadamente eficaz, representando un gran brazo interno de fuerzas y ofreciendo a la acción del viento unas dimensiones más reducidas, gracias a su perfil afilado.

Por otro lado, en la dirección transversal, los frentes que se ofrecen para absorber los esfuerzos derivados de la acción del viento, tienen una capacidad mucho menor, ya que su brazo interno es más reducido, además de que, los huecos en el alzado del muro para el acceso a las zonas de instalaciones y comunicación vertical, reducen la superficie resistente, convirtiéndose este motivo, en la causa fundamental por la que la dirección transversal es más desfavorable.

Este comportamiento repercute en el comportamiento estructural. A causa de estos condicionantes, para la construcción de dicho muro, se tienen que utilizar hormigones de alta resistencia.

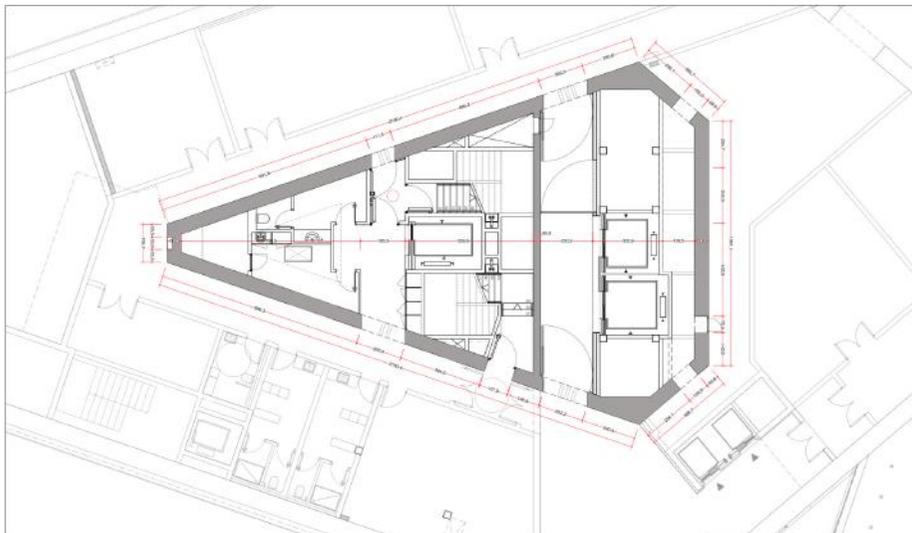


Imagen 3.1.3. Planta núcleo central de hormigón



Imagen 3.1.4. Proceso constructivo de la torre II

SOPORTES METÁLICOS

Uno de los elementos estructurales con mayor importancia, junto con el núcleo central y la losa son los soportes situados en la parte interior de la fachada.

Estos soportes son perfiles de acero de pequeñas dimensiones y de sección constante, de 16 x 32 centímetros de ancho hasta la planta 14 y de 16 x 16 centímetros hasta la coronación del edificio, situados a una distancia de 1,35 metros entre ejes, distando ésta malla de soportes interiores 36,50 centímetros de la malla de bambúes exterior.

Se utilizan perfiles armados y laminados de acero S275 JR, en forma de perfiles HEB-160, colocados con las alas paralelas al borde del forjado, también se usan parejas de HEB-160 conectados unos con otros y girados con un ángulo de 90 grados para que sus capacidades mecánicas el conjunto funcionen mejor y perfiles armados en forma de cajón de hasta 40 milímetros de espesor.

Al ser soportes prefabricados de acero, posibilitan una elevada rapidez en el proceso de ejecución material, ya que estos soportes se van montando una vez ejecutada la losa, de esta forma, se ensamblan unos con otros mediante soldadura al mismo ritmo que se van ejecutando el resto de elementos estructurales.

Estos soportes trabajan principalmente a compresión, aunque ocasionalmente pueden recibir esfuerzo horizontales de viento, los cuales, son transmitidos a través de la losa de forjado al núcleo central de hormigón armado.

La desventaja que los elementos de acero presentan es su comportamiento frente al fuego. Este material no posee la resistencia suficiente que el Documentos Básico de Seguridad frente a Incendios requiere (DB-SI).

A consecuencia de este mal comportamiento, los elementos de acero únicamente pueden dejarse vistos en ocasiones muy limitadas. De tal modo, tanto en edificios de viviendas y en edificios destinados a pública concurrencia, como es el caso de la torre Diagonal Zero Zero, éstos elementos deben estar protegidos frente al fuego.

En este caso particular, se protege mediante un aislante proyectado de vermiculita de 40 mm de espesor sobre toda la superficie de los soportes, asegurando una protección de 180 minutos, de este modo, previene y protege en caso de incendio y cumple con las exigencias establecidas en el DB-SI sobradamente, ya que el CTE no exige tanta resistencia para un edificio de oficinas pero el Cuerpo de Bomberos de Barcelona así lo requiere.

De esta forma, la sección de los soportes queda de 24 centímetros, manteniéndose constante en toda la altura de la torre. Posteriormente a la ejecución de esta protección, el soporte se recubre mediante unas planchas metálicas de color blanco, que le confieren un aspecto limpio y claro al mismo tiempo que ocultan la protección.



Imagen 3.1.5. Proceso constructivo soportes

VIGAS DE PATIO

En muchas de las plantas de la torre aparecen patios de en las esquinas de la planta. Estos atrios presentan diferentes dimensiones en cada una de las plantas, formándose éstos con unas vigas mixtas de gran canto.

Este elemento constructivo es uno de los que menos se habla, sin embargo, sin él el sistema general fallaría.

En estos patios, la estructura interior que forma la fachada, es decir, los soportes metálicos mencionados anteriormente, no se encuentran arriostrados por los forjados, así, la longitud de pandeo es muy elevada. En estos casos, se requieren dimensiones de soportes extremadamente elevadas, circunstancias que no se pueden asumir ya que las condiciones formales y funcionales no lo permiten.

Para reducir esta longitud de pandeo se usan las denominadas “vigas de patio”, formadas por unas piezas transversales en forma de dintel de elevada rigidez en el plano horizontal.

Estas vigas de patio están formadas por dos secciones metálicas en forma de “C”, conectadas ambas por la parte inferior a través de una chapa de fondo, de un espesor reducido, que hace la función de alma en este dintel.

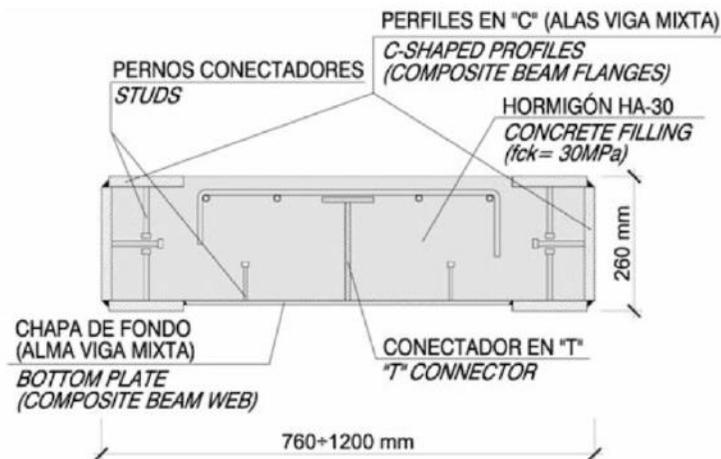


Imagen 3.1.6. Sección de la viga de patio

La soldadura de los pernos y de los conectores se lleva a cabo en taller, dejando únicamente la tarea de colocación de una malla electro soldada como armadura y posterior hormigonado in situ en la obra.

Las vigas de patio forman parte de la capa interior del muro cortina, éstos elementos forman, junto con los soportes verticales, un emparrillado vertical, que se recubre, al igual que los soportes metálicos mencionados con anterioridad, con la protección necesaria para asegurar la adecuada resistencia al fuego. Las almas de los perfiles en “C” se protegen, no como la cara superior, que se encuentra protegida por el hormigón ya que se encuentra en un aposición favorable, ya que no es posible que haya contacto directo con las llamas en caso de incendio.



Imagen 3.1.7. Proceso constructivo vigas y soportes

El ancho de la sección de la viga depende de la longitud de ésta y de la planta, encontrando anchos desde 1200 milímetros en las plantas bajas hasta los 760 milímetros en las plantas más superiores.

En la imagen inferior se ve perfectamente el arriostamiento de todos los soportes metálicos con los atrios a través de estas vigas de patio antes de proceder a su posterior hormigonado.

De este mismo modo, en la figura también se puede observar el armado de la viga descolgada del borde del forjado, antes de su hormigonado y tensado de la misma.



Imagen 3.1.8. Proceso constructivo vigas y soportes II

Como se muestra en las imágenes y se explica en el proceso constructivo, nos encontramos ante un sistema constructivo mixto, es decir, los soportes metálicos son totalmente prefabricados y traídos desde el taller, únicamente se requiere de una grúa para su montaje y de operarios para que ensamblen dichos perfiles y, el postesado de las vigas de patio y de las losas de forjado.

Un sistema de este tipo requiere de mucha precisión tanto en obra como en taller, para que todos los elementos encajen al milímetro en el momento de su puesta en obra.

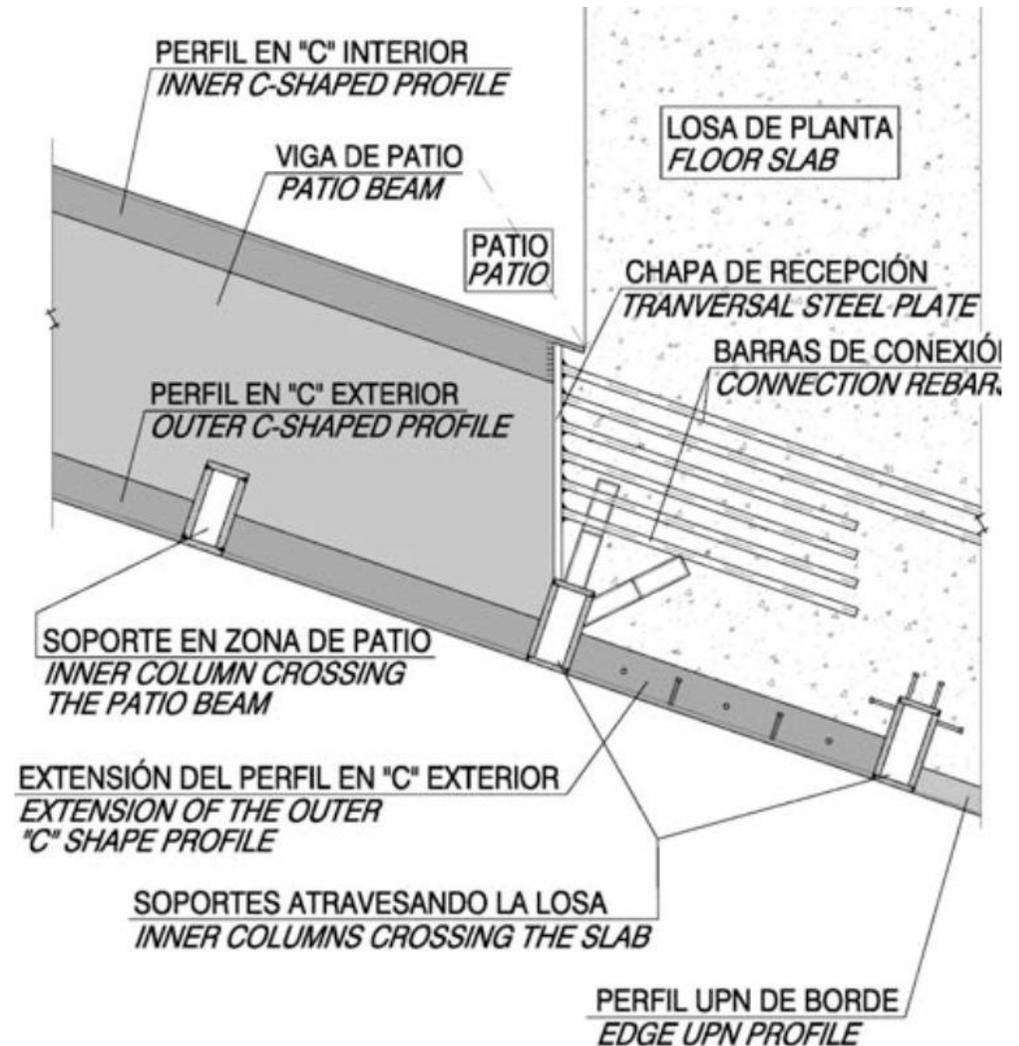


Imagen 3.1.9. Detalle continuidad de la viga de patio y losa

Como se muestra en el detalle constructivo superior, la continuidad entre la losa de forjado y la viga de patio es esencial para asegurar la estabilidad de todo el conjunto estructural.

“BAMBUÉS” DE LA FACHADA

Se denomina, de forma coloquial “bambúes” a las piezas inclinadas que forman la parte exterior del muro cortina de la fachada.

Estos elementos están conformados por piezas inclinadas de sección rectangular, distribuidos aleatoriamente y de forma irregular a lo largo de toda la superficie de las cuatro fachadas.

En la parte inferior, es decir, en las plantas más bajas del edificio, la presencia de estas piezas es más abundante, siendo más dispersa en las partes superiores.

En un principio, durante las primeras parte del desarrollo del proyecto, la idea era que los bambúes tuviesen, además de función estética, una resistencia, aunque fuese mínima, que participase de forma activa en la resistencia de todo el conjunto estructural.

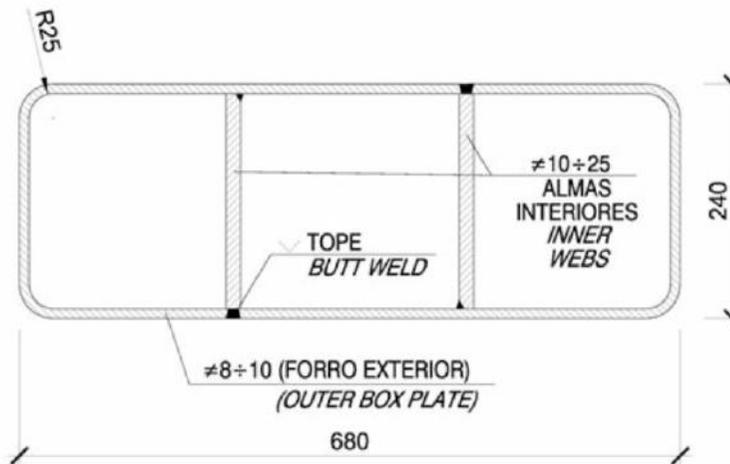


Imagen 3.1.10. Sección tipo “bambú”

Estos elementos contribuyen a la rigidez estructural en menor medida, la mayor resistencia se la ofrece a la parte más alta del edificio, que dada su elevada altura, la influencia del viento es más importante y el desplome hubiese sido muy alto de no ser por éstos elementos. De igual forma, esto se podría haber evitado con el aumento del espesor de la pantalla de hormigón del núcleo central o incrementando la sección de los soportes metálicos de la parte interior de la fachada. La contribución de estos elementos estructurales no se va a tener en cuenta a la hora de dimensionar nuestros cálculos en *Architrave*.



Imagen 3.1.11. Fotografía “bambúes” de la fachada

La colaboración tan estrecha entre arquitectos e ingenieros durante todo el proyecto llevó a elaborar una sección que satisficiera todas las exigencias, tanto las de resistencia como estética, estableciendo, a su vez un posicionamiento estratégico de estos elementos y que estuviese equilibrado entre el coste y la rigidez que éstos aportan.

Considerando numerosos aspectos tales como las dilataciones térmicas debidas al soleamiento, se llega a la conclusión de que es necesario un aumento de la sección de estos elementos respecto la sección inicial que se presentó en las primeras fases del proyecto arquitectónico.

Las dimensiones iniciales eran 220 x 240 milímetros, las cuales se incrementan dando como resultado una sección de 240 x 680 milímetros, tal y como muestra la Imagen 3.1.10, ofreciendo dicha sección una mayor resistencia en el plano horizontal y una mayor presencia estética a los bambúes.

Tal y como muestra dicha imagen, es la sección tipo de estos elementos exteriores, que está formado por dos almas en la parte interior que tienen un espesor que varía entre 10 a 25 milímetros, además de un forro exterior con unos espesores menores, exactamente de 8 a 10 milímetros.

Las almas de la parte interior de la sección favorecen una sección con mayor rigidez, manteniendo las caras interiores eficaces y evitando en cualquier parte de la sección fenómenos de abolladura local en ninguno de sus puntos.

Esta malla exterior de “bambúes” forma la parte de fuera del muro, mientras que el entramado de soportes metálicos de dentro forman la parte interior. Entre ambas caras se encuentra el muro cortina, que posee aperturas de diámetro 250 milímetros, correspondientes con las conexiones que tienen dichos elementos con las losas de los forjados de cada planta, permitir el paso de los elementos tubulares.

En los puntos de conexión entre los elementos exteriores y las zonas donde en lugar de losas de forjado aparecen patios, la conexión se establece mediante piezas que se sueldan al alma interior del perfil de las vigas de patio, además de ser reforzadas mediante diafragmas transversales.

Para el resto de conexiones, es decir, las de los forjados con el entramado exterior, se proyecta un cajetín metálico que se suelda al perfil del borde de la losa de forjado, para recibir la pieza tubular que conectará ambas partes, después del montaje del muro cortina.

Este cajetín está formado por una chapa a la que posteriormente se le suelda dicho elemento de conexión, después del hormigonado de la losa de cada planta, y por un par de piezas laterales, una en cada lateral y colocadas perpendiculares a la fachada.

Posteriormente a la colocación de esta pieza, se procede a colocar el elemento de conexión, colocando éste elemento soldado a la chapa dorsal mediante una soldadura a tope, para permitir una buena transferencia de los esfuerzos a los que están sometidas las piezas, en concreto, esfuerzos de cortante muy elevados.

El cajetín de conexión está abierto por su parte superior e inferior para permitir un soldado lo más fácil y cómodo posible para los operarios y la correcta soldadura a en todo el perímetro de la pieza tubular.

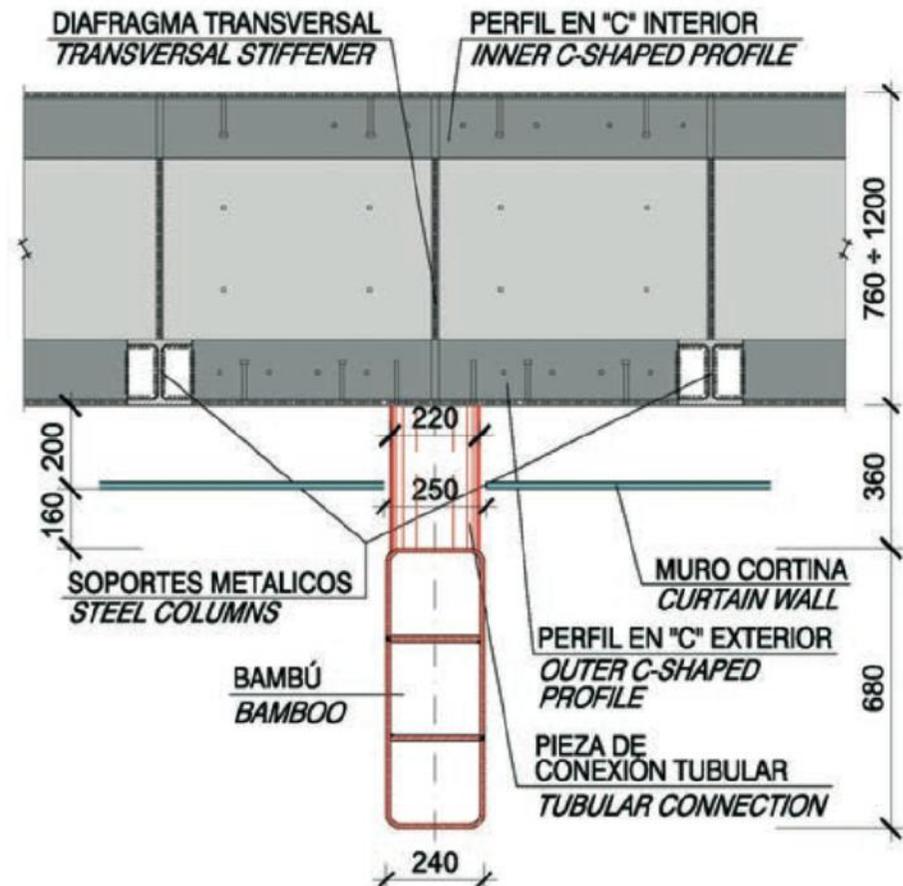


Imagen 3.1.12. Sección tipo del enlace entre “bambúes” y vigas de patio

Tal y como muestra la imagen adjunta, la pieza de entramado exterior está separada de la cara exterior del forjado 360 milímetros, dentro de esta dimensión se coloca el muro cortina, separado 200 milímetros de la losa de forjado y 160 milímetros de los bambúes exteriores.

Finalmente, desde el borde del forjado hasta la cara exterior de las piezas de entramado hay casi 1 metro, concretamente 1040 milímetros, dimensiones perfectamente estudiadas para evitar fallos estructurales o mecánicos.

Ya que las dimensiones del cajetín son reducidas, la soldadura de la pieza de conexión es complicada a lo largo de todo su perímetro, debido a estos problemas, se procede a rigidizar la unión mediante una piezas que rigidizan radialmente que se unen a la pieza tubular y la chapa dorsal. Al rigidizar estas piezas, se puede reducir el espesor de la chapa.

Durante las primeras fases, se estudió con detalle todos los encuentros, en especial, el de la viga de patio, el cajetín y la viga descolgada, para poder permitir la inserción de las armaduras necesarias para poder transmitir de forma correcta los esfuerzos de todos los sistemas que transmiten a dicho punto de conexión.

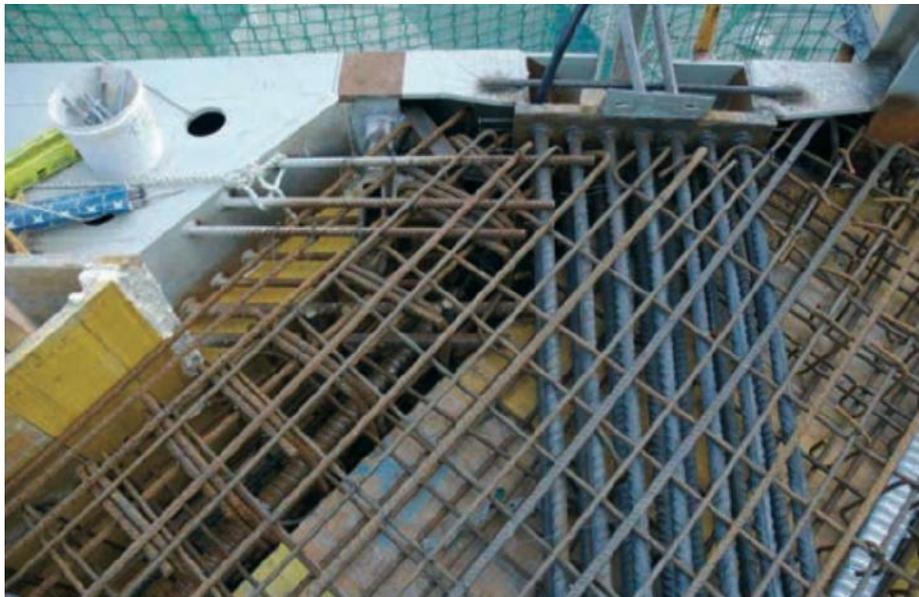


Imagen 3.1.13. Encuentro viga de patio, viga descolgada y cajetín

En la imagen anterior, se muestra perfectamente el encuentro entre estos tres elementos definidos anteriormente. Como se observa, hay un gran número de nudos entre las piezas, especialmente entre las que están en posición inclinada, por este motivo, su construcción se procedió a efectuarse en taller para evitar la gran cantidad de soldados in situ y garantizando una alta supervisión de todos los aspectos, ya que seguramente, este es el elemento que más identifica a la totalidad del proyecto.

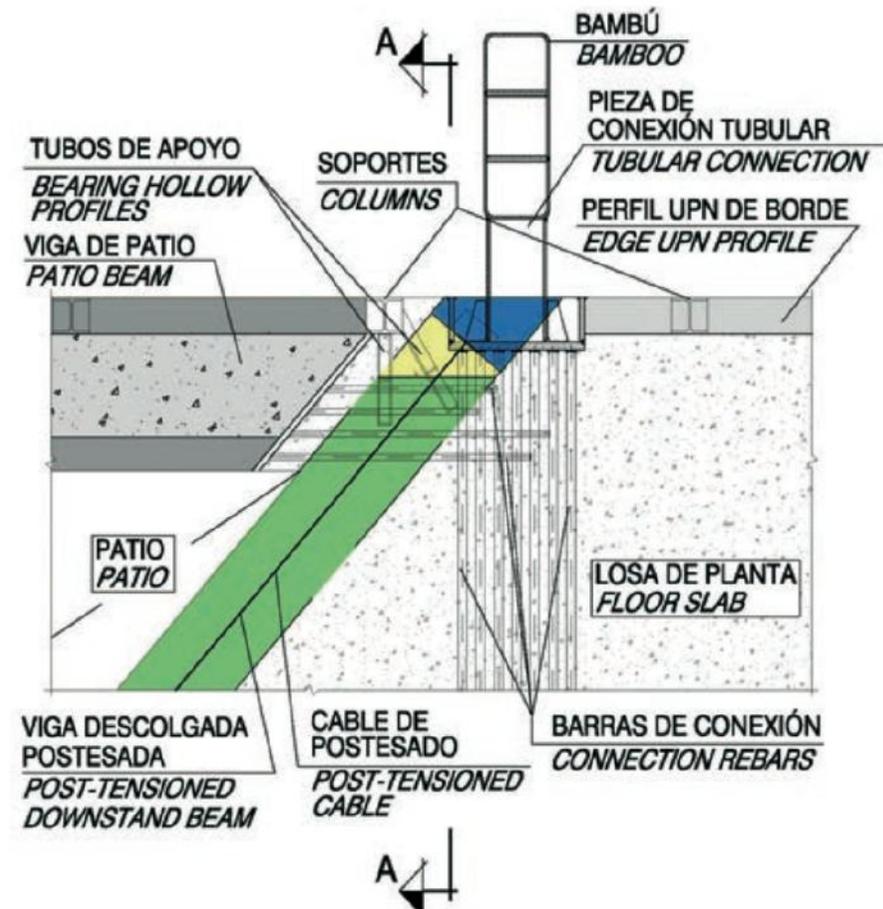


Imagen 3.1.14. Planta encuentro de la viga de patio, viga descolgada y cajetín

El procedimiento de construcción de estos nudos se lleva a cabo de la siguiente forma, primero se sueldan las alas a la pieza de conexión tubular, posteriormente se añaden unas chapas continuas de la parte exterior en el cruce para llegar a tener una caja cerrada y ya, finalmente se conecta cada una a las cuatro caras del bambú. Estas cuatro caras poseen unas ventanas para poder conectarse al nudo mediante la soldadura a tope.

Se analizó muy minuciosamente la inestabilidad, factor que se debe tener en cuenta en aquellos tramos de “bambúes” en la que está el encuentro de dos de conexión consecutivas, comprobando la estabilidad de todo este entramado exterior de las fachadas, especialmente en las zonas de patios.

Cuando el edificio está sometido a cargas reducidas en caso de incendio, el núcleo central de hormigón junto con los soportes interiores de metal, son el único sistema resistente. Esto ocurre porque los pilares interiores están protegidos con una resistencia frente al fuego de 180 minutos, mientras que los bambúes exteriores, aunque son piezas metálicas también, no se protegen de la misma forma, dejando así éstos sin proteger, ya que en caso de accidente, esta parte no contribuiría al conjunto estructural, de todas formas, estos elementos, no suponen una gran aportación.

Estos elementos, contribuyen en muy poca medida a todo el conjunto estructural, sin embargo, alguna parte reducida se lleva, pero en muchas ocasiones se puede despreciar, pasando a ser parte de la estética.



Imagen 3.1.15. Fotografía detalle “bambúes” de las plantas bajas

LOSAS DE FORJADO

Como ya se ha comentado anteriormente, el núcleo de hormigón no colabora en la absorción de esfuerzos en un 65 %, a pesar de que en unas caras, su comportamiento es más desfavorable. Para hacer frente a esta desventaja, se recurre a la famosa estructura “tubo en tubo”, de esta forma, el conjunto estructural puede hacer frente de manera favorable a las acciones horizontales y sísmicas a las que se pueda ver sometido. Es en este momento cuando se produce la colaboración entre el núcleo central y los soportes metálicos, absorbiendo el 35 % restante de las sollicitaciones de viento, manteniendo traicionadas las zonas del núcleo central y limitar el desplome en el punto más alto de la torre, manteniéndolo siempre menor a un 1/500 de la altura total de la edificación.

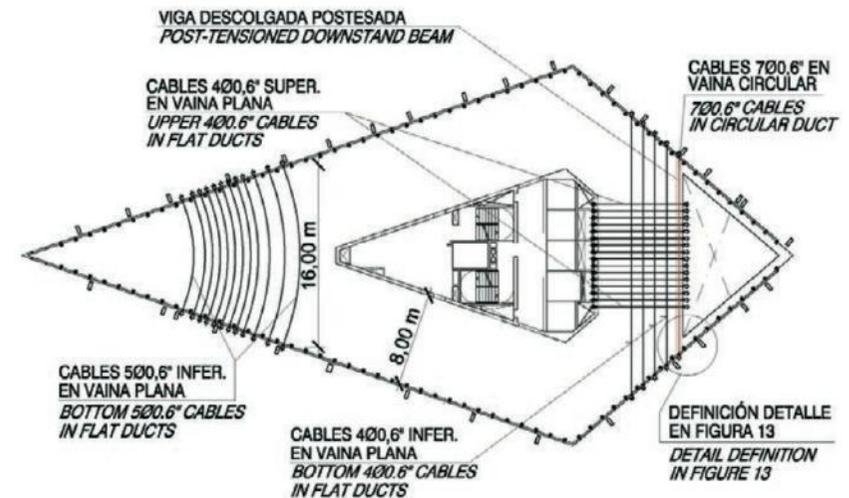


Imagen 3.1.16. Planta losa de forjado

Los porcentajes anteriores están extraídos de la memoria de proyecto arquitectónico facilitada por el estudio EMBA, en ésta se detallan estos porcentajes de colaboración.

Tal y como se muestra en la imagen superior, se detallan en planta los cables necesarios con sus correspondientes diámetros. Se puede observar la famosa estructura “tubo en tubo”, formando el tubo interior el núcleo de comunicaciones de hormigón y el exterior el entramado vertical de soportes metálicos en la cara interior de la fachada.

En todo este conjunto estructural, las losas de cada planta son las que contribuyen para transmitir los esfuerzos. Éstas se apoyan en el núcleo de comunicación vertical, las pantallas de hormigón armado y, apoyando su otro extremo en los pilares perimetrales del interior de la fachada, permitiendo la transferencia de esfuerzos entre estos elementos.

Como ya se ha explicado anteriormente, todas las plantas de la torre son abiertas, muy diáfanas, en las que únicamente aparecen los elementos verticales correspondientes a los soportes de fachada y al núcleo central. Esta diafinidad, favorece la existencia de luces considerables, la menor, de ocho metros en las zonas paralelas al núcleo de hormigón y de hasta dieciséis metros en las esquinas de la planta, es decir, donde se forman los ángulos agudos.

El espesor de la losa es de treinta centímetros, ésta dimensión tan reducida junto con la irregularidad de las plantas, referida a su forma de diamante, hizo necesario el pretensado, utilizando cables dentro de vainas planas, empalmando en todas las plantas vainas para favorecer el aumento del momento último y evitar su futura y prematura fisuración, deformando de esta forma la deformación vertical de la misma.



Imagen 3.1.17. Cables losas de forjado

Como muestra la imagen de la izquierda, los cables del forjado se anclan en el extremo, con un trazado curvo, a causa de la forma de la planta, inclinando todos los lados comparados con los ejes principales. Gracias a este tipo de trazado en los cables, la fuerza horizontal perpendicular al cable transmite unas tensiones que traicionan a la losa, aunque estos esfuerzos los absorbe la armadura de la base, no siendo necesarios el uso de refuerzos de otro tipo.

En todo el perímetro de la losa, ésta se apoyan en un perfil, en concreto un UPN, que se conecta con los perfiles metálicos de la parte interior de la fachada.

El perfil mencionado anteriormente, el UPN situado en el borde de la losa, no está protegido contra el fuego, los que deben resistir en caso de incendio son los pernos que están embebidos en el hormigón.

Un problema muy importante es la presencia de los huecos de los patios, ya que aparecen bordes de forjado que producen una mayor deformabilidad. Para eliminar este problema, es decir, la falta de rigidez en esos puntos, se utilizan vigas con una sección transversal y descolgadas.

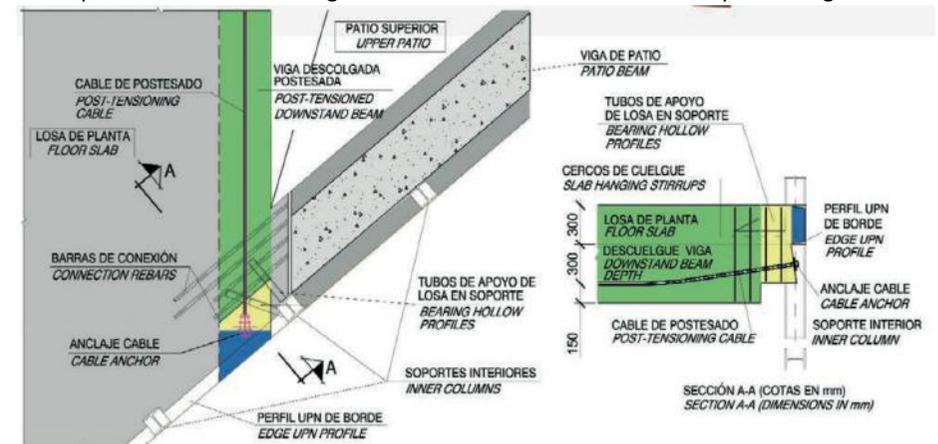


Imagen 3.1.18. Detalle encuentro viga descolgada y viga de patio

Para no perjudicar la estética de estas zonas, la viga descolgada, en lugar de bajarse 45 centímetros, únicamente se descuelga 30 centímetros, posteriormente, el cable se coge a 20 centímetros del final del forjado, para que se pueda colocar el anclaje.

3.2. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL EDIFICIO

A continuación se muestra el proceso constructivo, a través de unas fotografías extraídas de un video de Plataforma Arquitectura, en el que se muestra como se montan los soportes metálicos en seco y como se ejecutan las losas de los forjados.



Imagen 3.2.1. Emplazamiento con excavación

En la Imagen 3.2.1. se muestra el emplazamiento, con su característica forma triangular, su entorno y la excavación que se realizó para ejecutar la cimentación necesaria para transmitir todas las cargas al terreno.

En la fotografía de la derecha, la Imagen 3.2.2. se ve el montaje de los soportes metálicos que constituyen la cara interior del muro cortina de la fachada, dichos soportes, se montan con una grúa y se van ensamblando entre ellos por la parte inferior de unos y la superior de los que van colocados encima

Este tipo de montaje en seco facilita la construcción y acelera las fases, ya que se evitan tiempos de espera para desencofrar soportes, únicamente se espera para el forjado de losas pretensadas, que se ejecutan al mismo ritmo que se ensamblan las losas metálicas, facilitando la rápida construcción y poder tener las fases muy definidas.

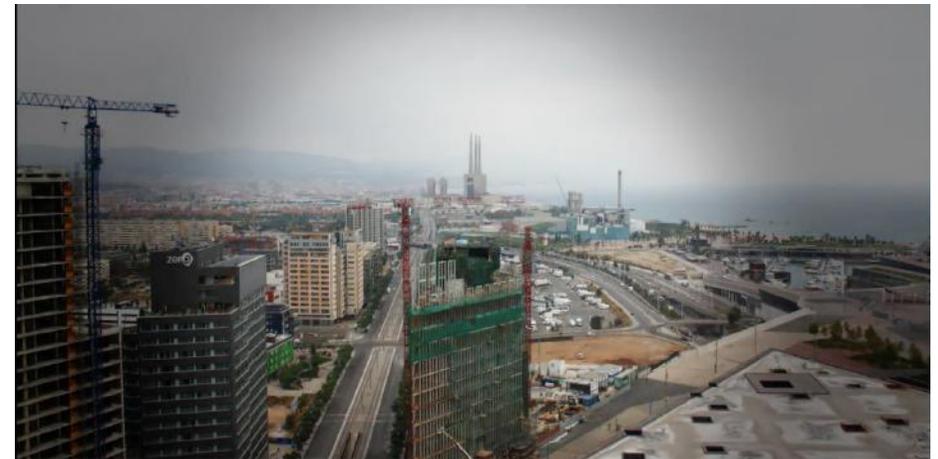


Imagen 3.2.2. Montaje y soldado de los soportes metálicos



Imagen 3.2.3. Montaje soportes y ejecución del núcleo central de hormigón

En la imagen superior se muestra como se va ejecutando el núcleo de hormigón armado del interior de la torre. Para ello, se instala una bomba allí, ya que la cantidad de hormigón necesario es elevado y resulta inviable ejecutarlo con hormigones llevados a la obra mediante camiones, además, se instala una bomba para verter el hormigón en el interior de los encofrados. La ejecución de este núcleo sigue el mismo ritmo que la ejecución de los soportes metálicos y las losas de planta correspondientes.



Imagen 3.2.4. Montaje muro cortina y "bambúes" de la fachada

En la Imagen 3.2.4. se muestra el montaje del muro cortina de la fachada, con la ejecución de los "bambúes" de la fachada.

En esta fase, se van ejecutando la fachada cuando las losas y los soportes ya se encuentran totalmente terminados.

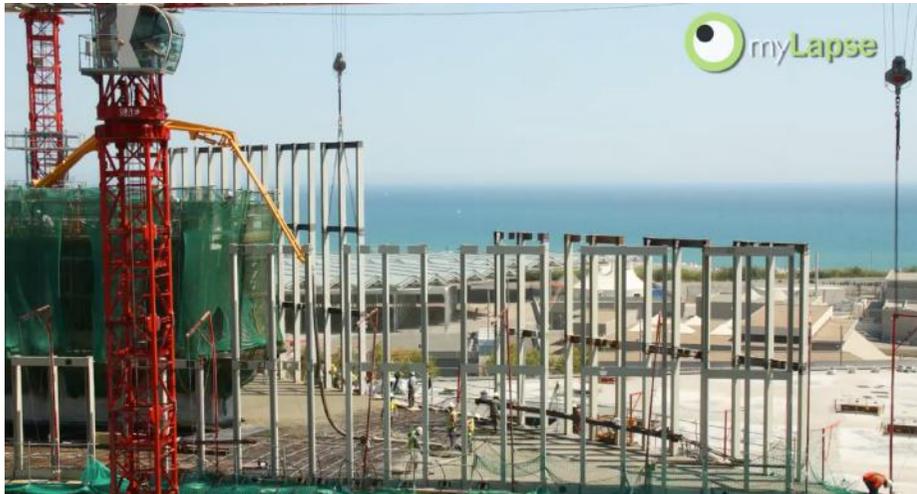


Imagen 3.2.5. Detalle ampliado del montaje de los soportes

En la imagen anterior se muestra, de forma más detallada como es el montaje de los soportes. Se puede ver perfectamente como llegan los perfiles, con la ayuda de una grúa y se van ensamblando unos con los otros.



Imagen 3.2.6. Montaje de las vigas de patio

En la fotografía superior se muestra el montaje de las vigas de patio, las que en el epígrafe anterior se han definido. Se van montando en seco, previamente ya preparadas en taller y transportadas hasta la obra.



Imagen 3.2.7. Detalle puesta en obra del núcleo central



Imagen 3.2.8. Montaje del muro cortina



Imagen 3.2.9. Detalle montaje del muro cortina en la esquina

Tal y como muestran las dos imágenes de la izquierda, el montaje del muro cortina exterior se realiza con la ayuda de la grúa, guiada desde la parte inferior por operarios cualificados y con la ayuda de la mano de obra humana, es decir, los operarios se colocan en la parte donde se va a ensamblar la parte del muro correspondiente.

Para realizar estas operaciones se necesita de una alta precisión y de personal muy cualificado en este ámbito, ya que cualquier fallo por diminuto que sea, al tratarse de una edificación de grandes dimensiones podría convertirse en algo de mucha importancia.



Imagen 3.2.10. Soportes ignifugados

Previamente al montaje del muro cortina, los soportes metálicos se han protegido frente a incendios con mortero ignífugo, de la misma forma que las vigas de patio. Este procedimiento se ha descrito anteriormente en el epígrafe anterior.

Para realizar esto, se han utilizado grandes cantidades de mortero ignífugo.

Después de ignifugar los soportes, éstos se recubren con un cajón metálico blanco para darle un aspecto limpio y regularizado, lo que se había buscado desde un principio en el proyecto. Esta imagen finalizada se ve reflejada en la Imagen 3.2.11 a continuación.



Imagen 3.2.11. Soportes recubiertos con el cajón metálico blanco



Imagen 3.2.12. Montaje de los "bamboos" de la fachada

En las Imagen 3.2.12. se muestra el montaje de los elementos de la fachada, los denominados coloquialmente "bamboos", los cuales se van notando al mismo ritmo que se van ejecutando los forjados de partes más altas, es decir, se van montando desde la base con la ayuda de grúas y operarios montados en andamios.

Como se observa en la Imagen 3.2.11. además de la descripción anterior del recubrimiento de los soportes metálicos después del ignifugado, también se puede ver en la misma fotografía el montaje del suelo técnico de la planta. Todas las plantas de la torre constan de un suelo técnico por el que pasan instalaciones, de este modo, se ocultan, aquí y en el falso techo para dejar libres los paramentos y que no pasen canalizaciones que le resten belleza y claridad a los espacios interiores de la edificación.

Este suelo técnico se monta con "plots" sobre el suelo, previamente regularizado con un mortero, al cual se le van montando todas las guías metálicas a las que se le montarán las piezas finales de los pavimentos.



Imagen 3.2.13. Montaje del falso techo

En la imagen superior, se muestra como se monta el falso techo por el cual pasan las instalaciones tanto de acondicionamiento higrotérmico, y otro tipo de instalaciones necesarias para hacerlas ocultas. De este modo, como el falso techo se puede desmontar, en caso de alguna avería o problema con alguno de los conductos que circulan por el interior, se podría solucionar rápidamente sin necesidad de hacer obras costosas, como regatas u otros tipos de intervenciones que menospreciasen la calidad de los espacios interiores, del mismo modo que lo mencionado anteriormente con el suelo técnico, ninguna de las instalaciones se verían y también se posibilita la centralización de todas las instalaciones para una buena eficiencia energética y ahorro en el uso de energías.

3.3. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA EDIFICACIÓN

INFORMACIÓN TÉCNICA	
Emplazamiento	Barcelona
Años	2006-2010
Promotor	Consorti de la Franca de Barcelona
Usuario	Telefónica SA
Superficie de parcela	4044 m ²
Altura	110 m
Número de plantas	25 sobre rasante y 3 bajo rasante
Superficie construída sobre rasante	25300 m ²
Superficie construída bajo rasante	8622 m ²
Estudio de Arquitectura	EMBA_Estudi Massip-Bosch Arquitectes
Arquitecto Principal	Enric Massip-Bosch
Jefes de proyecto	Aleix Antillach, Elena Guim, Jon Ajánguiz
Arquitectos	Esteve Solà, Ricardo Mauricio Carlos Cachón, Cornelia Memm Cristina Feijoo, Heidi Reichenbacher, Rita Pacheco Rodrigo Vargas, Jana Alonso Marta Marcet, Mariana Arámburu
Arquitecto Prescriptor	Montse Galindo
Arquitecto Control Documental	Glòria Andrés
Ingeniería	Estudio de Ingeniería MC2

Tal y como ya se ha mencionado con anterioridad, en este proyecto se ha necesitado una estrecha colaboración entre arquitectura e ingeniería, para poder elaborar la estructura de forma adecuada, ya que el cálculo de este tipología es complicado.

El estudio que elaboró parte de este proyecto es el Estudio de Ingeniería MC2, con Julio Martínez Calzón a la cabeza,

Este estudio fue fundado en el año 1988 por Julio Martínez Calzón, Doctor Ingeniero en Caminos, Canales y Puertos, el cual ha impartido clases de estructuras en la Universidad Politécnica de Madrid, hasta el año 2003.

El ingeniero cuenta con cuarenta años de experiencia en la carrera, durante la cual ha trabajado en diferentes ámbitos, como estructuras singulares, puentes de ferrocarriles y de carreteras, espacios deportivos, pasarelas y torres, tipología correspondiente al proyecto de la Diagonal Zero Zero.

El estudio, ha colaborado en numerosos proyectos, como son el puente pretensado en el antiguo cauce del río Turia de Valencia, el primero de este tipo exterior en España o ser pionero en la utilización de acero inoxidable estructural, en el puente de Granadilla en Tenerife, en el año 1996.



Imagen 7.1.1. Fotografía de los componentes del Estudio de Ingeniería MC2

4. ESTRUCTURA: DEFINICIÓN Y MODELIZACIÓN

4.1. DEFINICIÓN Y FORMA DE TRABAJO DE LA ESTRUCTURA

En los epígrafes que se redactan a continuación, se explica la forma de trabajo de la estructura de la torre Diagonal Zero Zero.

Esta tipo de construcción de torres se ha convertido, recientemente, en un nuevo modelo de edificación, ya que combina la técnica más refinada de ingeniería con los aspectos arquitectónicos, referidos, en este caso, a lo estético.

Por todo esto, entre otros aspectos, la torre puede constituir un ejemplar claro de la combinación de estas dos disciplinas, llegando a ser unos de los últimos referentes de esta tipología edificatoria, que la técnica de hoy en día a logrado.

Aunque la Diagonal Zero Zero sea relativamente baja, el objetivo que se pretendía lograr era la consecución de un modelo que permitiese llegar a la máxima expresión, combinando ingeniería y arquitectura para lograr un modelo estructural que Enric Massip-Bosch pretendía desde sus primeras fases de proyecto, incluso diría, uno de los primeros planteamientos o ideas principales de este proyecto.



Imagen 4.1.1. Imagen exterior de la torre junto al Fòrum I

*“El concepto de tensibilidad ha guiado la búsqueda citada de soluciones consistentes. Tensibilidad es la propiedad inherente a las formas arquitectónicas que permite a los sistemas estructurales adaptarse a ellas de manera apropiada para conseguir, más que un esquema plenamente canónico de sus elementos estructurales que dé lugar a la mínima energía interna de deformación del sistema, un carácter muy cercano a la disposición, de manera que se consiga una armoniosa entidad de todos sus elementos, en un trabajo resistente altamente cualificado por varias partes. Por consiguiente, a mayor tensibilidad de una forma, mayor capacidad de incorporar una estructura de alta capacidad de incorporar una estructura de alta capacidad y economía resistente. Diagonal Zero Zero presenta una elevada tensibilidad, dada sobre todo por su forma en planta y por la fachada exterior portante, que enfatiza el logro de un sistema estructural de gran calidad resistente y constructiva idónea.”*Ricardo Merí de la Meza. (Noviembre 2015). EMBA Enric Massip-Bosch, Arquitectura 2005-2015. Valencia: Cuadernos TC.

La cita anterior refleja uno de los conceptos más relevantes, el de la tensibilidad, el cual, es uno de los principales factores a tener en cuenta para lograr todos los objetivos del proyecto.



Imagen 4.1.2. Imagen exterior de la torre junto al Fòrum II

En los epígrafes que se relatan a continuación describen cada uno de los elementos estructurales de la edificación.

En primer lugar, hablaremos de los soportes metálicos de la parte interior de la fachada. Aunque esta parte se ha descrito en el punto anterior 3. Construcción, ahora se hablara, de forma más discreta de la forma de trabajo de estos elementos.

SOPORTES METÁLICOS

Esta trama de soportes metálicos forman la parte interior de la malla de fachada que engloba al muro interior que se encuentra entre ella.



Imagen 4.1.3. Imagen interior de los soportes metálicos

Tal y como se muestra en la imagen superior, estos soportes forman una malla muy densa, ya que estos soportes están situados a 1,35 metros de distancia entre ellos, lo cual refleja una imagen muy regular de la parte inferior de la fachada.

Estos soportes actúan como parte fundamental, ya que son el principal componente, junto con el núcleo central de hormigón armado, para que la losa postesada de forjado pueda actuar y así, la denominada estructura

“tubo en tubo” pueda comportarse como desde un principio se definió en proyecto.

NÚCLEO CENTRAL DE HORMIGÓN ARMADO

Este elemento es indispensable en cuanto a estructura nos referimos, ya que, junto con los soportees mencionados anteriormente, son la parte principal de la estructura portante de la torre.

Este núcleo es el otro apoyo de la losa postesada, de esta forma, el forjado se conecta con este núcleo y los soportes para que pueda trabajar correctamente como se define en el proyecto.



Imagen 4.1.4. Imagen del núcleo interior de hormigón

Este núcleo de comunicaciones es, sin duda alguna, uno de los elementos más importante, ya que, además de su función estructural también alberga las comunicaciones verticales de la torre, las zonas húmedas y las de instalaciones donde están todos los conductos y maquinarias necesarias para un buen funcionamiento del acondicionamiento higrotérmico.

BAMBÚES DE LA FACHADA

Estos elementos, son la característica principal que distingue a la edificación, ya que son reconocibles desde distancias significativas y en pocas edificaciones se ha usado este tipo de estética en cuanto a aspecto exterior se refiere.

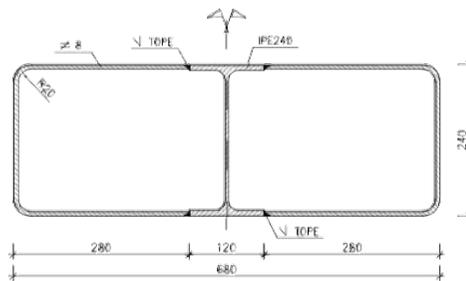
Estos bambúes, se diseñaron como un mero elemento decorativo, pero al llevarse a cabo y meterse más en el estudio de éstos, se descubrió que además de su función estética podían contribuir en la absorción de esfuerzos horizontales de viento y en su caso, de sismo, aunque no esté ubicado en una zona con coeficientes sísmicos elevados.

Por lo tanto, estos elementos absorben un 18% de las solicitaciones de viento, esfuerzos horizontales que se transmiten desde éstos hasta el núcleo central, los esfuerzos pasan desde los bambúes hasta la losa de forjado a través de las conexiones horizontales en el canto del forjado.

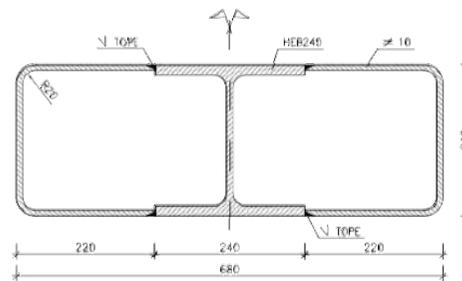
Estos esfuerzos, a la hora de la modernización en el programa de cálculo de estructuras *Architrave*, no se van a tener en cuenta, ya que el proceso de modelización de estos elementos es muy complejo y se requiere de una alta experiencia en este campo, y estos esfuerzos se simplifican llevándolas a través de los soportes metálicos mencionados anteriormente, y estos serán los encargados de transmitirlos, a través de la losa de forjado, hasta el núcleo central y de éste a la cimentación correspondiente.

A continuación se muestran los tipos de bambúes que aparecen en la fachada, en total se proyectan cuatro secciones diferentes en función de las necesidades de cada zona de la fachada en la que se encuentran.

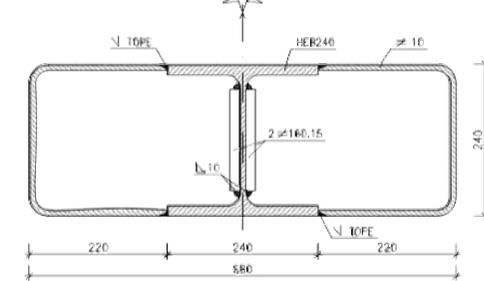
Todos están formados por perfiles metálicos abiertos, en forma de "H", colocados en el centro y unas pletinas en forma de "U" colocadas en sus laterales, las dimensiones son siempre las mismas, 680 x 240 milímetros, diferenciándose únicamente entre ellos lo mencionado anteriormente, siendo en unos casos perfiles HEB y en otros IPE.



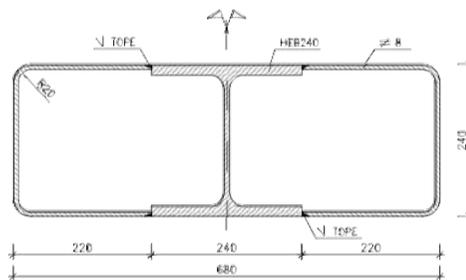
SECCION B1
ESCALA 1/5



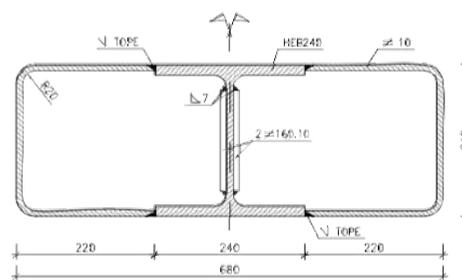
SECCION B3
ESCALA 1/5



SECCION B5
ESCALA 1/5



SECCION B2
ESCALA 1/5



SECCION B4
ESCALA 1/5

Imagen 4.1.5. Tipos de "bambúes" de la fachada

LOSA DE FORJADO

En cuanto a lo referente a las losas de forjado, en la publicación del libro de EMBA en la editorial Cuadernos TC, se describe este elemento de la siguiente forma:

*“En relación con los forjados de los pisos, constituidos por losas macizas de hormigón armado parcialmente **pretensado**, la especial forma en planta de la torre determina luces transversales muy variables entre el núcleo y la fachada, entre un mínimo de ocho metros y dieciséis a ambos lados de los vértices longitudinales del núcleo interior. Debido a la amplitud de estas dimensiones máximas y a la presencia de numerosos huecos interiores adyacentes a la fachada, el pretensado selectivo de las losas resulta necesario para controlar su espesor y para disminuir su peso y coste de las estructuras de piso.*

Por estas causas, las losas de hormigón se disponen elásticamente empotradas en el núcleo, prácticamente articuladas en su apoyo sobre la fachada interior de soportes verticales metálicos, donde se rematan mediante un dintel de recogida de la losa, lo cual da lugar, junto con los dos grandes tubos estructurales a un potente esquema estructural y funcional, capaz de hacer frente, conjuntamente a todos los requerimientos del edificio con gran eficacia: gravitatorios, térmicos, eólicos y sísmicos, entre otros.

EL sistema genérico se complica de forma apreciable por la presencia de varios vaciados interiores. Uno de ellos es el gran atrio de nueve plantas que se inicia en planta baja; otro es el atrio que arranca en la planta diecisiete y posee siete plantas de altura hasta la cubierta, y otros dos de dos plantas de altura para la sala de actos y la sala del Consejo. En estos atrios, la estructura interior de fachada no está arrojada por los forjados y da lugar a longitudes de pandeo de los soportes interiores muy elevadas, que requerirían unas dimensiones enormes de las piezas verticales para salvar la altura sin arriostamiento. Fue necesario disponer de unas piezas transversales de dintel, de gran rigidez en el plano horizontal, capaces de recoger las acciones de pandeo y transferirlas hasta las losas macizas.

Estas piezas mencionadas anteriormente, las llamadas vigas de atrio, son de carácter mixto: constan de un sistema metálico que tienen como cabezas el perfil en el exterior y una pieza análoga en el interior, y están rellenas de hormigón. Las dos piezas se unen entre sí mediante una chapa de acero inferior continua, que hace el papel de alma del dintel.”Ricardo Merí de la Meza. (Noviembre 2015). EMBA Enric Massip-Bosch, Arquitectura 2005-2015. Valencia: Cuadernos TC.



Imagen 4.1.6. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos I

VIGAS DE PATIO

Tal y como se cita en cuadernos TC, las vigas de patio poseen la siguiente función indispensable para el correcto funcionamiento de todo el conjunto.

Estas piezas metálicas semi abiertas así constituidas se completan con una parrilla ligera de armadura superior y con pernos de conexión. Tras el hormigado del espacio abierto entre perfiles, dan lugar a potentes piezas mixtas que tienen por sí mismas la estabilidad al fuego requerida.

Las uniones de la estructura exterior con le resto del sistema global de la estructura se llevan a cabo disponiendo elementos tubulares ortogonales a la fachada, soldados en taller a los nudos del entramado de bambú. Estos tubos se introducen en las losas de forjado a través de una perforación circular en la pieza de acero del borde de dichos forjados y se alojan en el interior de una caja metálica rectangular, abierto en sus caras inferior y superior, dispuesta en el interior de dichos forjados. A continuación, se suelda el tubo de unión de la chapa dorsal de la caja, se sueldan al tubo y a la chapa dorsal unos rigidizadores radiales que contribuyen a la transferencia de la carga. Estos rigidizadores se unen a posteriori, una vez colocado el tubo en su posición final. Tras el sellado de la entrada del tubo, se efectúa el hormigonado de las cajas mediante inyección (grout) de alta resistencia, de modo que las uniones quedan perfectamente empotradas.



Imagen 4.1.7. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos II



Imagen 4.1.8. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos III

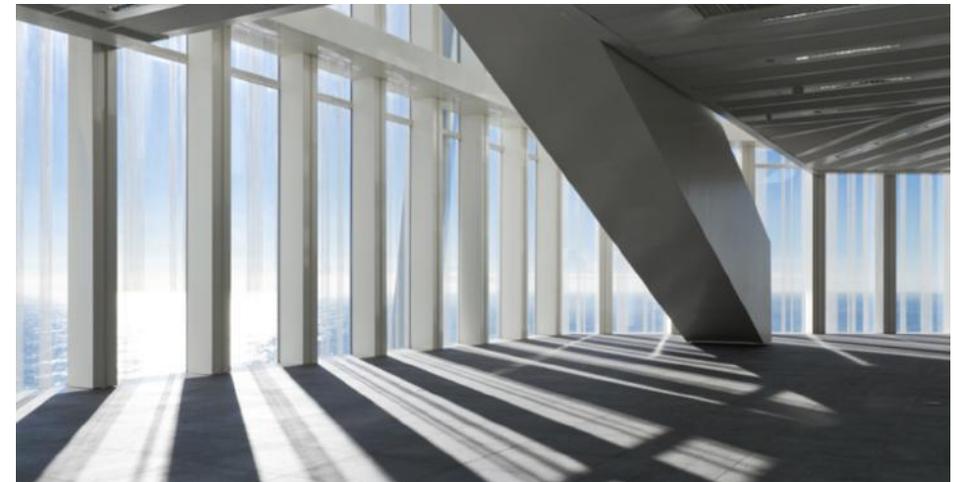


Imagen 4.1.9. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos IV

4.2 CÁLCULO DE LA CARGA DE VIENTO

La acción de viento puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

siendo:

q_b = la presión dinámica del viento. c_e = el coeficiente de exposición.

c_p = el coeficiente eólico o de presión.

Para llegar a obtener la acción del viento calculamos por un lado el valor obtenido para cada fachada, en cada una de las hipótesis de viento consideradas, y por otro lado, la carga superficial de viento sobre la cubierta.

En primer lugar, la presión dinámica q_b , determinada por la ubicación, en la figura D1 del Anejo D. Acción del viento del DB SE - AE. En el caso de este emplazamiento, zona **C = 0,52 kN/m²**, por estar en zona C (Barcelona).



Imagen 4.1.8. Mapa zonas de exposición al viento

En segundo lugar, el coeficiente de exposición c_e . Depende de la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción.

Se determina de acuerdo con lo establecido en 3.3.3. del DB SE - EA.

En este apartado se determina el grado de aspereza del entorno según la tabla 3.4 Valores del coeficiente de exposición c_e .

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Imagen 4.1.9. Valores del coeficiente de exposición

En este caso, esta tabla no se adapta la altura total del proyecto, ya que la torre tiene 110 metros de alto. Por lo tanto, se va a proceder a utilizar la tabla D.2 correspondiente con los coeficientes de exposición en función del tipo de entorno.

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Imagen 4.1.10. Coeficientes para tipo de entorno

En la Tabla D.2. Coeficientes de exposición, se selecciona el Grado IV correspondiente a Zona urbana en general, industrial o forestal, con los siguientes parámetros de k, L y Z:

$$\begin{aligned}k &= 0,22 \\L &= 0,3 \text{ m} \\Z &= 5,0 \text{ m}\end{aligned}$$

$$C_e = F (F + 7K) = 1,298 (1,298 + 7 \cdot 0,22) = \mathbf{3,6837}$$

$$F = K \ln (\max (z, Z)/L) = 0,22 \ln (110/0,3) = 0,22 \cdot 5,90 = 1,298$$

En tercer lugar, el coeficiente eólico o de presión c_p , depende de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión.

Su valor se establece en los apartados 3.3.4 y 3.3.5. del DB SE - EA.

FACHADAS

Para determinarlo, según el documento básico, en edificios de pisos, con forjados que conectan todas las fachadas a intervalos regulares, con huecos o ventanas pequeños practicables o herméticos, y compartimentados interiormente, para el análisis global de la estructura, bastará considerar coeficientes eólicos globales a barlovento y sotavento, aplicando la acción de viento a la superficie proyección del volumen edificado en un plano perpendicular a la acción de viento.

Ya como se ha explicado anteriormente, dada la geometría en planta de la torre, la forma de incidir el viento en cada una de las fachadas se podría calcular a pares, es decir, podría considerarse simétrica respecto un eje imaginario colocado en el centro. De esta forma, la parte larga de la fachada constaría de 53,50 metros, mientras que la corta de 26,26 metros aproximadamente, y considerando la altura total de la torre, los 110 metros.

De esta forma, se calcula con la altura total y se va reduciendo la incidencia del viento en función de la reducción de su altura.

Así, para calcular los coeficientes de presión y succión se tiene que utilizar la tabla siguiente, la Tabla 3.4 Coeficiente eólico en edificios de pisos.

Tabla 3.4 Coeficiente eólico en edificios de pisos

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≤ 5,00
Coeficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coeficiente eólico de succión, c_s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	0,6	0,7

Imagen 4.1.11. Coeficiente eólico en edificios de pisos

La esbeltez en cada una de las fachadas es, $110/53,50 = 2,056$ en la fachada larga y, $110/26,26 = 4,19$ en la fachada más corta del proyecto.

Con estos dos valores, el 2,056 y el 4,19 se entra en la Tabla superior, tomando, en ambos casos el valor $\leq 5,00$, obteniendo un coeficiente de presión $C_p = 0,8$ y $C_s = 0,7$, correspondiente a la succión.

Finalmente, se aplica la fórmula mencionada en el principio de éste epígrafe:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Recordando los valores que ya habíamos calculado, $q_b = 0,52$ y $c_e = 3,6837$, por lo tanto:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,52 \cdot 3,6837 \cdot 0,80 = \mathbf{1,53} \text{ (BARLOVENTO)}$$

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,52 \cdot 3,6837 \cdot 0,70 = \mathbf{1,34} \text{ (SOTAVENTO)}$$

4.3. CÁLCULO DE CARGAS PERMANENTES Y VARIABLES

Para la asignación de las cargas que le llegan a cada forjado, se toma como base el procedimiento que establece el CTE, es decir, aparecen tres tipos de cargas distintas, las cargas permanentes, las variables y las accidentales.

En la asignación de cargas en este proyecto, se van a tener en cuenta únicamente las dos primeras, es decir, las cargas permanentes y las variables.

Dada la complejidad de la modelización de este proyecto, únicamente se va a asignar la carga correspondiente al viento, calculado anteriormente, a parte de las mencionadas anteriormente.

CARGAS PERMANENTES

Las cargas permanentes están formadas, básicamente por los pesos propios de los elementos estructurales y constructivos, de los pavimentos, forjados, falsos techos, instalaciones, etc.

En este proyecto, el peso de los elementos estructurales es un elevado porcentaje respecto a toda la carga permanente, ya que tanto el núcleo central y los forjados son de hormigón armado.

· FORJADOS

Se va a proceder a hacer una estimación del área de los forjados, ya que cada uno de ellos es diferente al anterior a causa de la existencia de patios, siempre distintos, por lo tanto;

Peso Propio Forjados (losas)= $1100 \cdot 0,30 \cdot 35/1000 = 11,55 \text{ KN/m}^2$

· TABIQUERÍA

Se toma como tabiquería ordinaria distribuida uniformemente, en aquellas plantas en las que aparecen salas de reuniones, despachos y oficinas cerradas, en las que ha sido necesaria la tabiquería, únicamente en las plantas 2,3 4, 22 y 23.

1 KN/m²

· PAVIMENTOS

Se toma como valor medio de suelo técnico;
0,70 KN/m²

· FALSOS TECHOS E INSTALACIONES COLGADAS

Se toma como valor correspondiente a estas cargas el siguiente;

0,5 KN/m²

PESO TOTAL DE CARGAS PERMANENTES

$11,55 + 1 + 0,70 + 0,50 = 13,75 \text{ KN/m}^2$ (en plantas con tabiquería)

$11,55 + 0,70 + 0,50 = 12,75 \text{ KN/m}^2$ (en plantas sin tabiquería)

PLANTAS	CARGA PERMANENTE
PLANTAS SIN TABIQUERÍA (PLANTAS 2,3,4,22 Y 23)	12,75 KN/m ²
PLANTAS CON TABIQUERÍA (RESTO DE LAS PLANTAS)	13,75 KN/m ²

En la tabla anterior se muestra un resumen de las cargas permanentes correspondientes a cada una de las plantas en función del uso al que se destinan, diferenciando, claramente, las que son diáfanas y se toman como abiertas y las que poseen estancias cerradas como oficinas, despachos y salas de reuniones, correspondientes a las que en ellas existen elementos de partición, como son las tabiquerías y plantas diáfanas en las que estos elementos no existen.

CARGAS VARIABLES

Tabla 3.1 Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾	2
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Imagen 4.1.12. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Como muestra la tabla anterior, la Tabla 3.1. correspondiente a los valores característicos de sobrecargas de uso, nos encontramos en el tipo C, Zona de acceso al público (con excepción de superficies pertenecientes a las categorías A, B y D), en concreto en el tipo C3, zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas, como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles, salas de exposiciones de museos, etc.

Se ha escogido este apartado porque, aun siendo la torre un edificio mayormente administrativo, la mayoría de las plantas son diáfanas, sin tabiquería interior y sin particiones entre el núcleo de comunicaciones vertical y el muro cortina de la fachada.

Correspondiente a este tipo escogido, el C3, la carga variable uniforme es 5 KN/m², mientras que la carga concentrada es de 4 KN/m².

Se utilizará la carga de 5 KN/m², es decir, la uniformemente repartida, para las correspondientes a las zonas donde las oficinas son abiertas y diáfanas.

En las áreas de administración, es decir, de oficinas cerradas en despachos tanto como salas de reuniones, el tipo de carga correspondiente es la del Tipo B, Zonas Administrativas, donde la carga uniforme es de 2 KN/m², coincidiendo con la carga concentrada que también es de 2 KN/m².

Por último, en la cubierta, se trata de una cubierta plana, transitable sólo por su mantenimiento, con lo cual, la carga uniforme correspondiente es de 1 KN/m², coincidente con el tipo de carga correspondiente en la tabla G1.

PLANTA	CARGA VARIABLE
DE LA PB A LA PLANTA 1	5 KN/m ²
PLANTA 2,3 Y 4	2 KN/m ²
DE LA PLANTA 5 LA PLANTA 21	5 KN/m ²
DE LA PLANTA 22 A LA PLANTA 23	2 KN/m ²
CUBIERTA	1 KN/m ²

En la tabla anterior se muestra un resumen de las cargas variables correspondientes a cada una de las plantas en función del uso al que se destinan, diferenciando, claramente, las que son diáfanas y se toman como abiertas y las que poseen estancias cerradas como oficinas, despachos y salas de reuniones.

Por lo tanto, para concluir en todo este tema de cargas, se van a asignar en el programa Architrave las cargas anteriormente calculadas, tanto las permanentes como las variables y las cargas correspondientes a los esfuerzos horizontales generados por el viento.

4.4. COMBINACIÓN DE CARGAS

A continuación, para una correcta aplicación de las cargas calculadas con anterioridad, se debe realizar la combinación de cargas, tal y como se indica en el Código Técnico de la Edificación (CTE), en concreto en su apartado DB-SE: Documento Básico Seguridad Estructural, en el apartado 4: Verificaciones basadas en coeficientes parciales, en el punto 4.2.2: Combinación de acciones.

En este apartado se establece la combinación de acciones para situaciones persistentes es:

4.2.2 Combinación de acciones

- 1 El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.3)$$

es decir, considerando la actuación simultánea de:

- todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluido el pretensado ($\gamma_P \cdot P$);
- una acción variable cualquiera, en valor de cálculo ($\gamma_Q \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación ($\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$).

Los valores de los coeficientes de seguridad, γ , se establecen en la tabla 4.1 para cada tipo de acción, atendiendo para comprobaciones de resistencia a si su efecto es desfavorable o favorable, considerada globalmente.

Para comprobaciones de estabilidad, se diferenciará, aun dentro de la misma acción, la parte favorable (la estabilizadora), de la desfavorable (la desestabilizadora).

Los valores de los coeficientes de simultaneidad, ψ , se establecen en la tabla 4.2

- 2 El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación extraordinaria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.4)$$

es decir, considerando la actuación simultánea de:

- todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluido el pretensado ($\gamma_P \cdot P$);
- una acción accidental cualquiera, en valor de cálculo (A_d), debiendo analizarse sucesivamente con cada una de ellas.
- una acción variable, en valor de cálculo frecuente ($\gamma_Q \cdot \psi_1 \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal, una tras otra sucesivamente en distintos análisis con cada acción accidental considerada.
- El resto de las acciones variables, en valor de cálculo casi permanente ($\gamma_Q \cdot \psi_2 \cdot Q_k$).

En situación extraordinaria, todos los coeficientes de seguridad ($\gamma_G, \gamma_P, \gamma_Q$), son iguales a cero si su efecto es favorable, o a la unidad si es desfavorable, en los términos anteriores.

- 3 En los casos en los que la acción accidental sea la acción sísmica, todas las acciones variables concomitantes se tendrán en cuenta con su valor casi permanente, según la expresión

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.5)$$

Imagen 4.1.13. Apartado 4.2.2. del CTE DB-SE

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente	1,35	0,80
	Peso propio, peso del terreno		
	Empuje del terreno		
	Variable	1,20	0,90
		1,50	0
		desestabilizadora	estabilizadora
Estabilidad	Permanente	1,10	0,90
	Peso propio, peso del terreno		
	Empuje del terreno		
	Variable	1,05	0,95
		1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Imagen 4.1.14. Coeficientes de seguridad para acciones

En el apartado anterior se muestra una tabla donde se muestran los coeficientes de seguridad para las acciones en la edificación, dichos coeficientes se aplican para mayorar las cargas y aumentar la seguridad, tal y como indica el Código Técnico de la Edificación.

En este caso, utilizaremos únicamente el coeficiente correspondiente a situaciones desfavorables en el caso de acciones permanentes y variables, siendo. para el primer caso el valor de 1.35 v para el seaundo 1.50.

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

Imagen 4.1.15. Coeficientes de simultaneidad

Los coeficientes de seguridad de la tabla anterior, es decir la Tabla 4.2. Coeficientes de simultaneidad, muestran los coeficientes que se deben aplicar en las sobrecargas superficiales de uso.

Nos situaríamos entre la Categoría B y la Categoría C, es decir, la B corresponde a zonas administrativas, por las zonas de oficinas que se encuentran en el interior de la edificación y la C, correspondiente a zonas destinadas al público, ya que la torre está abierta al público en alguna de sus plantas, por lo tanto, lo más oportuno sería considerarla como Categoría B porque la mayoría de ellas están destinadas a uso de oficinas, es decir, administrativo.

Resumiendo, los coeficientes de simultaneidad adoptados deben ser:

$$\psi_0 = 0,70$$

$$\psi_1 = 0,50$$

$$\psi_2 = 0,30$$

A parte de estos coeficientes referidos al uso, también tenemos que considerar los valores coeficientes correspondientes al viento, siendo éstos:

$$\psi_0 = 0,60$$

$$\psi_1 = 0,50$$

$$\psi_2 = 0$$

En este caso, no se van a tener en cuenta los coeficientes de simultaneidad de nieve, ya que esta hipótesis no se ha considerado en el cálculo de las cargas.

COMBINACIONES ELU

I: CUANDO LA CARGA PERMANENTE ES DE 13,75 KN/m² (TABIQUERÍA) Y SOBRECARGA DE USO DE 5 KN/m²

COMBINACIÓN 1 ELU: Sobrecarga de uso viento barlovento.

$$C1 = 1,35 \cdot 13,75 + 1,50 \cdot 5 + 1,50 \cdot 1,53 = 18,57 + 7,50 + 2,295 = 28,37$$

COMBINACIÓN 2 ELU: Sobrecarga de uso viento sotavento.

$$C1 = 1,35 \cdot 13,75 + 1,50 \cdot 5 + 1,50 \cdot 1,34 = 18,57 + 7,50 + 2,01 = 28,085$$

II: CUANDO LA CARGA PERMANENTE ES DE 12,75 KN/m² (SIN TABIQUERÍA) Y SOBRECARGA DE USO DE 5 KN/m²

COMBINACIÓN 1 ELU: Sobrecarga de uso viento barlovento.

$$C1 = 1,35 \cdot 12,75 + 1,50 \cdot 5 + 1,50 \cdot 1,53 = 17,21 + 7,50 + 2,295 = 27,005$$

COMBINACIÓN 2 ELU: Sobrecarga de uso viento sotavento.

$$C1 = 1,35 \cdot 12,75 + 1,50 \cdot 5 + 1,50 \cdot 1,34 = 17,21 + 7,50 + 2,01 = 26,72$$

III: CUANDO LA CARGA PERMANENTE ES DE 13,75 KN/m² (SIN TABIQUERÍA) Y SOBRECARGA DE USO DE 2 KN/m²

COMBINACIÓN 1 ELU: Sobrecarga de uso viento barlovento.

$$C1 = 1,35 \cdot 13,75 + 1,50 \cdot 2 + 1,50 \cdot 1,53 = 18,57 + 3 + 2,295 = 23,87$$

COMBINACIÓN 2 ELU: Sobrecarga de uso viento sotavento.

$$C1 = 1,35 \cdot 13,75 + 1,50 \cdot 2 + 1,50 \cdot 1,34 = 18,57 + 3 + 2,01 = 23,58$$

IV: CUANDO LA CARGA PERMANENTE ES DE 12,75 KN/m² (SIN TABIQUERÍA) Y SOBRECARGA DE USO DE 2 KN/m²

COMBINACIÓN 1 ELU: Sobrecarga de uso viento barlovento.

$$C1 = 1,35 \cdot 12,75 + 1,50 \cdot 2 + 1,50 \cdot 1,53 = 17,21 + 3 + 2,295 = 25,92$$

COMBINACIÓN 2 ELU: Sobrecarga de uso viento sotavento.

$$C1 = 1,35 \cdot 12,75 + 1,50 \cdot 2 + 1,50 \cdot 1,34 = 17,21 + 3 + 2,01 = 25,635$$

La combinación más desfavorable, en el caso de las ELU, es la I, es decir, cuando la carga permanente es de 13,75 KN/m² y la variable de 5 KN/m², teniendo en cuenta el viento de barlovento, es decir, actuante con una fuerza de 1,53 KN/m², por lo tanto, la más desfavorable es 28,37 KN/m².

COMBINACIONES ELS

I: CUANDO LA CARGA PERMANENTE ES DE 13,75 KN/m² (TABIQUERÍA) Y SOBRECARGA DE USO DE 5 KN/m²

COMBINACIÓN 1 ELS: Sobrecarga de uso viento barlovento.

$$C1= 13,75 + 5 + 1,53= 20,28$$

COMBINACIÓN 2 ELS: Sobrecarga de uso viento sotavento.

$$C1= 13,75 + 5 + 1,34= 20,09$$

II: CUANDO LA CARGA PERMANENTE ES DE 12,75 KN/m² (SIN TABIQUERÍA) Y SOBRECARGA DE USO DE 5 KN/m²

COMBINACIÓN 1 ELS: Sobrecarga de uso viento barlovento.

$$C1= 12,75 + 5 + 1,53=19,28$$

COMBINACIÓN 2 ELS: Sobrecarga de uso viento sotavento.

$$C1= 12,75 + 5 + 1,34= 19,09$$

III: CUANDO LA CARGA PERMANENTE ES DE 13,75 KN/m² (SIN TABIQUERÍA) Y SOBRECARGA DE USO DE 2 KN/m²

COMBINACIÓN 1 ELS: Sobrecarga de uso viento barlovento.

$$C1= 13,75 + 2 + 1,53= 17,28$$

COMBINACIÓN 2 ELS: Sobrecarga de uso viento sotavento.

$$C1= 13,75 + 2 + 1,34= 17,09$$

IV: CUANDO LA CARGA PERMANENTE ES DE 12,75 KN/m² (SIN TABIQUERÍA) Y SOBRECARGA DE USO DE 2 KN/m²

COMBINACIÓN 1 ELS: Sobrecarga de uso viento barlovento.

$$C1= 12,75 + 2 + 1,53= 16,28$$

COMBINACIÓN 2 ELS: Sobrecarga de uso viento sotavento.

$$C1= 12,75 + 2 + 1,34= 16,09$$

La combinación más desfavorable, en el caso de las ELS, es la I, es decir, cuando la carga permanente es de 20,28 KN/m² y la variable de 5 KN/m², teniendo en cuenta el viento de barlovento, es decir, actuante con una fuerza de 1,53 KN/m², por lo tanto, la más desfavorable es 20,28 KN/m².

4.5. MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA

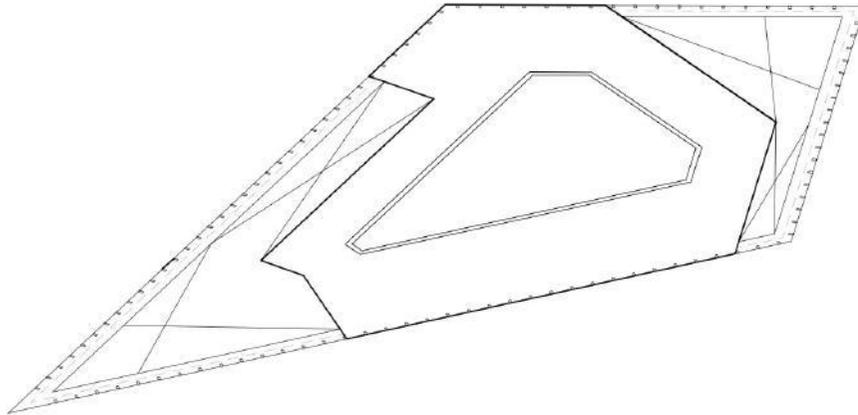


Imagen 4.1.16. Modelo Autocad_Planta baja

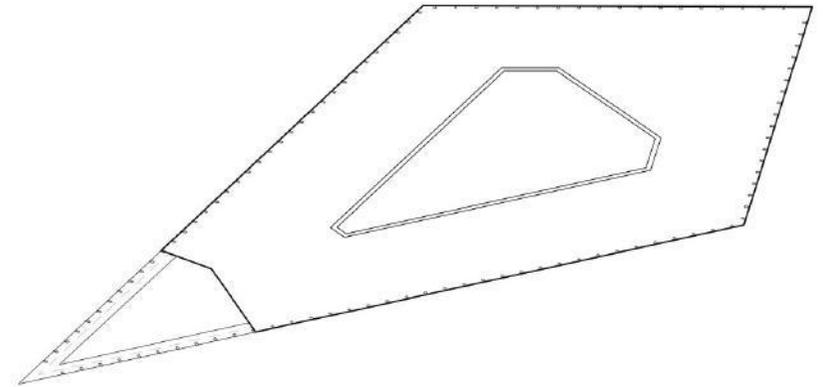


Imagen 4.1.18. Modelo Autocad_Planta séptima

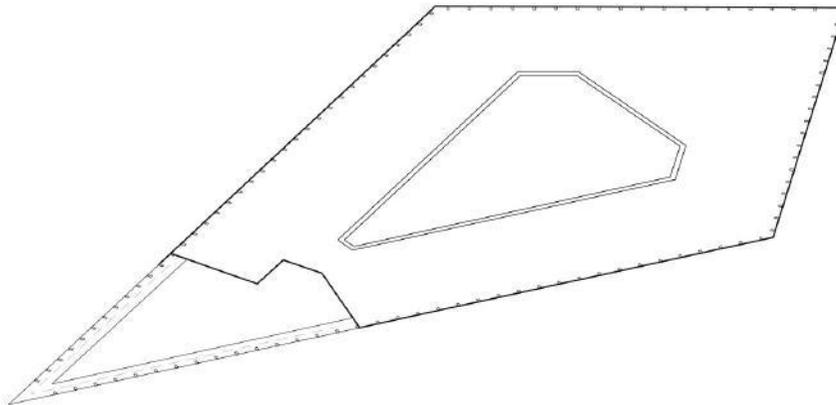


Imagen 4.1.17. Modelo Autocad_Planta primera

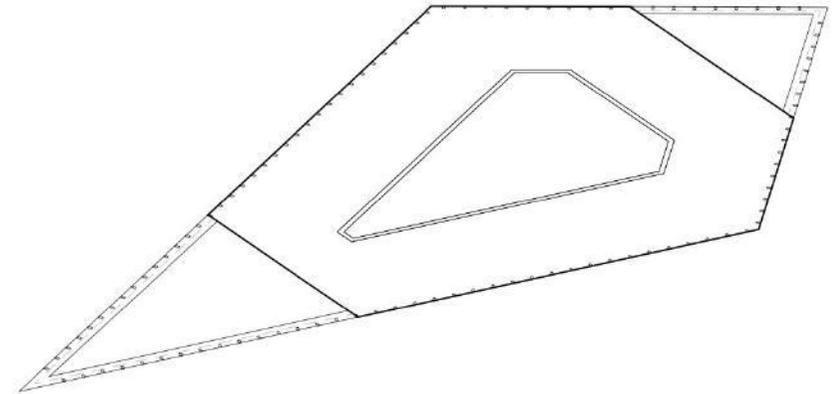


Imagen 4.1.19. Modelo Autocad_Planta veinticuatroava

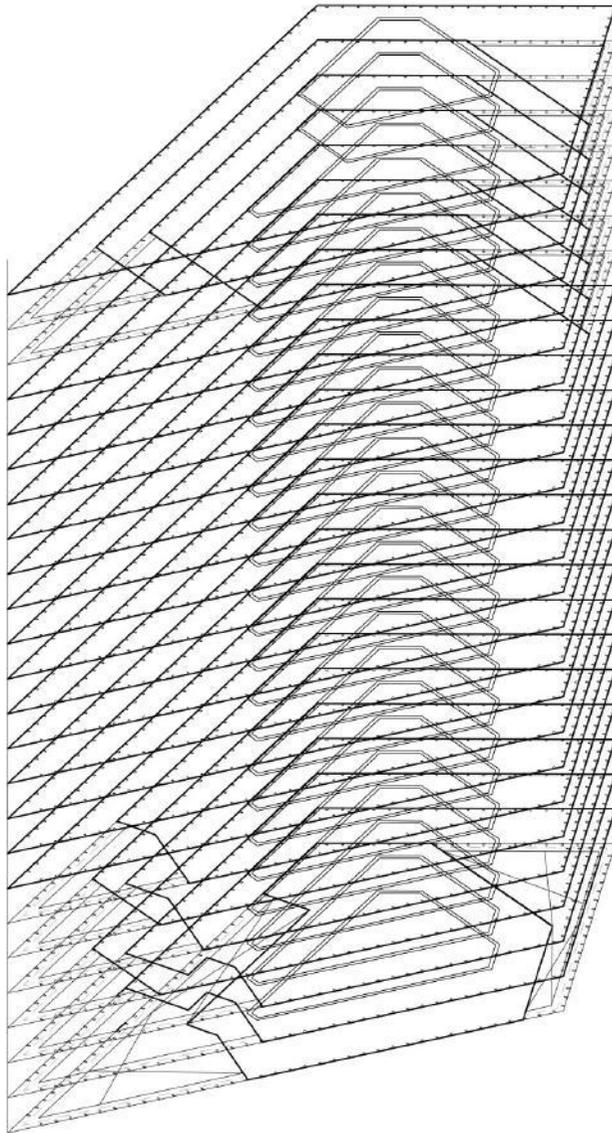


Imagen 4.1.20. Modelo Autocad_Axonometría

En las imágenes anteriores se muestra la modelización de la torre Diagonal Zero Zero.

Ésta se ha realizado con el programa de diseño Autocad Architecture, modelando cada una de las veinticinco plantas una a una, todas ellas diferentes a causa de sus diferentes patios, cada uno de un tamaño diferente y forma.

Cuando todas las líneas estaban, se cargó la aplicación de Architrave, en la cual se le asignaron espesores, materiales y perfiles a los elementos anteriormente dibujados.

Lo primero que se modelizó fue el núcleo central de hormigón armado, el cual, en todas las plantas se le asignó un espesor de 35 centímetros.

Posteriormente, se le asignó a los forjados de losas una malla de elementos finitos, los cuales, sus vértices debían coincidir con los vértices de las particiones del muro de hormigón armado central. Este proceso, casi con seguridad, ha sido el más complejo, ya que hacer coincidir todos los vértices es un trabajo, en ocasiones muy complejo.

A los soportes metálicos, se le asignó un perfil HEB-100, además, el vértice inferior de estos soportes también debía de coincidir con una polilínea que uniera estos soportes con la malla de elementos finitos de la losa de forjado.

Junto con la asignación de los soportes, también se le asignó a las vigas de patio unos perfiles metálicos de sección cerrada, los cuales, debían coincidir con los vértices de las losas de forjado.

Por último, la parte más compleja es la de dibujar los bambúes de cada una de las cuatro fachadas, ya que los enganches de éstos con el borde de las losas de forjado.

Este procedimiento ha sido el más costoso, ya que cada una de las cuatro fachadas es distinta, los bambúes no se rigen por ninguna ley clara y regular, siendo muy difícil su comprensión y por lo tanto su elaboración.

Los bambúes, en la imagen adjunta no aparecen, ya que dificultan la lectura de todo el conjunto estructural, así como las líneas que se corresponden con los soportes metálicos, pero sí los rectángulos que indican su punto de inserción en cada una de las plantas.

5. MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ARCHITRAVE Y APLICACIÓN DE LAS CARGAS

5.1. PROCESO DE MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL EN ARCHITRAVE

El proceso de modelización de la estructura es el descrito en el punto anterior, explicado con las imágenes que ayudan a comprender un poco más este procedimiento.

Este modelo creado en Autocad Architecture, aunque también puede crearse en Autocad, empiezan con un procedimiento relativamente sencillo, es decir, únicamente se tienen que trasladar las plantas obtenidas mediante una búsqueda bibliográfica, mediante líneas y otros comandos, escalando y plasmando las líneas base, o sea, solamente las necesarias para la comprensión de la estructura, no se necesita dibujar las distribuciones ni particiones interiores, ni tampoco divisiones en las fachadas.

Posterior a la realización de estas plantas, se carga la aplicación de Architrave dentro del mismo archivo de Autocad, para asignar a cada línea base dibujada un espesor y material para que el programa los reconozca como elementos estructurales y se pueda realizar el cálculo directamente.

Una vez asignados a todos los elementos una sección, se colocan los elementos de conexión con el terreno, es decir, la cimentación, debajo de los muros se asigna una zapata corrida y debajo de los soportes metálicos de la parte interior de la fachada, zapatas aisladas.

De este modo, se conecta todo el modelo estructural con el suelo, sin este paso, es imposible llegar a un cálculo estructural válido, el programa directamente no calcula, toda la estructura debe estar conectada con el suelo.

Cuando todo el procedimiento anterior está terminado, se le aplican las cargas a la estructura, este proceso se puede realizar de diferentes formas, aunque la más habitual, siempre que el modelo lo permita, es la de aplicar cargas sobre barras, de este modo, se aplican las cargas gravitatorias sobre elementos lineales, es decir, vigas o muros, en este caso sobre las vigas de patio, otra forma, necesaria para aplicarlas en este modelo es sobre elementos finitos, esto se corresponde con las mallas de hormigón de los forjados, sobre los cuales se aplican las cargas gravitatorias calculadas con anterioridad. Finalmente, se aplica la carga de horizontal de viento, la cual se ha aplicado como fuerza puntual sobre los nudos de las mallas, aunque en la realidad sea una carga linealmente repartida, ha sido necesario modelizarla de esta forma para poder agilizar el proceso de aplicación de las cargas de viento.

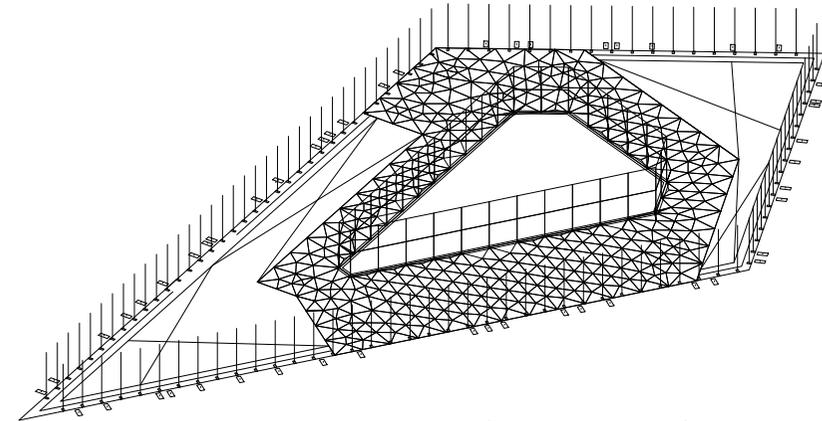


Imagen 5.1.1. Planta primera con elementos asignados

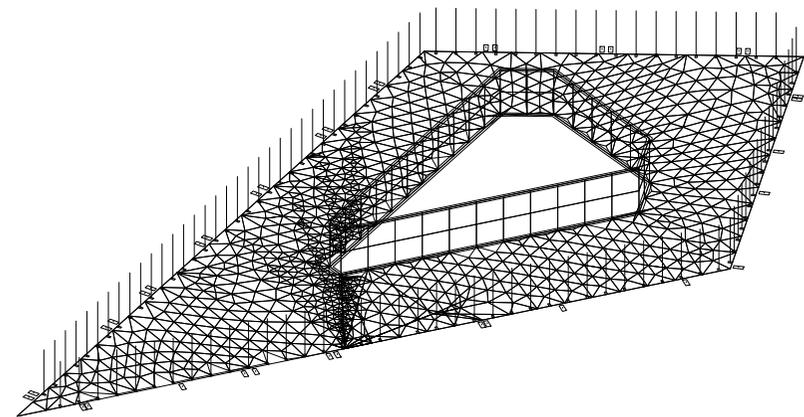


Imagen 5.1.2. Planta baja con elementos asignados

5.2. DETECCIÓN DE PROBLEMAS DURANTE LA MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL

Durante este proceso, han surgido numerosos problemas, errores de concepto, de comprensión del programa o de comprensión del modelo estructural, ya que este, en ocasiones ha sido de difícil comprensión, ya que la denominada estructura "tubo en tubo", era algo novedoso, la cual no había estudiado con anterioridad.

El problema fundamental, en general, ha sido en el momento del cálculo de todo el conjunto estructural, ya que las primeras veces, la estructura no calculaba y no sabía cual era el error. Finalmente, la equivocación recaía en el enlace de todos los elementos entre sí, es decir, todos los nudos tienen que estar conectados entre sí y, en un modelo con tantos elementos diferentes a realizar, las losas de forjado, los soportes metálicos, las vigas de patio y el muro de hormigón armado.

Para solucionar esto, se ha recurrido a un comando a la hora de ejecutar las losas, éstas debían tener sus elementos finitos, en la parte exterior, la de los soportes, cada 1,35, la distancia que los separa y, en la parte del muro central, cada 2 metros que es la división que se le asignó a la hora de modelizarlo.

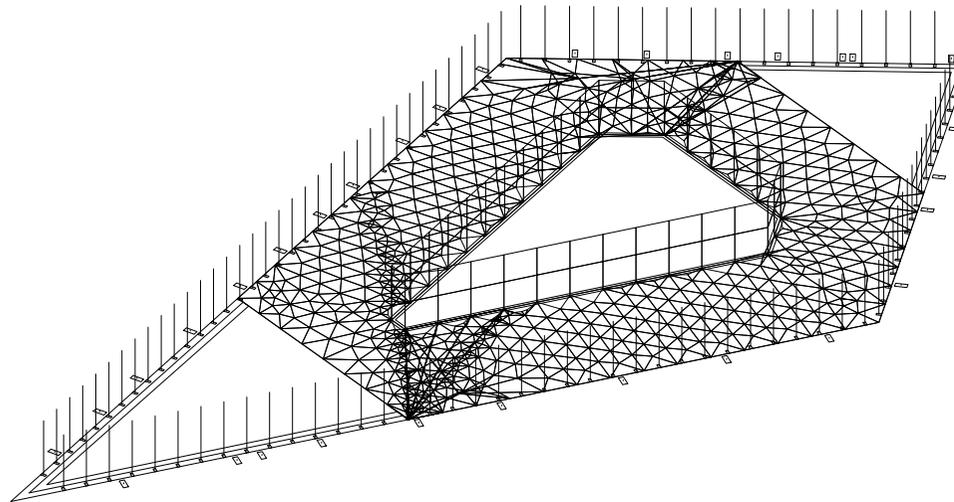


Imagen 5.2.1. Planta novena con elementos asignados

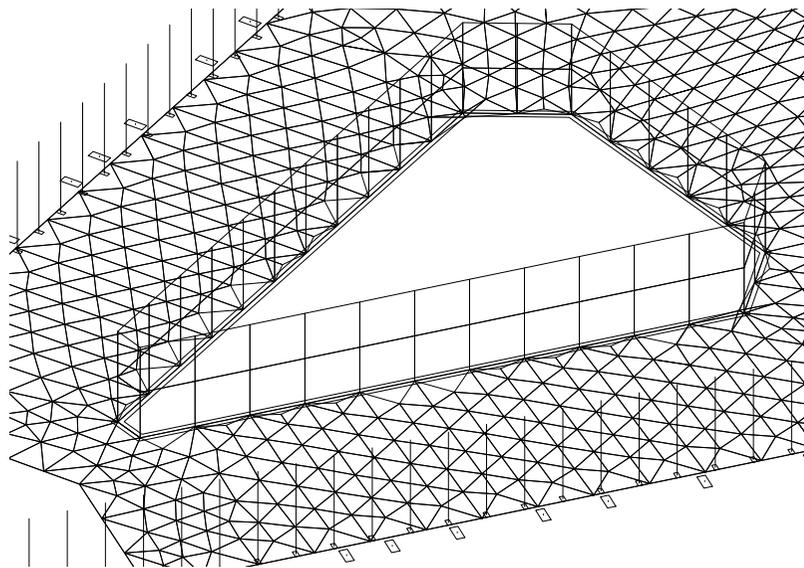


Imagen 5.2.2. Detalle de la modelización

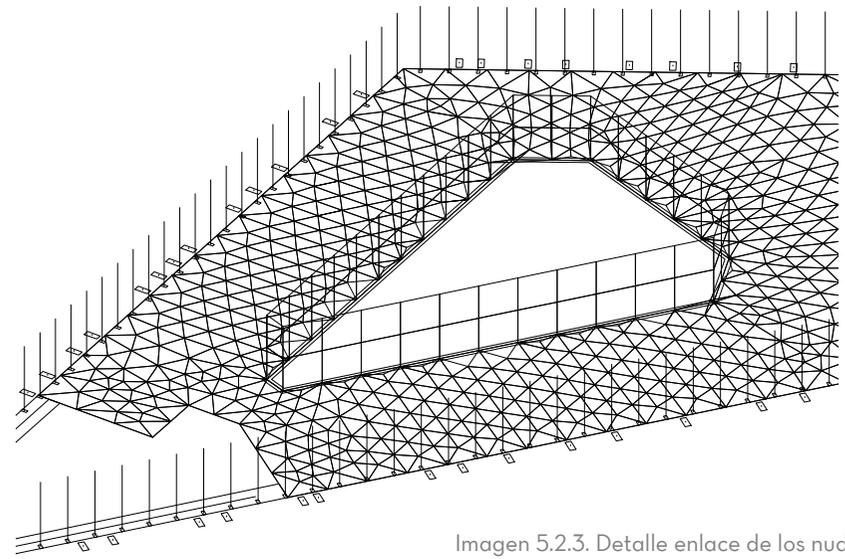


Imagen 5.2.3. Detalle enlace de los nudos

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se van a analizar los resultados obtenidos mediante capturas de pantalla, las cuales, están extraídas directamente del programa de cálculo de estructuras Architrave.

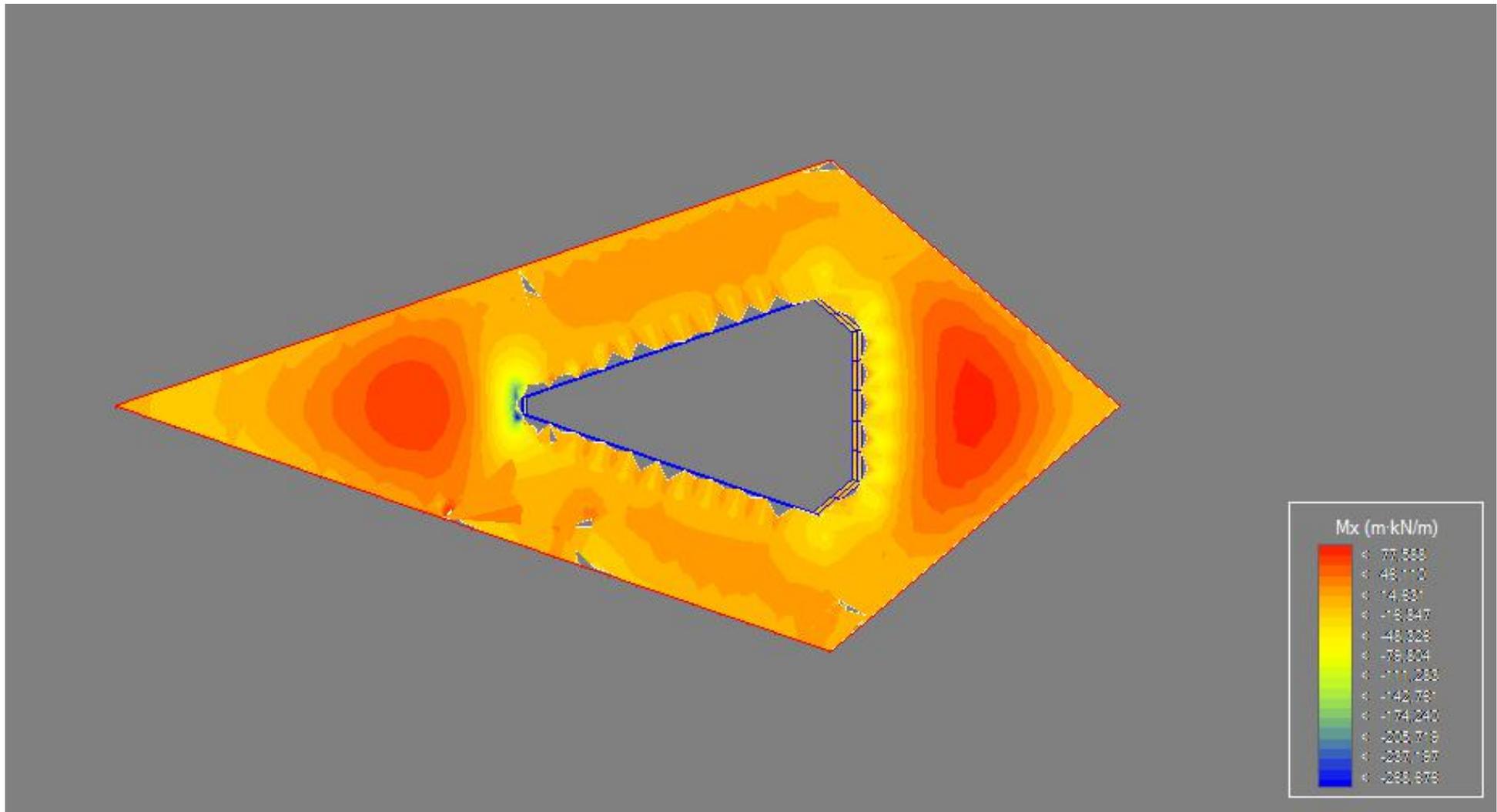


Imagen 6.1.1. Diagrama de M_x de un forjado tipo en ELU

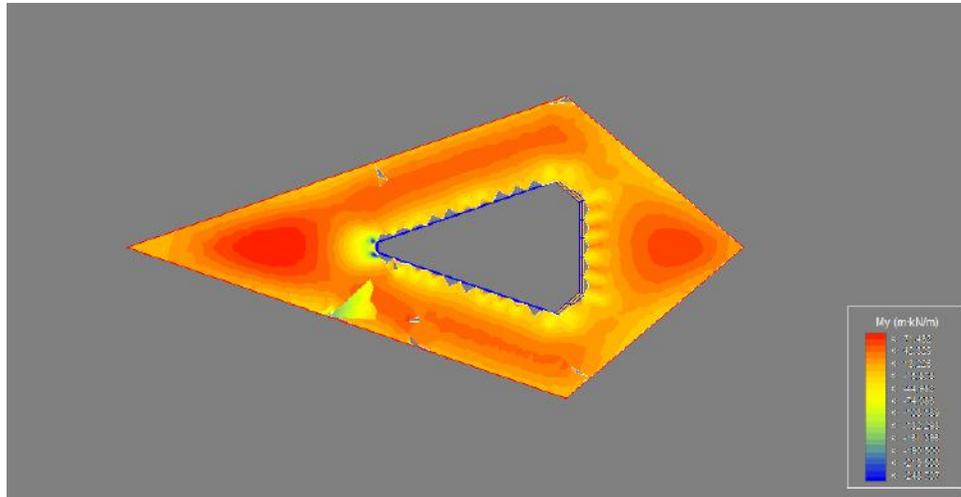


Imagen 6.1.2. Diagrama de My de un forjado tipo en ELU

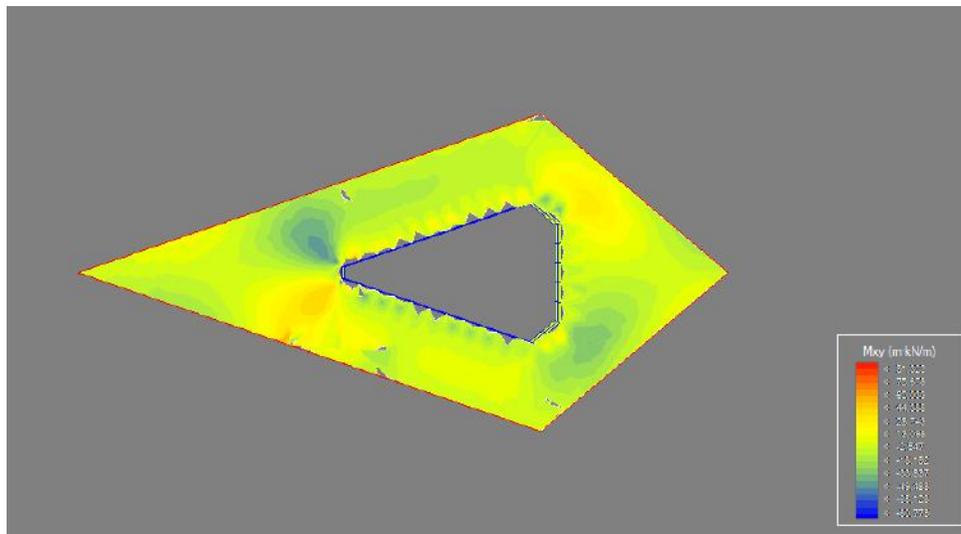


Imagen 6.1.3. Diagrama de Mxy de un forjado tipo en ELU

En las tres imágenes anteriores se muestran los M_x , M_y y M_{xy} , respectivamente, los cuales, analizaremos individualmente a continuación.

La primera de todas las imágenes, ampliada a un tamaño bastante elevado es la correspondiente con los M_x , los cuales, alcanzan su mayor valor en las zonas próximas en los extremos de la malla, un punto que muestra el mayor valor es la unión de la malla con el muro central de hormigón armado, donde se alcanzan valores en torno a los $-270 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$, por el contrario, los valores absolutos más reducidos se encuentran en las partes centrales de la losa, los cuales alcanzan valores alrededor de $78 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$.

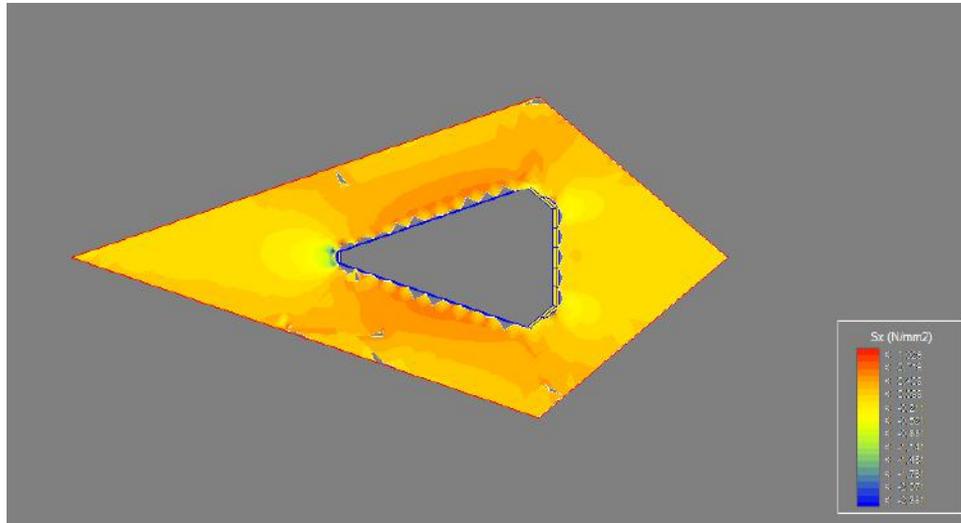
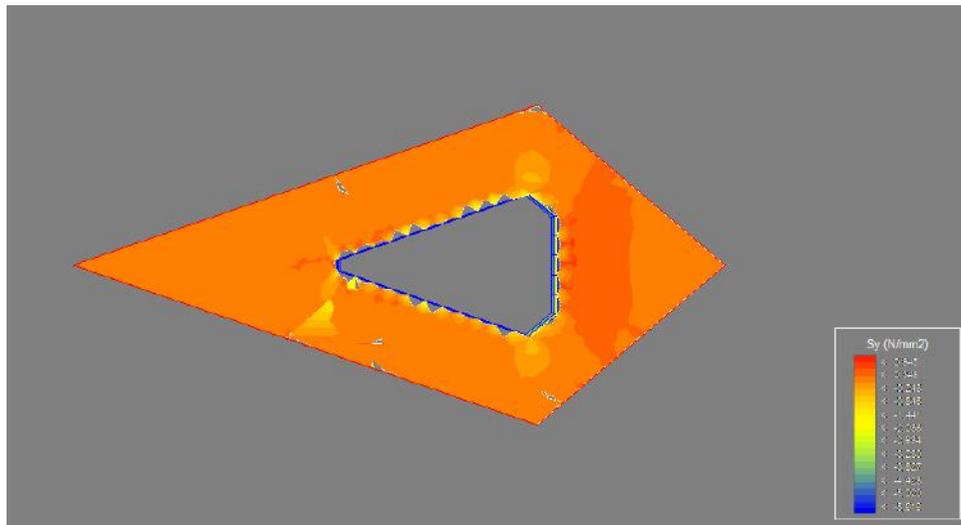
La Imagen 6.1.2. y la Imagen 6.1.3. corresponden a los M_y y M_{xy} de un forjado tipo correspondientemente.

La primera de ellas, la de los M_y , alcanzan sus valores más altos en las uniones con el muro, es decir, de la misma forma que la imagen anterior de los M_x , y de la misma forma, se encuentran los valores más reducidos en las partes centrales de la losa de hormigón, o sea, donde las losas carecen de elementos estructurales verticales que los aten, donde hay luces más elevadas.

En la tercera y última imagen de esta página, aparece el diagrama correspondiente a los Momentos en XY del forjado, en todo momento, estos resultados corresponden con la combinación de cargas en ELU, esos resultados son más constantes que los dos anteriores.

En todo momento, los valores se mueven en torno a los valores centrales de la escala de valores, es decir, entre amarillos y verdes, en un margen entre -45 y $45 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$.

En algunas zonas de la losa, aparecen partes más oscuras, en los vanos centrales, los cuales alcanzan valores más azulados, que corresponden con valores cerca de los $-80 \text{ m}\cdot\text{KN/m}$.

Imagen 6.1.4. Diagrama de tensiones S_x de un forjado tipo en ELUImagen 6.1.5. Diagrama de tensiones S_y de un forjado tipo en ELU

En las dos imágenes de la izquierda se muestran las tensiones de la placa en la dirección X y en la Y.

En la Imagen 6.1.4. se muestran las correspondientes a la dirección X, las cuales toman su valor máximo en las uniones de la malla con el muro central de hormigón armado, en el resto del forjado, las tensiones se mantienen mayoritariamente constantes, reduciendo sus valores cuando se acerca la malla a cada una de las cuatro fachadas.

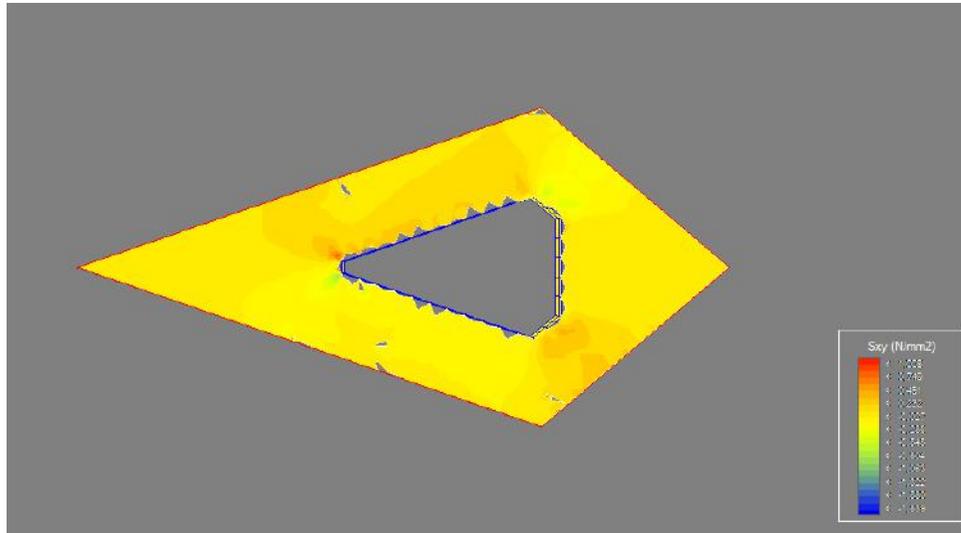
En esta zona constante, se mantienen en valores inferiores a $-0,831 N/mm^2$.

En las zonas en las que los valores son más elevados, cerca del perímetro del muro, los valores que se alcanzan rondan los inferiores a $1,029 N/mm^2$, manteniéndose constantes en esta línea alrededor del mismo.

En algunas ocasiones, aparecen zonas mayormente circulares amarillentas, entorno a $-0,211 N/mm^2$, las cuales se encuentran alrededor de los vértices del muro, es decir, donde cambia de dirección éste.

En la Imagen 6.1.5. se muestran las tensiones de la placa en Y, esta captura de pantalla muestra un forjado regular, en el cual, en algunas zonas aparecen partes con diferente coloración, el amarillo, aunque, a primera vista, las tensiones son prácticamente constantes, adoptando colores rojizos, con unos valores entorno a $-0,300 N/mm^2$.

Sin embargo, en este forjado, aparece una zona con una coloración rojiza más intensa, la cual, se corresponde con la zona intermedia entre el muro y el vértice más obtuso de la torre, tomando valores $< 0,845 N/mm^2$.

Imagen 6.1.6. Diagrama de tensiones S_{xy} de un forjado tipo en ELU

En la imagen anterior, aparece el diagrama de tensiones S_{xy} de la placa, en uno de los forjados tipo, en la combinación ELU, aquí, aparece un forjado mayoritariamente con colores constantes, los cuales solo cambian de coloración en algunas zonas puntuales, correspondientes a áreas cercanas al perímetro del muro central.

Estas tensiones constantes varían dentro de un intervalo de valores entre $< 0,232$ y $< -0,545$ N/mm^2 .

Las zonas más rojizas, correspondientes con las áreas perimetrales mencionadas con anterioridad, varían entre los valores $< 1,008$ y $< 0,749$.

En la imagen superior derecha, se muestra el diagrama de tensiones principales en S_x , este diagrama es de gran utilidad, ya que muestra a la perfección las tensiones a las que está sometida la placa.

En ésta aparecen las mayores tensiones en torno al perímetro exterior del forjado, siendo, por el contrario, menores en las zonas interiores, las que se encuentran en contacto con el núcleo interior.

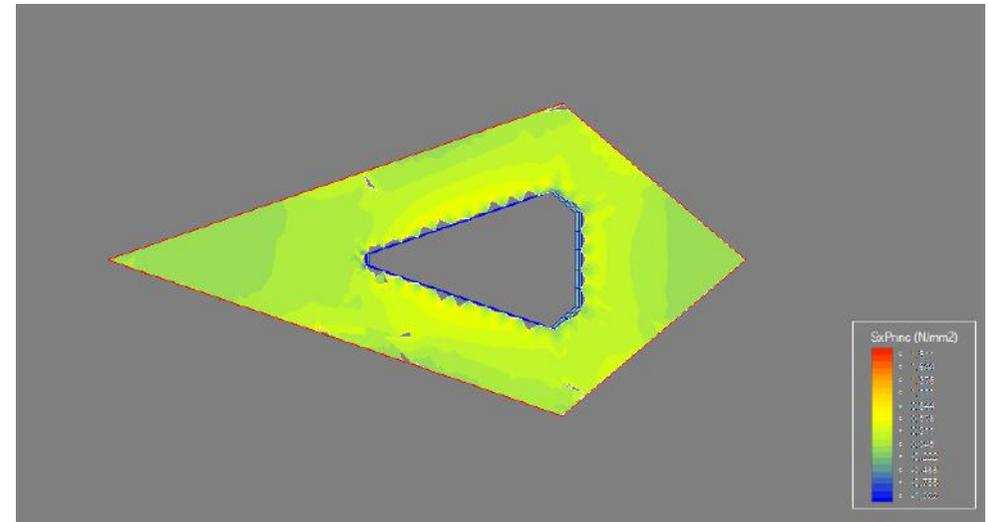
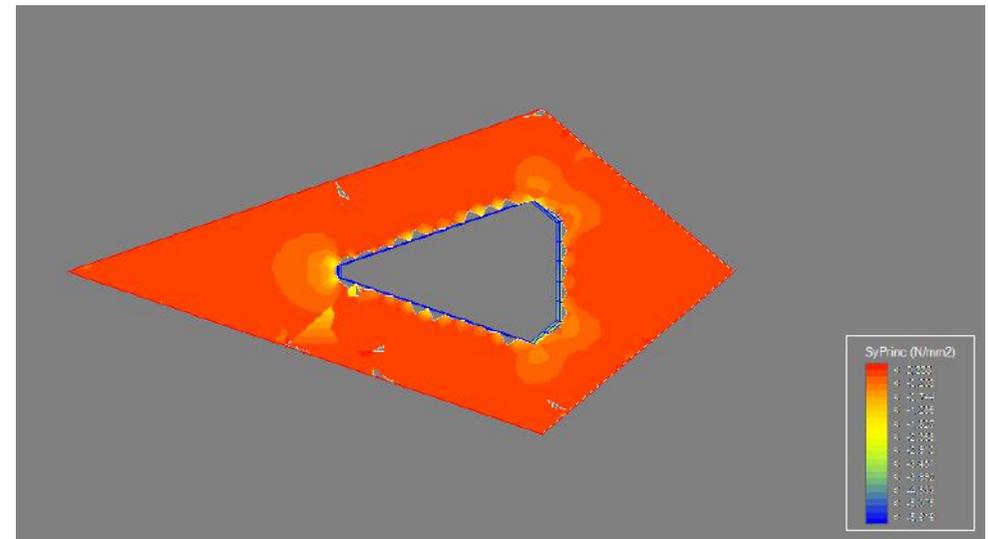
Imagen 6.1.7. Diagrama de tensiones principales S_x de un forjado tipo en ELU

Imagen 6.1.8. Diagrama de tensiones principales S_y de un forjado tipo en ELU
En la imagen superior, aparece el mismo diagrama que la Imagen 6.1.7. pero con las tensiones en el eje Y, este también presenta unos valores constantes excepto en unas áreas determinadas, las cuales corresponden con los vértices que unen el muro de hormigón armado y la losa de forjado.

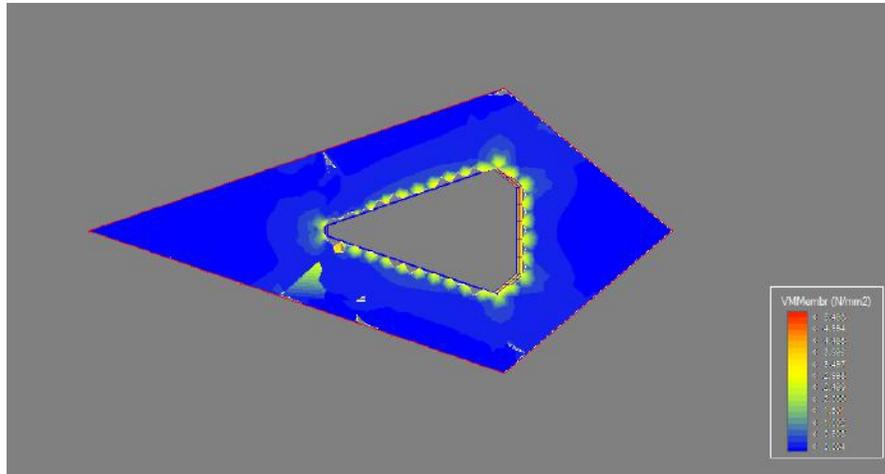


Imagen 6.1.9. Diagrama de tensiones de Von Mises de un forjado tipo en ELU

En la imagen anterior, se muestran las tensiones de Von Mises de la membrana, expresadas en N/mm^2 .

En este diagrama, podemos observar que son valores muy regulares en toda la placa, entorno a $< 0,004 \text{ N/mm}^2$, por el contrario, en las zonas del perímetro del muro central de HA, están tensiones aumentan, tomando unos colores amarillentos y verdes, moviéndose en un intervalo de valores entre $< 3,479$ y $< 1,501 \text{ N/mm}^2$.

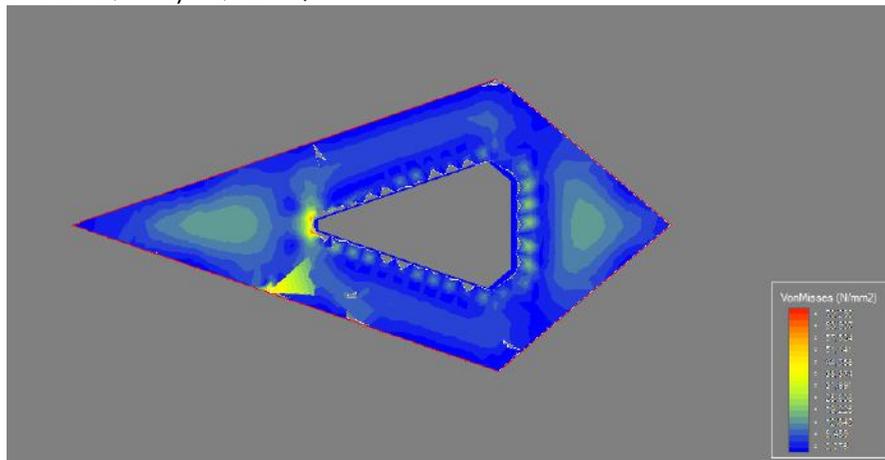


Imagen 6.1.10. Diagrama de tensiones de Von Mises para el dimensionamiento

Si comparamos la primera imagen y la segunda, ésta correspondiente con las tensiones de Von Mises también pero para el dimensionamiento de la placa, podemos observar que aparecen unas zonas circulares que adoptan unos valores más elevados, éstas zonas se corresponden con las partes del forjado que no poseen estructura vertical intermedia, es decir, donde las luces entre el muro de hormigón armado y los soportes metálicos interiores son más elevadas.

Estas zonas más amarillentas, toman unos valores de cálculo entre < 25 y $< 50 \text{ N/mm}^2$, mientras que en el resto de la placa, los valores están más estabilizados, presentan una coloración más azulada y los valores son menores, alrededor de $< 0,078 \text{ N/mm}^2$.

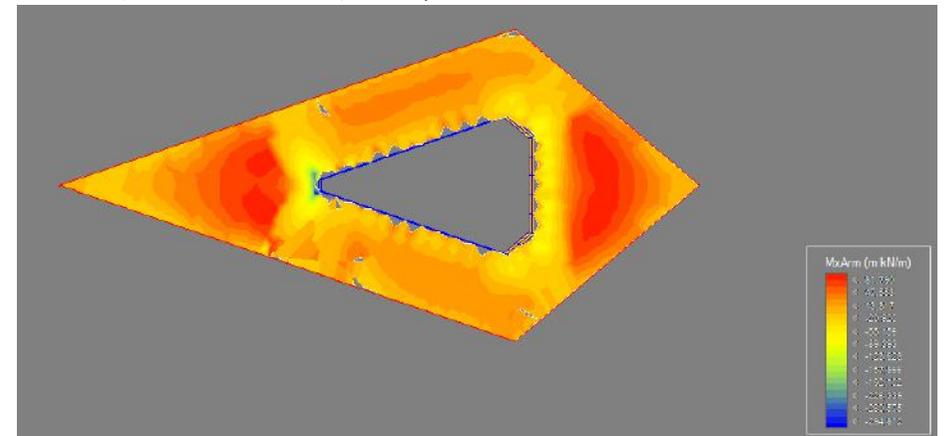


Imagen 6.1.11. Diagrama de Momentos en X para el dimensionamiento

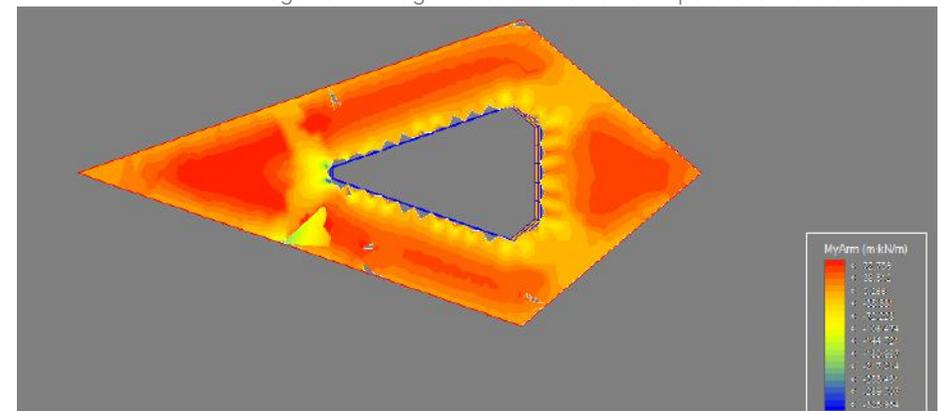


Imagen 6.1.12. Diagrama de Momentos en Y para el dimensionamiento

Continuando con el análisis para el dimensionamiento de la placa, procedemos a analizar las imágenes 6.1.11. y la 6.1.12. correspondientes con los Momentos en X e Y para el dimensionamiento, respectivamente.

Tanto en los momentos en X como en los Y, los valores mayores se encuentran en las zonas perimetrales que rodean al muro de hormigón central y en los vértices de la malla.

En el primer caso, estas zonas amarillentas toman valores entorno a < -20 y < -192 N/mm², tomando el resto de la placa valores más rojizos, correspondientes con los vanos centrales, moviéndose en un intervalo de colores entre < 81 y < 13 N/mm².

En el segundo caso, la placa presenta también las zonas amarillentas alrededor del muro, haciéndose más notables en las divisiones que se hicieron en el muro de hormigón armado central, el cual, ha sido dividido cada dos metros, es en estas zonas donde aparecen estas zonas amarillas, que se mueven entre < -72 y < -144 N/mm².

El resto de la placa, presenta unos valores más rojizos, tal y como ocurría con los momentos en el eje X, los cuales se encuentran en las zonas intermedias entre el muro y los soportes metálicos exteriores.

Estos momentos, al igual que al analizar una estructura simple biempotrada, toma sus valores de momentos mínimos en centro de vano y aumentando en los empotramientos laterales, tal y como muestra la siguiente imagen.

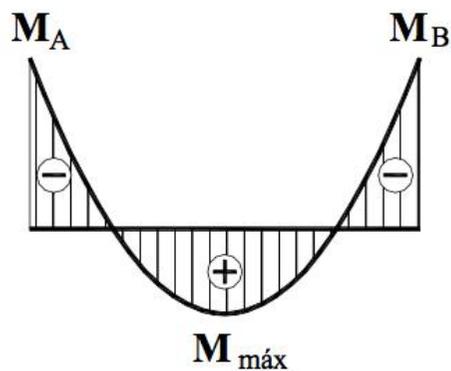


Imagen 6.1.13. Diagrama de Momentos de una barra biempotrada

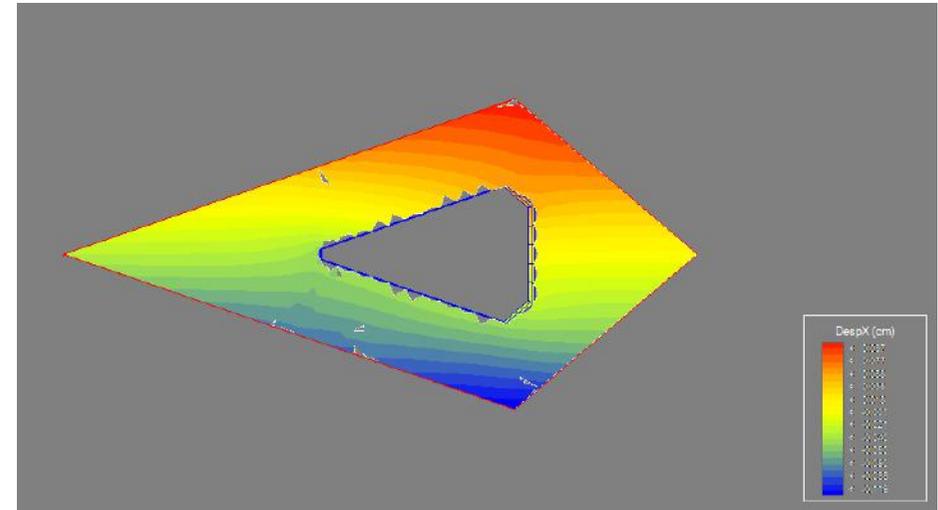


Imagen 6.1.14. Diagrama de Desplazamientos en X en cm

En la imagen superior, se muestran los desplazamientos del forjado en el eje de coordenadas X, los cuales, toman sus valores máximos en la zona en la que se le ha aplicado las solicitaciones de viento, los cuales, alcanzan su valor máximo en esta fachada, con valores máximos de $< -0,119$ cm, por el contrario, en la parte opuesta a esta fachada, los desplazamientos son $< 0,097$ cm.

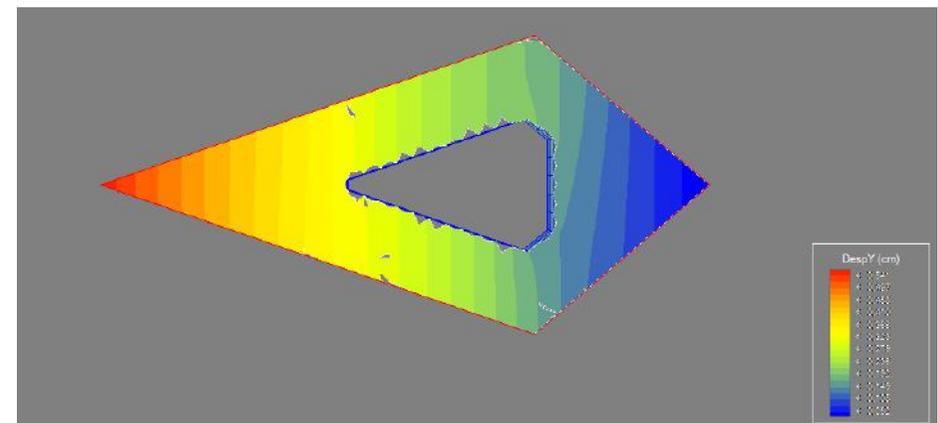


Imagen 6.1.15. Diagrama de Desplazamientos en Y en cm

En la Imagen 6.1.15. Diagrama de Desplazamientos en Y en cm, se muestran los desplazamientos en este eje, los cuales, también se originan a causa de las sollicitaciones del viento, ya que la coloración de la placa va variando según nos vamos desplazando en este eje de ordenadas.

Los valores máximos, se alcanzan en las zonas donde el ángulo en planta del forjado corresponde con el más obtuso.

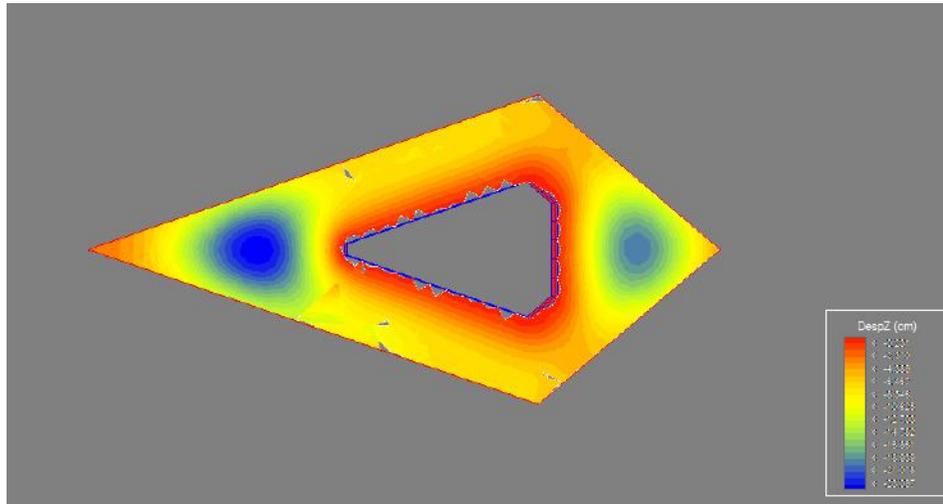


Imagen 6.1.16. Diagrama de Desplazamientos en Z en cm

En la imagen superior, aparece el diagrama de desplazamientos en el eje de coordenadas Z, el cual, muestra perfectamente los desplazamientos verticales que sufre la losa de forjado.

Si analizamos la coloración de este diagrama observamos que tiene sentido los desplazamientos que aparecen, ya que, los valores más elevados, aparecen en los vanos, es decir, donde no aparece estructura vertical intermedia y en la dirección en la que las luces son más elevadas.

En estas áreas, aparecen difuminadas con coloraciones más azuladas, esto ocurre porque esas zonas no están arriostradas, por lo tanto los desplazamientos aumentan.

En cambio, en las zonas del perímetro del núcleo central y los soportes metálicos de la fachada, los desplazamientos verticales rondan el valor nulo.

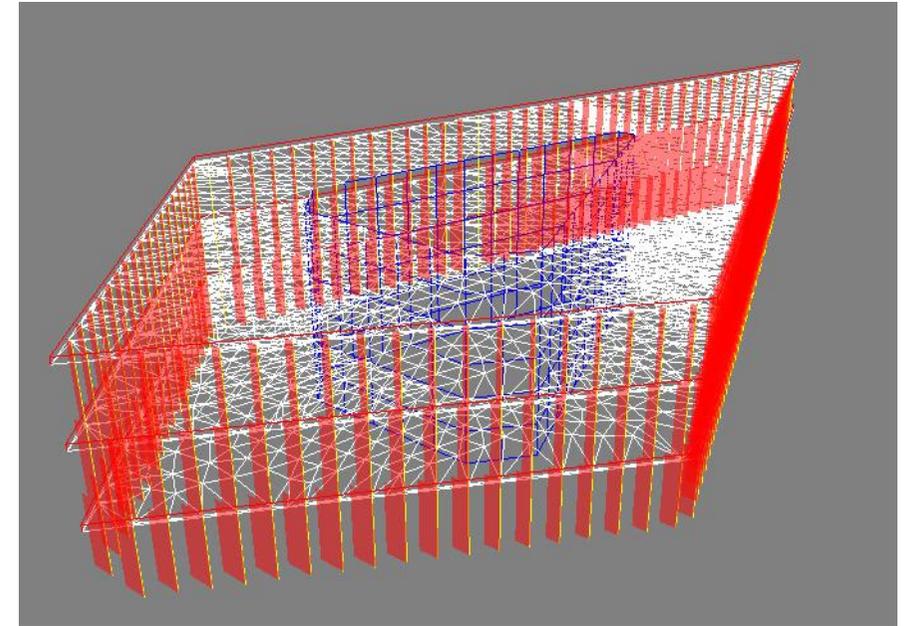


Imagen 6.1.17. Diagrama de axiles en los soportes metálicos

En la imagen situada superior, se muestran los diagramas de axiles de los soportes metálicos de la parte interior de la fachada.

Como se puede observar en la imagen, está la estructura cortada, ya que mostrar las 23 plantas dificultaba la comprensión de todo el conjunto estructural porque se superponían unos axiles con otros y los elementos estructurales.

En todo caso, se puede observar que los axiles tienen un valor constante en toda la longitud de pilar, desde la base hasta su cabeza en cada una de las plantas. A medida que se va descendiendo en las plantas, los valores de los axiles van aumentando, ya que, en las plantas más bajas, se soporta el peso propio y las cargas de todos los elementos que se encuentran en las plantas superiores.

En la planta superior, el valor del axil es aproximadamente 60 KN, mientras que en la planta baja, alcanza un valor cercano a los 1200 KN.

Este resultado es obvio, ya que lo normal es que aparezcan resultados similares a esto, por eso, en general, los soportes en PB son mayores.

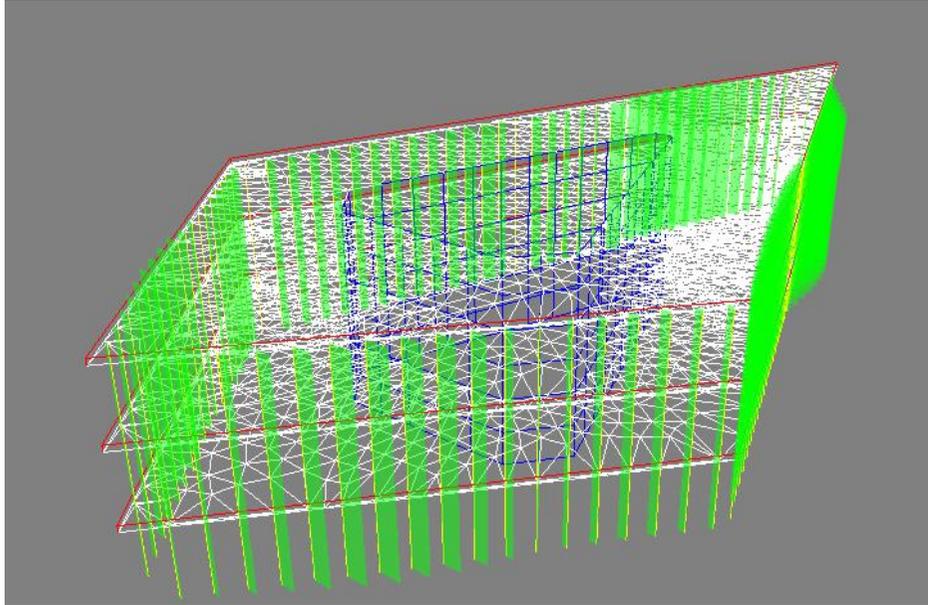


Imagen 6.1.18. Diagrama de cortantes de los soportes metálicos

Los diagramas de cortantes mostrados en la imagen superior, reflejan las solicitaciones que provoca el viento.

El viento, como ya se ha comentado con anterioridad, se ha modelizado de forma que se aplica una fuerza puntual, sacada del cálculo, en la cabeza de los forjados, en dirección perpendicular a éste.

De esta forma, el diagrama es constante a lo largo de todo el soporte, ya que a la fuerza que se aplica en la base, se contrasta con una reacción del mismo valor pero en sentido contrario.

Por lo tanto, es correcto que aparezca un resultado de este tipo, tomando un valor constante de 1,53 KN, el mismo que la fuerza horizontal aplicada de viento.

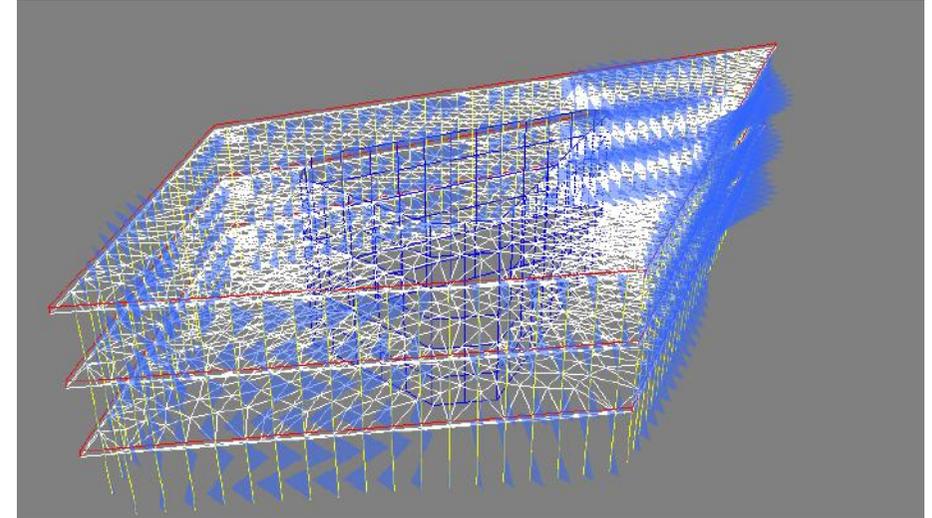


Imagen 6.1.19. Diagrama de momentos en Z de los soportes metálicos

En la imagen superior se muestran los diagramas de Momentos Flectores en el eje de coordenadas Z.

Estos diagramas, como era previsible, son originados por las fuerzas de viento. Viendo como es el diagrama de cortantes adjunto en la izquierda, los diagramas correspondientes de momentos flectores son lineales, es decir, empiezan con un valor que va descendiendo a medida que avanza la barra, hasta hacerse cero en un punto determinado y volver a alcanzar el mismo valor inicial pero en sentido negativo.

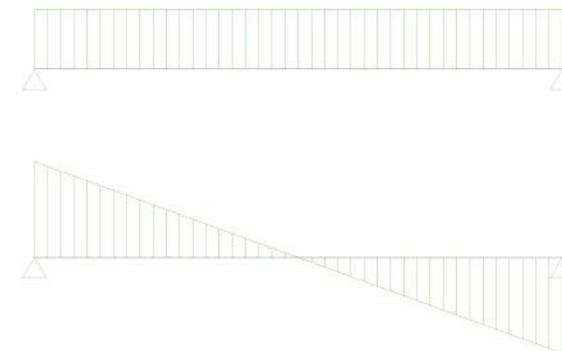


Imagen 6.1.20. Diagrama de cortantes y momentos

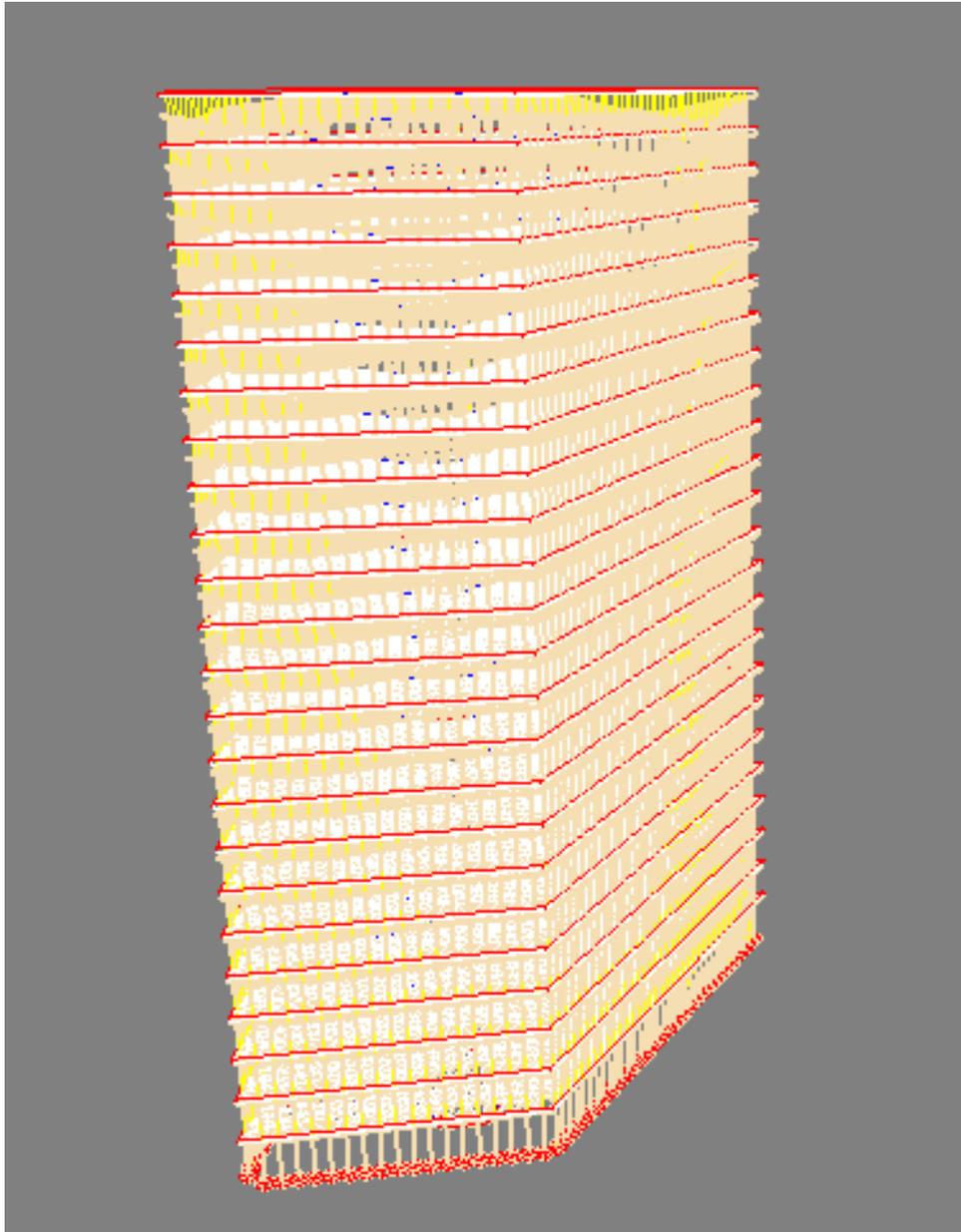


Imagen 6.1.21. Deformada de toda la estructura

Como se puede observar en la imagen adjunta, la deformada de la estructura responde a la forma siguiente:

En los puntos de apoyo de la losa, es decir, por un lado, el núcleo interior de hormigón armado situado en el centro de cada una de las plantas y, en segundo lugar, los soportes metálicos de la parte interior de cada una de las fachadas, el movimiento es menor, tomando su valor máximo en el centro de vano entre estos dos elementos mencionados anteriormente.

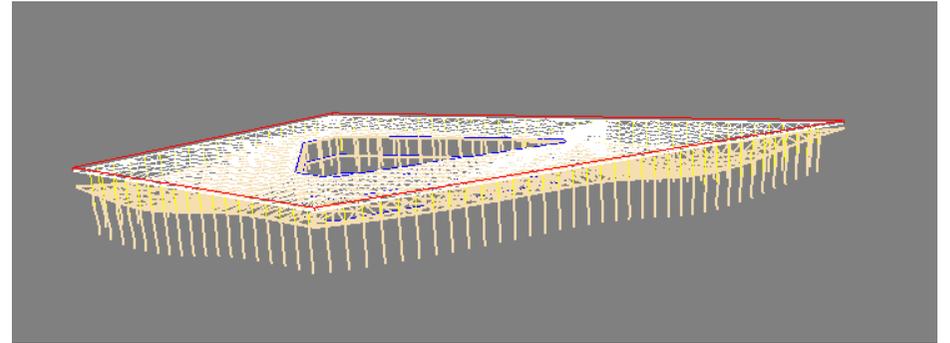


Imagen 6.1.22. Deformada de una planta de la estructura

Para poder comprender lo mencionado anteriormente respecto a la deformada de cada planta, se han aislado todas las plantas excepto una, para poder ver más ampliado como se deforma la losa.

En primer lugar, el descenso máximo de estructura se produce en el centro de vano, flectando de esta forma, siendo más ligero en los puntos más cercanos a los apoyos y aumentando a medida que se aleja de éste.

Esta forma de comportamiento, es la forma general en que se comportan las estructuras de este tipo.

Para visualizar las imágenes anteriores, se ha aumentado la escala de visualización, ya que, a primera vista, parecen desplazamientos muy elevados que en realidad no lo son tanto, cumpliendo con las limitaciones exigidas en el Código Técnico de la Edificación.

7. CONCLUSIONES FINALES

A lo largo de todo el trabajo realizado se ha estudiado el funcionamiento de la estructura de la torre Diagonal Zero-Zero.

Primeramente, se ha estudiado de forma teórica todos los elementos estructurales, su forma, materiales y su forma teórica de comportarse dentro del conjunto estructural.

Después de elaborar todo el conjunto en Autocad y llevarlo a Architrave, se ha calculado todo el conjunto estructural y se han sacado una serie de resultados finales.

La torre, posee una estructura relativamente novedosa, denominada coloquialmente "tubo en tubo", esta tipología, consta básicamente de tres elementos principales: el núcleo de hormigón interior, que tiene doble función, estructural y la de albergar las comunicaciones verticales y los servicios, los soportes metálicos de la fachada y, por último, la losa pretensada de forjado, que une los dos primeros elementos mencionados, de tal forma que permite unas luces relativamente más elevadas de las que permitiría un sistema estructural convencional.

Así, al observar los resultados obtenidos, podemos concluir que esta nueva tipología permite lo mencionado anteriormente gracias a una estrecha colaboración entre todos los elementos, ya que las cargas son transmitidas desde cualquier hasta el núcleo de comunicaciones, el cual los transmite hasta la cimentación y ésta al terreno. Lo mismo ocurre con el viento y el sismo, en caso de que se diera éste último, las cargas son transmitidas desde los soportes a la losa a través del forjado hasta el núcleo de hormigón armado.

Con todo lo anterior como premisas, podemos concluir que este nuevo tipo estructural posee, como todos, ventajas y desventajas. La desventaja principal radica en la necesidad de controlar hasta el más mínimo detalle todo el proceso de dimensionamiento, ya que una pequeña variación en algún elementos estructural supone la total modificación de los otros elementos, ya que todos dependen de todos, aunque esta premisa, también está presente en cualquier proceso de dimensionado de una estructura cualquiera.

Por otro lado, la mayor ventaja, podría ser la facilidad para aumentar las luces de los proyectos y así, poder liberar de estructura vertical las plantas. Este factor es muy importante ya que en proyectos de estas características, destinados a oficinas y a espacios libres, es necesario, en tanto en cuando la estructura lo permita, liberarse de estos elementos para poder crear espacios diáfanos y limpios, además de que ésta era una de las premisas fundamentales de proyecto.

Este sistema estructural, aunque novedoso, ya se ha utilizado en otras torre, como por ejemplo la torre Swiss proyectada por Norman Foster & Partners en Londres en el año 1997.

Finalmente, se podría concluir diciendo que este tipo estructural, es muy eficiente y adecuado, sobretodo en proyectos que necesitan liberarse de la estructura vertical.

Todo proyecto debe tener en cuenta numerosos factores, la funcionalidad, y las necesidades que van ligadas a ella, la forma de construirse, la estructura y sobretodo, la eficiencia energética y la economía, este último factor es muy importante, ya que, elaborar una estructura de este tipo, necesita de una elevada colaboración entre arquitectura e ingeniería, mucha supervisión y materiales y maquinarias de elevado coste económico.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

1.1. BIOGRAFÍA DEL ARQUITECTO

Imagen 1.1.1. Fotografía del arquitecto < <http://www.e-architect.co.uk/barcelona/torre-diagonal-zero-zero>>
 Imagen 1.1.2. Fotografía del arquitecto < <http://habitatfutura.com/wp-content/uploads/2015/04/DSC4120.jpg>>
 Imagen 1.1.3. Fotografía de los integrantes de EMBA Architects < <http://www.emba.cat/?cat=19>>
 Imágenes 1.1.4. Imágenes del eje cronológico FUENTE: Eje de elaboración propia con imágenes de < <http://www.emba.cat>>

2. EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

2.1. IDEA DE PROYECTO

Imagen 2.1.1. Dibujo exterior de proyecto < http://www.metalocus.es/sites/default/files/file-images/EZ_imatgeEZ_cartell_A3-TROI-CAT900.jpg>

2.2. EMPLAZAMIENTO E IMPLANTACIÓN

Imágenes 2.2.1. y 2.2.2. Emplazamiento de la torre Diagonal Zero Zero < googlemaps.com>

2.3. ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA FUNCIONAL

Imagen 2.3.1. Planta baja FUENTE: Memoria del proyecto arquitectónico EMBA 2011
 Imagen 2.3.2. Planta primera FUENTE: Memoria del proyecto arquitectónico EMBA 2011
 Imagen 2.3.3. Planta quinta FUENTE: Memoria del proyecto arquitectónico EMBA 2011
 Imagen 2.3.4. Planta dieciséis FUENTE: Memoria del proyecto arquitectónico EMBA 2011
 Imagen 2.3.5. Planta veintidós FUENTE: Memoria del proyecto arquitectónico EMBA 2011
 Imagen 2.3.6. Sección I FUENTE: Memoria del proyecto arquitectónico EMBA 2011
 Imagen 2.3.7. Alzados C/ Eduard Maristany FUENTE: Memoria del proyecto arquitectónico EMBA 2011
 Imagen 2.3.8. Detalle "bambúes" de la fachada < http://www.henkvangampen.com/wp-content/uploads/IMG_1709.jpg>
 Imagen 2.3.9. Fotografía del interior < <http://images.adsttc.com/media/images/5014/cf52/28ba/Od58/2800/O64c/large.jpg/stringio.jpg?1414214387>>
 Imagen 2.3.10. Interior oficinas < <http://www.tublogdearquitectura.com/wp-content/uploads/2013/02/Torre-Telefonica-Diagonal-Zero-Zero-Barcelona-16.jpg>>
 Imagen 2.3.11. Interior auditorio < https://image.architonic.com/img_pfm2-2/205/5124/6040-flex-gpl-torre-telefonica-diagonal-zerozero-barcelona-spain-3-b.jpg>
 Imagen 2.3.12. Detalle doble altura del auditorio < <http://www.tublogdearquitectura.com/wp-content/uploads/2013/02/Torre-Telefonica-Diagonal-Zero-Zero-Barcelona-12.jpg>>

2.4. MATERIALIDAD Y CONSTRUCCIÓN

Imagen 2.4.1. Núcleo central de hormigón < <http://www.ulmaconstruction.es/es-es/proyectos/torres-edificios-gran-altura/torre-diagonal-zero-zero-barcelona>>

3. CONSTRUCCIÓN Y PROCESO CONSTRUCTIVO

3.1. DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Imagen 3.1.1. Esquema del funcionamiento estructural	FUENTE: Memoria del proyecto arquitectónico EMBA 2011 < http://www.elconsorci.net/files/Torre_DiagonalOO_100128_7439_1347.jpg >
Imagen 3.1.2. Proceso constructivo de la torre I	
Imagen 3.1.3. Planta núcleo central de hormigón	FUENTE: Memoria del proyecto arquitectónico EMBA 2011
Imagen 3.1.4. Proceso constructivo de la torre II	< http://www.ulmaconstruction.es/es-es/proyectos/torres-edificios-gran-altura/torre-diagonal-zero-zero-barcelona/ >
Imagen 3.1.5. Proceso constructivo soportes	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >
Imagen 3.1.6. Sección de la viga de patio	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >
Imagen 3.1.7. Proceso constructivo vigas y soportes	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >
Imagen 3.1.8. Proceso constructivo vigas y soportes II	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >
Imagen 3.1.9. Detalle continuidad de la viga de patio y losa	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >
Imagen 3.1.10. Sección tipo "bambú"	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >
Imagen 3.1.11. Fotografía "bambúes" de la fachada	< https://c3.staticflickr.com/6/5168/5356782114_28cc02fd0a.jpg >
Imagen 3.1.12. Sección tipo del enlace entre "bambúes" y vigas de patio	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >
Imagen 3.1.13. Encuentro viga de patio, viga descolgada y cajetín	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >
Imagen 3.1.14. Planta encuentro de la viga de patio, viga descolgada y cajetín	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >
Imagen 3.1.15. Fotografía detalle "bambúes" de las plantas bajas	< https://c1.staticflickr.com/5/4099/4906553491_dfd157b413.jpg >
Imagen 3.1.16. Planta losa de forjado	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >
Imagen 3.1.17. Cables losas de forjado	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >
Imagen 3.1.18. Detalle encuentro viga descolgada y viga de patio	< http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=59 >

3.2. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL EDIFICIO

Imagen 3.2.1. . Emplazamiento con excavación	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.2. Montaje y soldado de los soportes metálicos	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.3. Montaje soportes y ejecución del núcleo central de hormigón	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.4. Montaje muro cortina y "bambúes" de la fachada	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.5. Detalle ampliado del montaje de los soportes	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.6. Montaje de las vigas de patio	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.7. Detalle puesta en obra del núcleo central	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.8. Montaje del muro cortina	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.9. Detalle montaje del muro cortina en la esquina	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.10. Soportes ignifugados	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.11. Soportes recubiertos con el cajón metálico blanco	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.12. Montaje de los "bambúes" de la fachada	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >
Imagen 3.2.13. Montaje del falso techo	< http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/O2-87645/en-construccion-edificio-diagonal-zero-zero-video >

3.3. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA EDIFICACIÓN

Imagen 3.3.1. Fotografía de los componentes del Estudio de Ingeniería MC2	< http://www.mc2.es/userfiles/images/2010-10-25%20equipo%20mc2%20001_reducido.jpg >
---	---

4. ESTRUCTURA: DEFINICIÓN Y MODELIZACIÓN

4.1. DEFINICIÓN Y FORMA DE TRABAJO DE LA ESTRUCTURA

Imagen 4.1.1. Imagen exterior de la torre junto al Forum I
 Imagen 4.1.2. Imagen exterior de la torre junto al Forum II
 Imagen 4.1.3. Imagen interior de los soportes metálicos
 Imagen 4.1.4. Imagen del núcleo interior de hormigón
 Imagen 4.1.5. Tipos de bambúes de la fachada
 Imagen 4.1.6. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos I
 Imagen 4.1.7. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos II

<http://farm6.static.flickr.com/5131/5553024108_90f87cc302.jpg>
 <http://farm5.static.flickr.com/4073/4907027396_a475d8afee.jpg>
 <<http://www.lamp.es/thumbnails/31357?width=700>>
 <<http://s2.photobucket.com/albums/y35/fernolea/diagonal/DSCF2765.jpg>>
 FUENTE: Memoria del proyecto arquitectónico EMBA 2011
 <<http://arqa.com/arquitectura/torre-telefonica-diagonal-zerozero-barcelona.html>>
 <<http://arqa.com/arquitectura/torre-telefonica-diagonal-zerozero-barcelona.html>>

4.2. CÁLCULO DE LA CARGA DE VIENTO

Imagen 4.2.1. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos III
 Imagen 4.2.2. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos IV
 Imagen 4.2.3. Coeficientes para tipo de entorno
 Imagen 4.2.4. Coeficiente eólico para edificios de pisos

<<http://arqa.com/arquitectura/torre-telefonica-diagonal-zerozero-barcelona.html>>
 <<http://arqa.com/arquitectura/torre-telefonica-diagonal-zerozero-barcelona.html>>
 CTE-DB-SE
 CTE-DB-SE

4.3. CÁLCULO DE CARGAS PERMANENTES Y VARIABLES

Imagen 4.3.1. Valores característicos de las sobrecargas de usos

CTE-DB-SE

4.4. COMBINACIÓN DE CARGAS

Imagen 4.4.1. Apartado 4.4.2. del CTE DB-SE
 Imagen 4.4.2. Apartado 4.4.2. del CTE DB-SE
 Imagen 4.4.3. Coeficientes de seguridad para acciones
 Imagen 4.4.4. Coeficientes de simultaneidad

CTE-DB-SE
 CTE-DB-SE
 CTE-DB-SE
 CTE-DB-SE

4.5. MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Imagen 4.5.1. Modelo Autocad_Planta baja
 Imagen 4.5.2. Modelo Autocad_Planta primera
 Imagen 4.5.3. Modelo Autocad_Planta séptima
 Imagen 4.5.4. Modelo Autocad_Planta veinticuatroava
 Imagen 4.5.5. Modelo Autocad_Axonometría

Archivo propio de Autocad
 Archivo propio de Autocad
 Archivo propio de Autocad
 Archivo propio de Autocad
 Archivo propio de Autocad

5. MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ARCHITRAVE Y APLICACIÓN DE LAS CARGAS

5.1. PROCESO DE MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL EN ARCHITRAVE

Imagen 5.1.1. Planta primera con elementos asignados

Imagen 5.1.2. Planta baja con elementos asignados

Imagen de un archivo propio de Autocad

Imagen de un archivo propio de Autocad

5.2. DETECCIÓN DE PROBLEMAS DURANTE LA MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL

Imagen 5.2.1. Planta novena con elementos asignados

Imagen 5.2.2. Detalle de la modelización

Imagen 5.2.3. Detalle enlace de los nudos

Imagen de un archivo propio de Autocad

Imagen de un archivo propio de Autocad

Imagen de un archivo propio de Autocad

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Imagen 6.1.1. Diagrama de M_x de un forjado tipo en ELU

Imagen 6.1.2. Diagrama de M_y de un forjado tipo en ELU

Imagen 6.1.3. Diagrama de M_{xy} de un forjado tipo en ELU

Imagen 6.1.4. Diagrama de tensiones principales S_x de un forjado tipo en ELU

Imagen 6.1.5. Diagrama de tensiones principales S_y de un forjado tipo en ELU

Imagen 6.1.6. Diagrama de tensiones S_{xy} de un forjado tipo en ELU

Imagen 6.1.7. Diagrama de tensiones principales S_x de un forjado tipo en ELU

Imagen 6.1.8. Diagrama de tensiones principales S_y de un forjado tipo en ELU

Imagen 6.1.9. Diagrama de tensiones de Von Mises de un forjado tipo en ELU

Imagen 6.1.10. Diagrama de tensiones de Von Mises para el dimensionamiento

Imagen 6.1.11. Diagrama de Momentos en X para el dimensionamiento

Imagen 6.1.12. Diagrama de Momentos en Y para el dimensionamiento

Imagen 6.1.13. Diagrama de Momentos de una barra biempotrada

Imagen 6.1.14. Diagrama de Desplazamientos en X en cm

Imagen 6.1.15. Diagrama de Desplazamientos en Y en cm

Imagen 6.1.16. Diagrama de Desplazamientos en Z en cm

Imagen 6.1.17. Diagrama de axiles en los soportes metálicos

Imagen 6.1.18. Diagrama de cortantes de los soportes metálicos

Imagen 6.1.19. Diagrama de momentos en Z de los soportes metálicos

Imagen 6.1.20. Diagrama de cortantes y momentos

Imagen 6.1.21. Deformada de toda la estructura

Imagen 6.1.22. Deformada de una planta de la estructura

Imagen de un archivo propio de Architrave

Imagen prontuario de estructuras para la edificación

Imagen de un archivo propio de Architrave

Archivo propio de Autocad

Imagen de un archivo propio de Architrave

Imagen de un archivo propio de Architrave

9. ÍNDICE DE IMÁGENES

ÍNDICE DE IMÁGENES	Nº DE PÁGINA EN LA QUE SE UBICAN
1. INTRODUCCIÓN	
Imagen 1.1.1. Fotografía del arquitecto	Página 1
Imagen 1.1.2. Fotografía del arquitecto	Página 2
Imagen 1.1.3. Fotografía de los integrantes de EMBA Architects	Página 3
Imagen 1.1.4. Imágenes del eje cronológico	Página 4 y5
2. EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO	
Imagen 2.1.1. Dibujo exterior de proyecto	Página 6
Imagen 2.2.1. Emplazamiento de la Torre Diagonal Zero Zero	Página 8
Imagen 2.2.2. Emplazamiento de la Torre Diagonal Zero Zero	Página 8
Imagen 2.3.1. Planta baja	Página 9
Imagen 2.3.2. Planta primera	Página 10
Imagen 2.3.3. Planta quinta	Página 10
Imagen 2.3.4. Planta dieciséis	Página 10
Imagen 2.3.5. Planta veintidós	Página 10
Imagen 2.3.6. Sección I	Página 11
Imagen 2.3.7. Alzados C/Eduardo Maristany	Página 12
Imagen 2.3.8. Detalle “bambúes” de la fachada	Página 12
Imagen 2.3.9. Fotografía del interior	Página 13
Imagen 2.3.10. Interior oficinas	Página 13

ÍNDICE DE IMÁGENES	Nº DE PÁGINA EN LA QUE SE UBICAN
Imagen 2.3.11. Interior auditorio	Página 13
Imagen 2.3.12. Detalle doble altura del auditorio	Página 13
Imagen 2.4.1. Núcleo central de hormigón	Página 14
3. CONSTRUCCIÓN Y PROCESO CONSTRUCTIVO	
Imagen 3.1.1. Esquema del funcionamiento del edificio	Página 15
Imagen 3.1.2. Proceso constructivo de la torre I	Página 15
Imagen 3.1.3. Planta núcleo central de hormigón	Página 16
Imagen 3.1.4. Proceso constructivo de la torre II	Página 16
Imagen 3.1.5. Proceso constructivo soportes	Página 17
Imagen 3.1.6. Sección viga de patio	Página 18
Imagen 3.1.7. Proceso constructivo vigas y soportes I	Página 18
Imagen 3.1.8. Proceso constructivo vigas y soportes II	Página 19
Imagen 3.1.9. Detalle continuidad de la viga de patio y losa	Página 19
Imagen 3.1.10. Sección tipo "bambú"	Página 20
Imagen 3.1.11. Fotografía "bambúes" de la fachada	Página 20
Imagen 3.1.12. Sección tipo del enlace entre "bambúes" y vigas de patio	Página 21
Imagen 3.1.13. Encuentro viga de patio, viga descolgada y cajetín	Página 22
Imagen 3.1.14. Planta encuentro de la viga de patio, viga descolgada y cajetín	Página 22
Imagen 3.1.15. Fotografía detalle "bambúes" de las plantas bajas	Página 23
Imagen 3.1.16. Planta losa de forjado	Página 23

ÍNDICE DE IMÁGENES	Nº DE PÁGINA EN LA QUE SE UBICAN
Imagen 3.1.17. Cables losas de forjado	Página 24
Imagen 3.1.18. Detalle encuentro viga descolgada y viga de patio	Página 24
Imagen 3.2.1. Emplazamiento con excavación	Página 25
Imagen 3.2.2. Montaje y soldado de los soportes metálicos	Página 25
Imagen 3.2.3. Montaje soportes y ejecución del núcleo central de hormigón	Página 25
Imagen 3.2.4. Montaje muro cortina y "bambúes" de la fachada	Página 26
Imagen 3.2.5. Detalle ampliado del montaje de los soportes	Página 26
Imagen 3.2.6. Montaje de las vigas de patio	Página 26
Imagen 3.2.7. Detalle puesta en obra del núcleo central	Página 26
Imagen 3.2.8. Montaje del muro cortina	Página 27
Imagen 3.2.9. Detalle montaje del muro cortina en la esquina	Página 27
Imagen 3.2.10. Soportes ignifugados	Página 27
Imagen 3.2.11. Soportes recubiertos con el cajón metálico blanco	Página 28
Imagen 3.2.12. Montaje de los "bambúes" de la fachada	Página 28
Imagen 3.2.13. Montaje del falso techo	Página 28
Imagen 3.3.1. Fotografía de los componentes del Estudio de Ingeniería MC2	Página 29
4. ESTRUCTURA: DEFINICIÓN Y MODELIZACIÓN	
Imagen 4.1.1. Imagen exterior de la torre junto al Forum I	Página 30
Imagen 4.1.2. Imagen exterior de la torre junto al Forum II	Página 30
Imagen 4.1.3. Imagen interior de los soportes metálicos	Página 31

ÍNDICE DE IMÁGENES	Nº DE PÁGINA EN LA QUE SE UBICAN
Imagen 4.1.4. Imagen del núcleo interior de hormigón	Página 31
Imagen 4.1.5. Tipos de bambúes de la fachada	Página 32
Imagen 4.1.6. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos I	Página 33
Imagen 4.1.7. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos II	Página 34
Imagen 4.2.1. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos III	Página 35
Imagen 4.2.2. Imagen interior vigas de patio y soportes interiores metálicos IV	Página 35
Imagen 4.2.3. Coeficientes para tipo de entorno	Página 35
Imagen 4.2.4. Coeficiente eólico para edificios de pisos	Página 36
Imagen 4.3.1. Valores característicos de las sobrecargas de usos	Página 38
Imagen 4.4.1. Apartado 4.4.2. del CTE DB-SE	Página 39
Imagen 4.4.2. Apartado 4.4.2. del CTE DB-SE	Página 39
Imagen 4.4.3. Coeficientes de seguridad para acciones	Página 39
Imagen 4.4.4. Coeficientes de simultaneidad	Página 39
Imagen 4.5.1. Modelo Autocad_Planta baja	Página 42
Imagen 4.5.2. Modelo Autocad_Planta primera	Página 42
Imagen 4.5.3. Modelo Autocad_Planta séptima	Página 42
Imagen 4.5.4. Modelo Autocad_Planta veinticuatroava	Página 42
Imagen 4.5.5. Modelo Autocad_Axonometría	Página 43
5. MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ARCHITRAVE Y APLICACIÓN DE CARGAS	
Imagen 5.1.1. Planta primera con elementos asignados	Página 44

ÍNDICE DE IMÁGENES	Nº DE PÁGINA EN LA QUE SE UBICAN
Imagen 5.1.2. Planta baja con elementos asignados	Página 44
Imagen 5.2.1. Planta novena con elementos asignados	Página 45
Imagen 5.2.2. Detalle de la modelización	Página 45
Imagen 5.2.3. Detalle enlace de los nudos	Página 45
6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	
Imagen 6.1.1. Diagrama de Mx de un forjado tipo en ELU	Página 46
Imagen 6.1.2. Diagrama de My de un forjado tipo en ELU	Página 47
Imagen 6.1.3. Diagrama de Mxy de un forjado tipo en ELU	Página 47
Imagen 6.1.4. Diagrama de tensiones principales Sx de un forjado tipo en ELU	Página 48
Imagen 6.1.5. Diagrama de tensiones principales Sy de un forjado tipo en ELU	Página 48
Imagen 6.1.6. Diagrama de tensiones Sxy de un forjado tipo en ELU	Página 49
Imagen 6.1.7. Diagrama de tensiones principales Sx de un forjado tipo en ELU	Página 49
Imagen 6.1.8. Diagrama de tensiones principales Sy de un forjado tipo en ELU	Página 49
Imagen 6.1.9. Diagrama de tensiones de Von Misses de un forjado tipo en ELU	Página 50
Imagen 6.1.10. Diagrama de tensiones de Von Misses para el dimensionamiento	Página 50
Imagen 6.1.11. Diagrama de Momentos en X para el dimensionamiento	Página 50
Imagen 6.1.12. Diagrama de Momentos en Y para el dimensionamiento	Página 50
Imagen 6.1.13. Diagrama de Momentos de una barra biempotrada	Página 51
Imagen 6.1.14. Diagrama de Desplazamientos en X en cm	Página 51
Imagen 6.1.15. Diagrama de Desplazamientos en Y en cm	Página 51

ÍNDICE DE IMÁGENES	Nº DE PÁGINA EN LA QUE SE UBICAN
Imagen 6.1.16. Diagrama de Desplazamientos en Z en cm	Página 52
Imagen 6.1.17. Diagrama de axiles en los soportes metálicos	Página 52
Imagen 6.1.18. Diagrama de cortantes de los soportes metálicos	Página 53
Imagen 6.1.19. Diagrama de momentos en Z de los soportes metálicos	Página 53
Imagen 6.1.20. Diagrama de cortantes y momentos	Página 53
Imagen 6.1.21. Deformada de toda la estructura	Página 54
Imagen 6.1.22. Deformada de una planta de la estructura	Página 54