

Análisis de la estructura del edificio Fórum de Barcelona Herzog & de Meuron

TRABAJO FINAL DE GRADO
Grado en Fundamentos de Arquitectura

Autor: Fernando Nebot Gómez
Tutor: Ernesto Jesús Fenollosa Forner
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia
Departamento: Mecánica de los Medios continuos y Teoría de Estructuras
Curso: 2014/2015

Índice de contenidos

1_INTRODUCCIÓN	04
1.1 Resumen y palabras clave	05
1.2 Objetivos y metodología	06
2_HERZOG & DE MEURON	07
2.1 Equipo	08
2.2 Trayectoria y obras	09
3_PROYECTO ARQUITECTÓNICO	13
3.1 Entorno y contexto	14
3.2 Proyecto arquitectónico	16
3.3 Museu Blau	22
4_ESTRUCTURA Y CONSTRUCCIÓN	23
4.1 Esquema estructural	24
4.2 Construcción	31
5_MODELO ESTRUCTURAL	33
5.1 Modelo estructural	34
5.2 Modelo de cargas	44
5.3 Características materiales	51
6_ANÁLISIS ESTRUCTURAL	52
6.1 Comportamiento global de la estructura	53
6.2 E.L.S. Deformaciones.....	57
6.3 Diagramas de solicitaciones. E.L.U. combinación 3	62
7_CONCLUSIONES	75
8_BIBLIOGRAFÍA	79
9_REFERENCIAS DE IMÁGENES	83



1_Introducción

1.1 Resumen y palabras clave

Construido en 2004 por los arquitectos suizos Herzog & de Meuron, el edificio Fórum forma parte de un gran proyecto de regeneración urbana del frente litoral norte de la ciudad de Barcelona, promovido con motivo del Fórum Universal de 2004. Es un edificio cuya voluntad es la de crear ciudad, para ello se eleva sobre el suelo dejando una planta baja libre. La estructura busca materializar esta idea, mediante un gran emparrillado metálico de celosías ortogonales, que apoya sobre los elementos verticales, dejando luces entre apoyos de hasta 50m. Mediante un modelo informático que se realiza del edificio, se buscan los objetivos de comprender la lógica estructural detrás del mismo, y poder extrapolar de ésta conclusiones para otros edificios de grandes luces. El análisis muestra las cargas verticales como la principal sollicitación del edificio. El concepto estructural busca la correcta transmisión de éstas cargas desde los puntos de aplicación hasta el terreno sin producir deformaciones ni tensiones excesivas. El edificio consigue plantear de forma coherente un esquema estructural claro y su análisis nos arroja luz sobre las limitaciones que tiene una estructura de este tipo sobre el proyecto arquitectónico.

Palabras clave: Edificio Fórum, Herzog & de Meuron, análisis estructural, estructura metálica, emparrillado de cerchas.

Built in 2004 by swiss architects Herzog & de Meuron, the Forum building is part of a large urban regeneration project of the northern coastline of the city of Barcelona, promoted on the occasion of the 2004 Universal Forum of Cultures. The building's main aim is to create urban tissue by rising above the ground, leaving an open ground floor. The structure seeks to materialize this idea, by using a metallic orthogonal truss grid which rests on the vertical elements of the structure, leaving a span between supports of up to 50 meters. The main objectives will be sought through the use of a computer model of the building. These include understanding the structural logic behind the building, and extracting conclusions that can be applied to other buildings with large spans between supports. The analysis shows vertical loads as the most compromising loads. The structural concept of the building seeks the correct transmission of these loads from their application points to the ground, without causing excessive stress or strain of the structural elements. The building presents a coherent structural scheme and its analysis sheds light on the limitations that these kind of structures have over the architectural project.

Key words: Forum Building, Herzog & de Meuron, structural analysis, metallic structure, truss grid.

Construït en 2004 pels arquitectes suïssos Herzog & de Meuron, l'edifici Fòrum forma part d'un gran projecte de regeneració urbana del front litoral nord de la ciutat de Barcelona, promogut amb motiu del Fòrum Universal de 2004. És un edifici amb la voluntat de crear ciutat, per a això s'eleva sobre el sòl deixant una planta baixa lliure. L'estructura busca materialitzar esta idea, amb un gran engrallat metàl·lic de zelosies ortogonals, que recolza sobre els elements verticals, deixant llums entre suports de fins a 50m. Per mitjà d'un model informàtic que es realitza de l'edifici, es busquen els objectius de comprendre la lògica estructural darrere del mateix, i poder extrapolar d'esta conclusions per a altres edificis de grans llums. L'anàlisi mostra les càrregues verticals com la principal sol·licitació de l'edifici. El concepte estructural busca la correcta transmissions d'estes càrregues des dels punts de aplicació fins al terreny sense produir deformacions ni tensions excessives. L'edifici aconsegueix plantejar de forma coherent un esquema estructural clar i el seu anàlisi nos fa llum sobre les limitacions que té una estructura d'este tipus sobre el projecte arquitectònic.

Paraules clau: Edifici Fòrum, Herzog & de Meuron, anàlisi estructural, estructura metàl·lica, engrallat de zelosies.

1.2 Objetivos y metodología

El Edificio Fórum constituye un icono de modernidad en la Barcelona actual. Su objetivo principal de crear una planta baja libre, conlleva la adopción de soluciones estructurales poco frecuentes para salvar las grandes luces que se plantean.

El objetivo de este trabajo será el de conocer en detalle estas soluciones estructurales, analizando el planteamiento estructural de su conjunto, así como el comportamiento de los elementos individuales que conforman su estructura. Todo ello, con el fin de poder obtener conclusiones sobre este tipo de estructuras que se puedan extrapolar al diseño de edificios que deban cubrir grandes luces. La meta será conocer la lógica estructural que del proyecto, y poder aplicar los conceptos subyacentes a edificios de similares características.

La comprensión de las limitaciones y efectos que tiene una estructura de este tipo sobre el diseño arquitectónico es algo importantísimo en la formación del arquitecto, y que deberá estar presente en futuros diseños de edificios similares.

Para ello, se propone la siguiente metodología. A partir de la información que se recopilará sobre el edificio real, se realizará un modelo de su estructura, con la ayuda de un programa informático de análisis. Este modelo será sometido a las cargas propias de la edificación, lo que permitirá realizar un exhaustivo estudio de su comportamiento. De los resultados obtenidos, se extraerán una serie de conclusiones sobre el modelo, que arrojen luz sobre la realidad estructural del edificio. Se intentarán buscar conclusiones aplicables, no solo al Edificio Fórum en concreto, si no en general, a edificios de similares características que deban cubrir grandes luces usando esquemas estructurales parecidos.



2_Herzog & de Meuron



Img. 1: Casa azul en Oberwil, Suiza (1980)



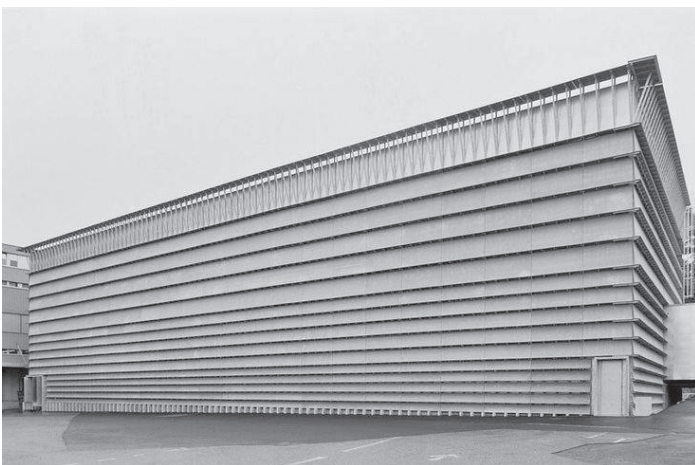
Img. 2: Casa de piedra en Tavole, Italia (1988)

Herzog & de Meuron es un **estudio** de arquitectura, fundado en 1978 por Jacques Herzog & Pierre de Meuron, con sede principal situada en Basilea, y que cuenta con otras oficinas internacionales. Es un estudio de gran repercusión internacional, que ha realizado numerosos proyectos, de diversidad de escalas, a lo largo de todo el mundo. Los propios Herzog y de Meuron recibieron el premio Pritzker en 2001 por su trayectoria y obra. Hoy en día su arquitectura se caracteriza por una constante innovación en la búsqueda de materiales, lenguajes, y soluciones arquitectónicas.

2.1 Equipo

Creado originalmente en Basilea en 1978 por sus dos cofundadores, Jacques Herzog y Pierre de Meuron (ambos arquitectos); hoy en día el estudio está dirigido por tres socios más, que se fueron integrando a medida que el despacho crecía: Christine Binswanger (arquitecta), que se unió como socia en 1994; Ascan Mergenthaler (arquitecto), en 2004; y Stefan Marbach en 2006 (diseñador). El estudio lo completa un grupo **internacional** multidisciplinar de arquitectos, ingenieros y diseñadores. En total, cuenta con 41 asociados, y al rededor de 420 colaboradores en sus proyectos internacionales.

La sede central se sitúa en Basilea, pero cuentan con una serie de oficinas satélite situadas en Hamburgo, Londres, Madrid, Nueva York y Hong Kong.



Img. 3: Almacén para la fábrica de Ricola, Laufén, Suiza (1987)



Img. 4: Edificio para la colección Goetz, Múnich, Alemania (1992)



Img. 5: Bodegas Dominus, en Yountville, California (1998)



Img 6: Edificio Prada Aoyama en Tokyo, Japón (2003)

2.2 Trayectoria y obras

El estudio ha realizado numerosas obras en todo el panorama internacional, de gran diversidad de escalas. A pesar de ser conocidos sus grandes proyectos de escala urbana: espacios públicos, estadios, museos; también han realizado gran cantidad de obra de menor escala: vivienda, oficinas, fábricas, sedes comerciales...

Entre los muchos premios que han recibido destacan el premio **Pritzker**, otorgado en 2001; la RIBA Royal Gold Medal (Reino Unido), en 2007; la Praemium Imperiale (Japón), también en 2007 o la Mies Crown Hall Americas Prize (MCHAP) en 2014.

Comenzaron a recibir atención internacional en sus primeras obras: casa azul en Oberwil, Suiza (1980) [Img. 1]; la casa de piedra en Tavole, Italia (1988) [Img. 2]; o el almacén para la fábrica de Ricola en Laufen, Suiza (1987) [Img. 3]. Se tratan de edificios pequeños, generalmente de viviendas, almacenes o tiendas. También destaca el edificio para la Colección Goetz, en Múnich, Alemania (1992) [Img. 4]. En sus inicios, hay una cierta apuesta por el minimalismo, y siempre una búsqueda constante de innovación material. Esta búsqueda solo hará que ir en aumento a medida que el equipo suizo desarrolla su obra.

Pero quizá uno de los primeros proyectos de repercusión internacional sería las Bodegas Dominus, en Yountville, California (1998) [Img. 5]. A partir de entonces, comienzan a recibir grandes encargos internacionales, incluyendo, entre otros: el edificio Prada Aoyama en Tokyo, Japón (2003) [Img. 6]; la nueva Biblioteca Para el BTU Cottbus, Alemania (2005) [Img. 7]; VitraHaus, en Weil am Rhein, Alemania (2010) [Img. 8]; 1111 Lincoln Road, en Miami Beach, Florida, USA (2010) [Img. 19].



Img. 7: Nueva Biblioteca Para el BTU Cottbus, Alemania (2005)



Img. 8: VitraHaus, en Weil am Rhein, Alemania (2010)



Img. 9: Allianz Arena, en Múnich, Alemania (2005)



Img. 10: Estadio principal para los JJ.OO. de 2008 en Beijing, China (2008)

Se trata de proyectos donde se presta gran énfasis a la piel del edificio, de nuevo buscando innovaciones **tecnológicas** y constructivas que permitan alcanzar nuevos lenguajes arquitectónicos. La apuesta también es por una arquitectura formal, hablando de términos como el artificio, el ornamento o la importancia del lenguaje. Son aspectos claves para entender la obra de Herzog y de Meuron.

Destacan también algunos de sus proyectos para **estadios** deportivos, entre otros, el Allianz Arena, en Múnich, Alemania (2005) [Img. 9] o el Estadio Nacional de Beijing, “Nido de Pájaro”, estadio principal para los Juegos Olímpicos de 2008 en Beijing, China (2008) [Img. 10]. En este último, la apuesta formal es tal que conforma todos los aspectos del proyecto. En este caso, la piel exterior es fachada y a la vez estructura; es decir, el ornamento no es puramente caprichoso y en busca de nuevas sensaciones y lenguajes, aquí también es parte fundamental del proyecto, es inherente al mismo.

De entre sus proyectos en **España**, destacan el edificio Caixa Fórum, en Madrid (2005) [Img. 11], el Edificio Fórum, en Barcelona (2004) [Img. 12]; y dos proyectos en Tenerife, la remodelación de la Plaza de España y el Espacio de las Artes de Tenerife (TEA) [Img. 13], ambos en 2007. Los tres, a pesar de tener un objetivo funcional similar (espacios para albergar obras de arte), ofrecen una respuesta totalmente diferente, y siempre vinculada al lugar en que trabajan. En Madrid, el proyecto busca objetivos urbanos: retrasarse de la Castellana, crear una plaza, y crear un edificio que consiga levitar sobre el suelo. Con parámetros similares, pero resultados formales muy diferentes, el Edificio Fórum persigue construir ciudad en un nuevo barrio de la ciudad. En Tenerife, el TEA se propone como un punto de encuentro abierto a la ciudad y a sus habitantes, una idea de apertura e integración que se refleja en la arquitectura. En los tres casos, el objetivo de Herzog & de Meuron va más allá de responder únicamente a las necesidades funcionales del programa, busca siempre dar respuestas a problemas urbanos existentes.



Img. 11: Edificio Caixa Fórum, Madrid (2005)



Img. 12: Edificio Fórum, Barcelona (2004)



Img. 13: Espacio de las Artes de Tenerife (TEA) (2007)



Img. 14: Museo de Young, en San Francisco, EE.UU. (2005)



Img. 15: Tate Modern Gallery, Londres, Reino Unido (2000)

Quizá cabe mencionar, casi como un apartado aislado, la categoría de **museos** y galerías. El primero será la colección Goetz, ya mencionada, en 1992 [Img. 4], pero aquí arrancará una tipología ampliamente explorada por los arquitectos suizos. Le sucederán el museo Küppersmühle, en Duisburg, Alemania (1999); la Schaulager Basel, en Basilea, Suiza (2003); la expansión del Walker Art Center en Minneapolis, USA (2005), el Museo de Young, en San Francisco [Img. 14], USA (2005); los tres proyectos de museos realizados en España, ya mencionados; el Museo de las Culturas en Basilea, Suiza (2010). Pero quizá el proyecto museístico más importante hasta la fecha fue la conversión de una planta eléctrica en la Tate Modern de Londres, Reino Unido (2000) [Img. 15] y sus posteriores proyectos de ampliación (2012) [Img. 16].

Entre sus proyectos de museos más recientes, el Museo de Arte Moderno de Kolkata, su primer proyecto en India (2008-); el Museo de Arte Parrish, en Water Mill, Nueva York, USA (2012) [Img. 17] o el Pérez Art Museum en Miami (2013).

En gran parte de sus proyectos museísticos, se ven las características comunes a su obra: la búsqueda de lenguajes atrevidos e innovadores. También serán proyectos que requieren de grandes **alardes estructurales**, con grandes voladizos, luces de grandes dimensiones, estructuras espaciales... Se ve especialmente en el Caixa Forum de Madrid [Img. 11], con una gran estructura de cuatro plantas que da la sensación casi de flotar, o como se verá en detalle en el Edificio Fórum de Barcelona, de nuevo con un volumen flotando sobre el suelo. También se repite en la VitraHaus [Img. 8], con grandes volúmenes que parecen desafiar a la gravedad. En todos estos ejemplos, este comportamiento estructural es inherente al propio proyecto.



Img. 16: Proyecto de ampliación Tate Modern, Londres, Reino Unido (2012)



Img. 17: Museo de Arte Parrish, en Water Mill, Nueva York, USA (2012)



Img. 18: Hall de la Messe Basel, Basilea, Suiza (2013)



Img. 19: la Elbphilharmonie, en Hamburgo (2003)



Img. 20: 1111 Lincoln Road, Florida, EE.UU. (2010)

En su búsqueda por el artificio, Herzog & de Meuron han ido encontrando soluciones estructurales tremendamente innovadoras, que permiten alcanzar estos proyectos aparentemente ingrávidos. En muchos casos incluso los proyectos parecen ir en contra de los principios básicos de las estructuras, como ocurre con los pilares en forma de V invertida en el 1111 de Lincoln Road [Img. 20].

Entre sus proyectos más recientes, la Elbphilharmonie, en Hamburgo (2003-), [Img. 19] una enorme sala de conciertos que incluye apartamentos y que a día de hoy sigue en construcción; el nuevo Hall de la Messe Basel, en Basilea, Suiza (2013) [Img. 18], donde se ve que se mantiene su apuesta por las fachadas como **ornamento**; o la nueva sede para el BBVA en Madrid (2008-) [Img. 21], un enorme edificio que está en construcción y que albergará oficinas, compuesto por un basamento y una gran torre ovalada. También cabría mencionar el Pabellón para la Serpentine Gallery, en Londres, Reino Unido (2012) [Img. 22] realizado por el equipo suizo, pabellón que cada año realiza un arquitecto de renombre para esta galería londinense.

De forma global, y a lo largo de todo el desarrollo de su obra, el **lenguaje** material y formal de este equipo de arquitectos está en constante reinención e innovación. Su obra es fiel relejo de su casi inagotable imaginación, adaptable a todos los lugares donde se enfrentan a nuevos proyectos. Todo ello ilustra la evolución de los lenguajes formales usados por el estudio, así como su reinterpretación material y estructural de los métodos de construcción tradicionales. Su apuesta formal y estructural tan arriesgada ha llevado consigo el desarrollo de nuevas soluciones estructurales para muchísimos de sus proyectos. En este marco, este proyecto investigará una de estas soluciones estructurales, la usada en el Edificio Fórum de Barcelona, analizando su comportamiento estructural.



Img. 21: Nueva sede para el BBVA, Madrid, España (2008)



Img. 22: Pabellón para la Serpentine Gallery, en Londres, Reino Unido (2012)

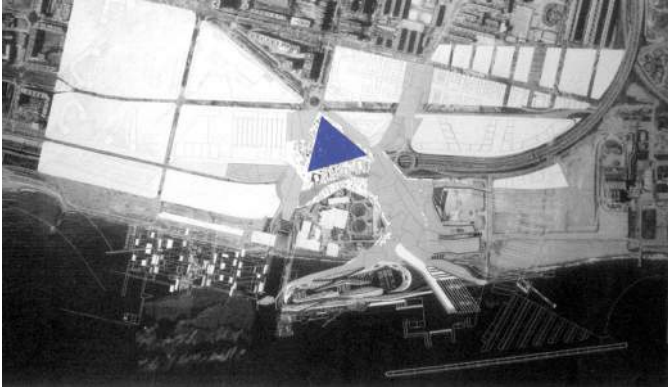


3_Proyecto arquitectónico

3.1 Entorno y contexto

3.1.1 RENOVACIÓN URBANÍSTICA DEL FRENTE LITORAL BESÓS-FÓRUM

El Edificio Fórum forma parte de un gran proyecto de regeneración urbanística del frente litoral Besós-Fórum de la ciudad de Barcelona. El motivo de este proyecto fue acondicionar toda la zona para albergar el **Fórum Universal** de las Culturas 2004. La idea original de organizar este evento surge en 1996, por parte de la administración local, y con aprobación posterior en 1997 en la vigésimo novena Congerencia General de la Unesco. El Fórum debía albergar exposiciones, espéctaculos y congresos internacionales de todo tipo, que debían promover las ideas de desarrollo sostenible, las condiciones para la paz y la diversidad cultural.



Img. 1: Esquema de intervención urbana del conjunto.



Img. 2: Esquema de intervención urbana del conjunto sobre plano de estado actual

Para albergar este nuevo programa, donde acudirían según las previsiones más de cinco millones de visitantes, desde la administración local se promovió la definición y acondicionamiento del recinto donde celebrarse. Nació así el plan de **renovación** urbanística del frente litoral Besós-Fórum. El recinto del Fórum se situó en un espacio cercano a la desembocadura del río Besós, en terrenos ganados al mar frente al litoral del Barrio Besós y del Maresme de Barcelona y en San Adrián de Besós. La zona además debía servir de remate a la Avenida Diagonal en su encuentro con el mar [Img. 1]. La idea era reconvertir esta antigua tierra de nadie, plagada de instalaciones residuales y una planta de tratamiento de residuos, en un tejido capaz de albergar los usos del Fórum. [Img. 2]

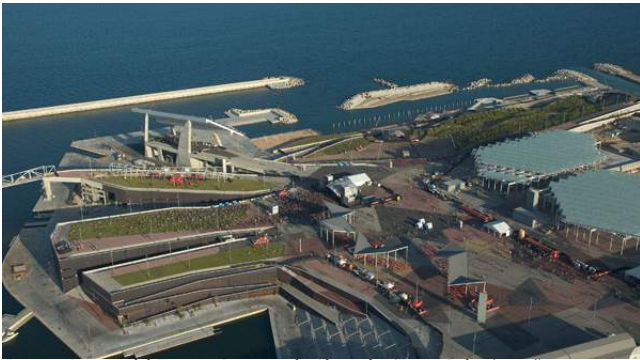
Para llegar al estado actual, se realizaron una serie de grandes cambios de **infraestructura** de la zona, reacondicionándola para convertirla en espacio habitable, en ciudad. Se construyó una plataforma artificial de unas 15 hectáreas de superficie sobre la gran autopista de la costa, la Ronda Litoral, y sobre las estructuras conservadas de la planta industrial, para así abrir un acceso al mar a la disposición de residentes y visitantes [Img. 3]. Esta nueva zona, llamada la Explanada del Fórum, constituye hoy en día un digno final para la avenida Diagonal [Img. 4]. Además, se construyeron dos grandes edificaciones: el Edificio Fórum [Img. 6], que es objeto de nuestro estudio; y el Centro de Convenciones



Img. 3: Vista aérea de estado actual del conjunto.



Img. 4: Vista aérea. Final de la diagonal y conexión con el mar.



Img. 5: Parque del Fórum. Proyecto de Alejandro Zaera Polo. (2004)



Img. 6: Imgpiano aéreo. Estado actual conjunto. Edificio Fórum.

Internacional de Barcelona, de Josep Lluís Mateo, 2002 [Img. 7]. En estos dos edificios debían celebrarse los congresos y las diversas exposiciones de gran formato. Sobre los edificios se extiende una gran plaza, que ocupa la mayor parte del recinto del Fórum, y donde debían celebrarse gran cantidad de actividades al aire libre. Debajo de la plaza quedaba oculta la antigua estación depuradora, y numerosas instalaciones necesarias para el desarrollo de las actividades del Fórum. Tras la celebración del evento se construyó una estructura con paneles de captación solar, que se suma a otra gran instalación de energía solar fotovoltaica, ya construida, situada en uno de los extremos de la explanada.

El recinto del Fórum ocupaba también un enorme puerto deportivo que acogió diversas exposiciones, zonas de restauración, zonas de juego.... El recinto lo completan dos parques y una zona de baños, formada por diversas piscinas de agua natural. Uno de los parques, el Parc que del Fórum o Parque de los Auditorios fue diseñado por el arquitecto español Alejandro Zaera Polo (2004) [Img. 5]. En él, se aprovecha el desnivel entre la plaza y el mar para generar una serie de dunas artificiales y dos auditorios al aire libre.

En este contexto de enormes cambios en la zona, grandes operaciones de infraestructura, y la voluntad de crear tejido urbano nuevo; se enmarca el proyecto del Edificio Fórum de Barcelona.

3.1.2 EL RECINTO DEL FÓRUM EN LA ACTUALIDAD

En la actualidad, el Recinto del Fórum, a pesar de haber dejado de tener la función de albergar el Fórum, ha conseguido readaptarse a las necesidades de la ciudad. Algunos de los edificios han cambiado de uso para adaptarse a los nuevos cambios de ésta. La zona ha sido testigo de una gran expansión en los últimos años, con grandes construcciones, torres de oficinas, hoteles... Entre ellos, el Hotel Princess, del arquitecto Óscar Tusquets (2004) [Img. 9] o la reciente Torre Diagonal Cero-Cero, torre de oficinas para la empresa Telefónica, de Emba Estudi Massip-Bosch arquitectes, construido en 2011. [Img. 8]



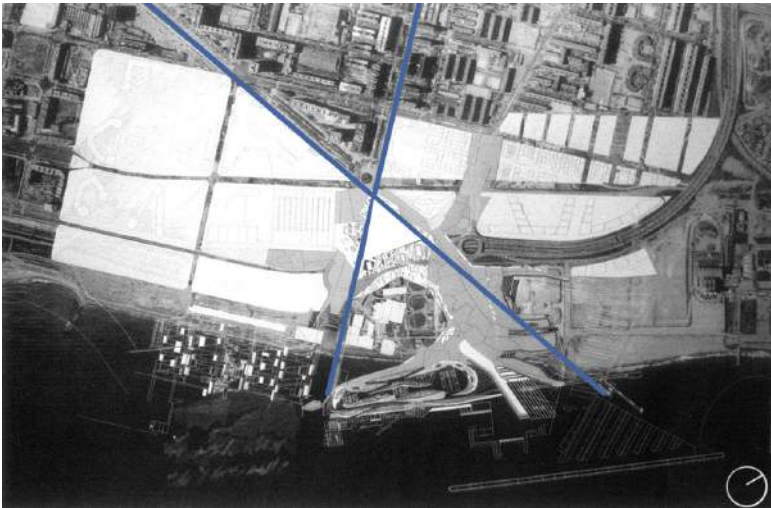
Img. 7: Centro de Convenciones Internacional de Barcelona. Josep Lluís Mateo, 2002



Img. 8: Torre Diagonal Cero-Cero (2011)



Img. 9: Hotel Princess, Oscar Tusquets (2004)



Img. 10: Esquema de intervención urbana del conjunto. Ejes principales.



Img. 11: Plano esquema de usos Explanada del Fórum

3.2 Proyecto arquitectónico

3.2.1 EDIFICIO FÓRUM

El Edificio Fórum debía por una parte albergar espacios para los **congresos y exposiciones** necesarios para el Fórum, pero por otra parte, casi más importante, debía ser capaz de integrarse en este nuevo tejido de ciudad. Debía ser capaz de conseguir crear tejido urbano en un lugar que hasta el momento era de todo menos ciudad. El barrio se proponía como un símbolo de la nueva Barcelona, la Barcelona del siglo XXI, y el Edificio Fórum el estandarte de este nuevo barrio.

El edificio se sitúa al final de la Avenida Diagonal, justo donde ésta termina en su encuentro con el mediterráneo, encima de la nueva plataforma artificial creada para el Fórum [Img. 10]. Desde sus inicios, el proyecto se plantea como espacio público más que como edificio. Basándose en el tradicional uso del espacio público, debido al clima, costumbres y forma de vida mediterráneas, los arquitectos suizos plantean un proyecto que genera espacio urbano, que lo estructura y organiza. El proyecto se plantea como un enorme edificio desarrollado en una sola planta, elevada sobre el suelo, generando un espacio **público** fluido y continuo por debajo del mismo. [Img. 11].

La geometría del edificio en planta es un triángulo equilátero de 180m de lado. Esta geometría surge de prolongación de dos **líneas**: la propia Avenida diagonal y la Rambla de Prim. [Img. 10] El edificio se concentra en una gran planta de 12m de alto, elevada sobre el terreno, y que alberga en su interior todos los usos desarrollados en horizontal [Img. 12]. Este gran cuerpo forma una cubierta para la plataforma que se desarrolla por debajo, permitiendo el aprovechamiento máximo de la planta baja para usos públicos. [Img. 14-16].



Img. 12: Vista aérea Edificio Fórum y entorno cercano.



Img. 13: Maqueta proyecto original.



Img. 14: Edificio Fórum. Fachada norte.



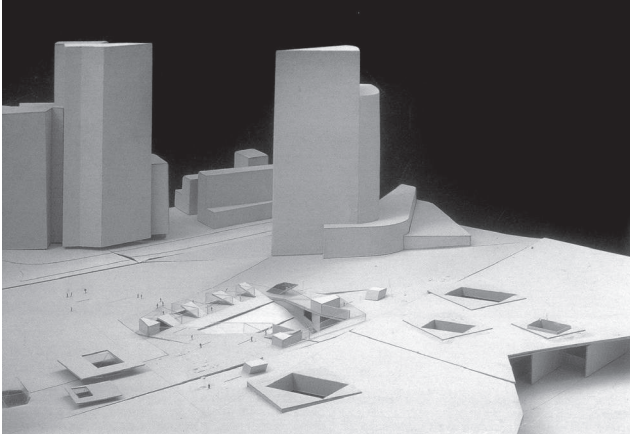
Img. 15: Edificio Fórum. Esquina este.



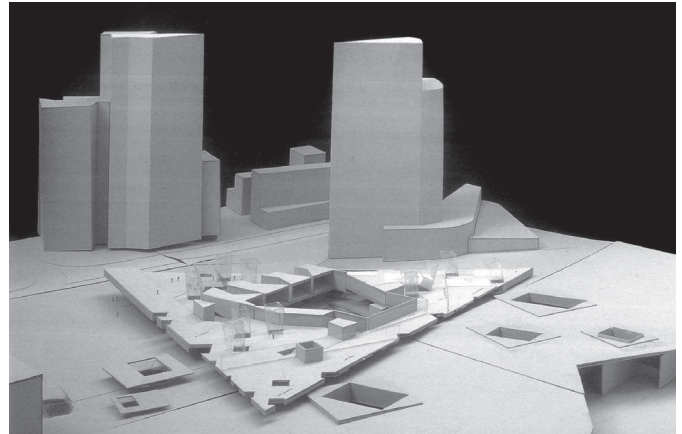
Img. 16: Edificio Fórum. Esquina noroeste.

3.2.2 PROGRAMA

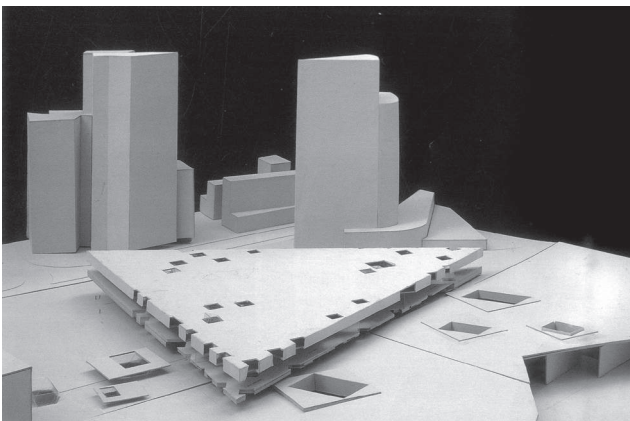
En planta **baja**, quedan simplemente el acceso al edificio, varios núcleos de comunicación vertical, y los pilares y demás apoyos estructurales [Img. 19] [Img. 17a]. Desde esta planta se produce el acceso tanto a la planta superior, como a los niveles inferiores, a través de una serie de vestíbulos y núcleos de comunicación. El propio suelo no es horizontal, sigue la pendiente de toda la plataforma del Fórum, que entra en suave ascensión en dirección hacia el mar. El techo de la planta baja, formado por un revestimiento continuo de paneles de acero inoxidable que reflejan la luz; es, en contraste horizontal y continuo casi en su totalidad. Los apoyos estructurales son los únicos que atraviesan esta planta, 14 en total: 5 pilares de hormigón y 9 núcleos de hormigón.



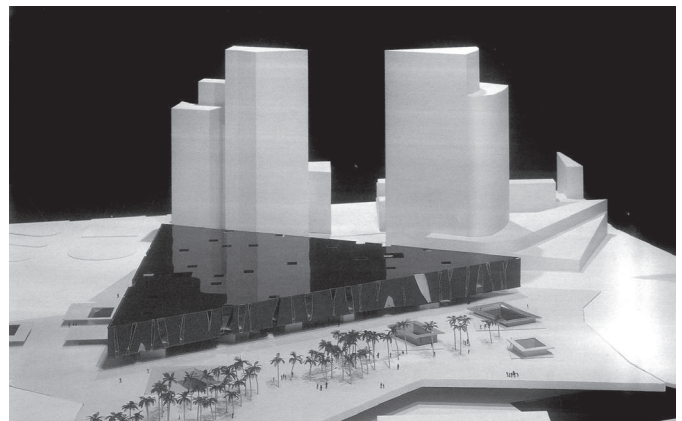
Img 17.a: Esquema en maqueta. Planta baja y auditorio.



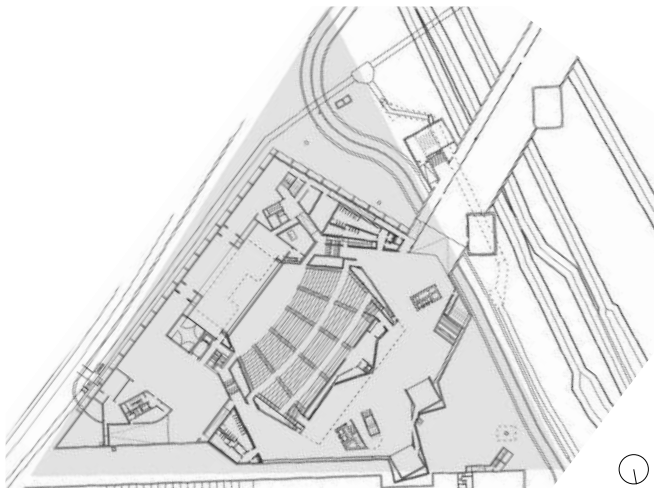
Img 17.b: Esquema en maqueta. Planta principal.



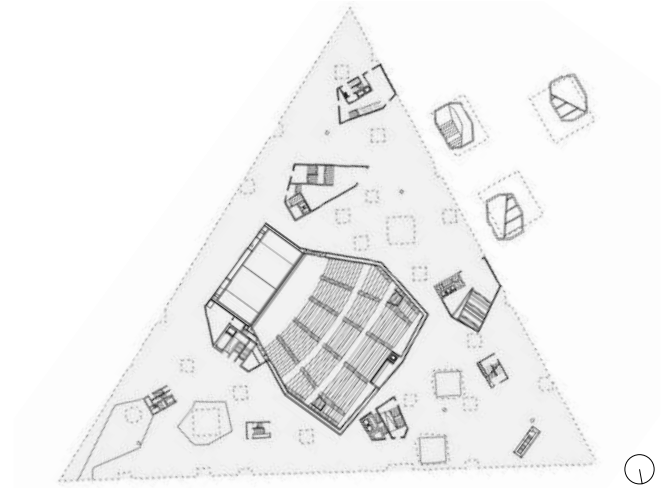
Img 17.c: Esquema en maqueta. Estructura principal.



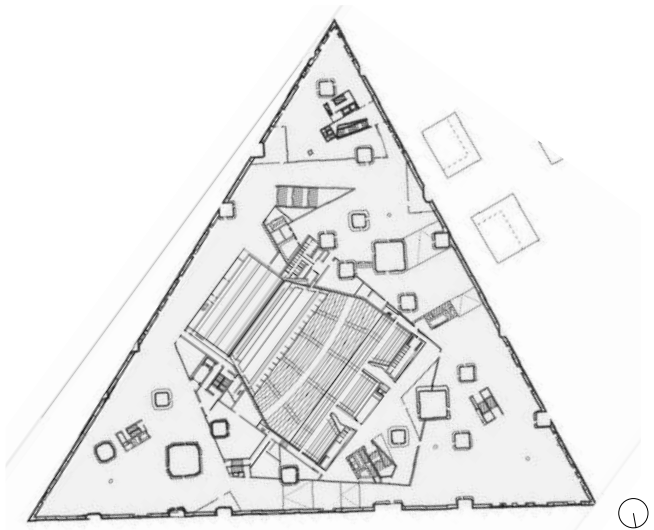
Img 17.d: Esquema en maqueta. Planta cubiertas.



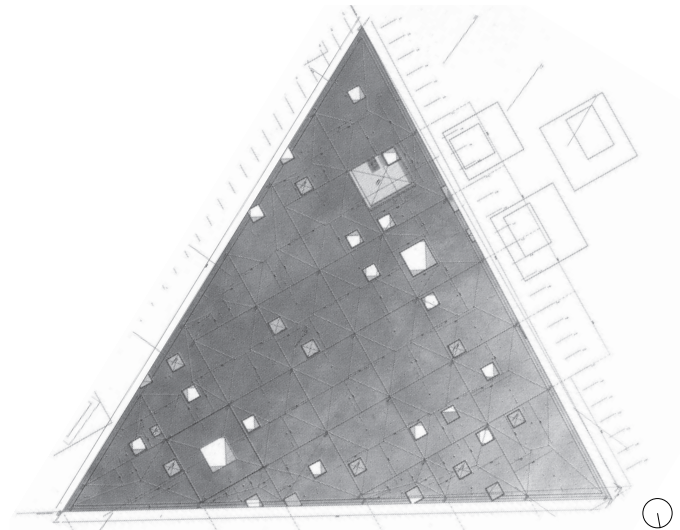
Img. 18: Planta sótano.



Img. 19: Planta baja.



Img. 20: Planta principal.

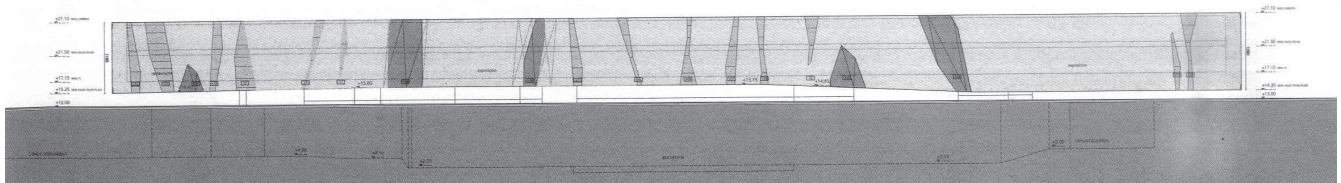


Img. 21: Planta cubiertas.

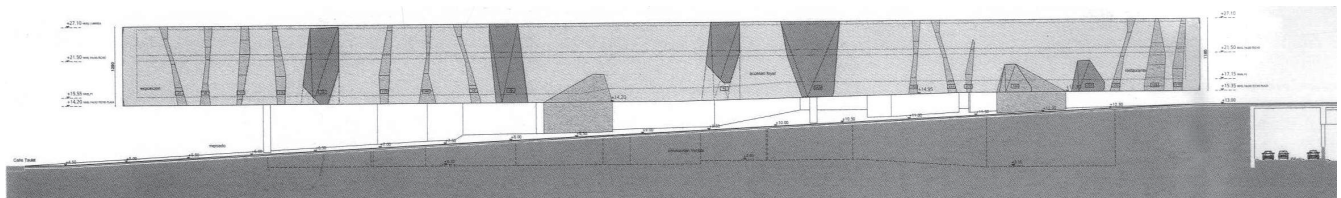
En planta **primera** [Img. 20] [Img. 17b] se desarrolla el programa principal del edificio que debía contener grandes zonas de exposición, zonas de administración, restaurante y distintos vestíbulos y espacios de relación. Además, un auditorio con capacidad para 3.200 personas, que se desarrolla en vertical a lo largo de todo el edificio, atravesando la planta baja y llegando incluso hasta la planta sótano. También atravesando la planta principal del edificio, aparecen una serie de patios de geometría compleja, y de distintos acabados, que sirven para la introducción de luz tanto a la planta principal, como a la planta baja. Todo el techo de planta primera está modulado mediante una retícula que queda visible a través de un falso techo negro de piezas totalmente desmontables. Es una planta de 12m de alto, pero los últimos 4m de altura están ocupados por el gran emparrillado estructural que conforma la estructura principal de cubierta, de la que se hablará con detalle. [Img. 17c]

En el **sótano** [Img. 18], que se desarrolla en dos niveles; encontramos parte del auditorio, [Img. 17a] zonas de instalaciones y un enorme túnel de 20m de luz que conecta el edificio con el colindante Centro internacional de Convenciones. En ambos niveles encontramos un gran espacio para aparcamiento, al que se accede desde la Ronda litoral.

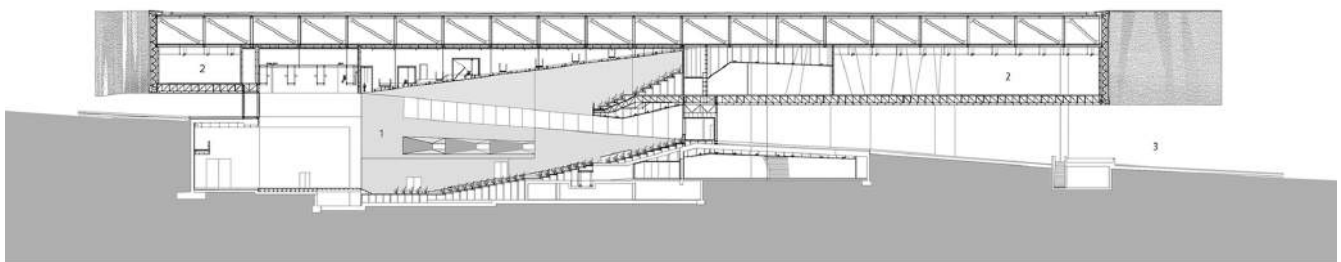
La planta de **cubiertas** [Img. 21] [Img. 17d], accesible sólo para el mantenimiento, se propone como una cubierta inundable, que mejora el comportamiento térmico del edificio. Sin embargo, en la actualidad y debido a su alto mantenimiento, se ha eliminado la capa de agua que actuaba como cubierta aljibe.



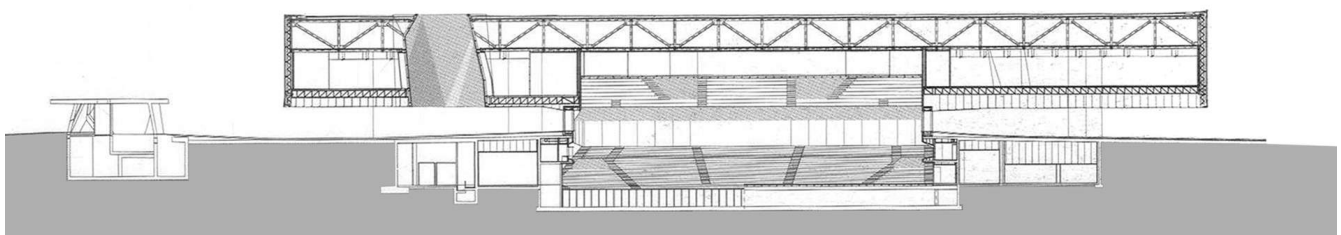
Img. 22: Alzado sureste. Ronda Litoral



Img. 23: Alzado suroeste. Rambla Prim.



Img. 24: Sección longitudinal por auditorio.



Img. 25: Sección transversal por auditorio.

Además, para generar mayor vitalidad e interrelación, se proponen usos adicionales al programa propuesto. Espacios **exteriores** como un gran espacio de mercado exterior, una fuente, patios con agua, una pequeña capilla, un bar y un quiosco, completan el programa principal de lugar de convenciones. Todo ello acentúa la importancia puesta en el espacio público.

El protagonista principal del edificio es sin duda el espacio público, que se desarrolla en la plataforma que forma la Explanada del Fórum. Ésta se desarrolla, ondulante, por debajo del edificio, sin interrupciones. Los patios ya mencionados sirven además para introducir luces y vistas al cielo desde la planta baja.

El edificio en su conjunto se propone como una **metáfora** sobre lo marino, y esto se materializa en la propia construcción del mismo. Los tonos azules, el uso de los reflejos metálicos y el vidrio, buscan generar una atmósfera marina, que produzca la sensación de estar adentrándose en el mar.

Los interiores del edificio se consideran espacios híbridos, donde se diluyen los límites entre interior y exterior, buscando siempre los reflejos y los tonos azules. En planta baja es difícil discernir dónde termina el edificio y dónde empieza el espacio público, están íntimamente vinculados entre sí.



Img. 26: Detalle encuentro fachada y hueco



Img. 27: Detalle fachada.



Img. 28: Detalle fachada. Acabado de cemento gunitado.

3.2.3 MATERIALIZACIÓN

La materialización del edificio busca transmitir la gran metáfora **marina** que representa el mismo. Se buscan los tonos azules, los reflejos, los vidrios reflectantes... Todo ello produce en la persona que se acerca al edificio una atmósfera específica, una idea de acercamiento hacia el lugar, casi como adentrándose en las profundidades marinas hasta encontrar un tesoro. Existe una preocupación constante por parte de los arquitectos de proporcionar luz a cada uno de los rincones del edificio, que consiguen no sólo mediante el uso de patios, si no que además se tamiza y refleja la luz a través de distintos mecanismos. El resultado, un lenguaje contemporáneo que sigue la línea de Herzog y de Meuron de la continua búsqueda de innovación y desarrollo tecnológico para producir atmósferas para sus edificios.

Las tres fachadas se materializan con una textura **rugosa**, [Img. 22-25] conseguida con un acabado de mortero de cemento gunitado, con pigmentos azules, que cambia con las distintas luces. [Img. 26] Las fachadas quedan atravesadas por una serie de rasgaduras verticales irregulares de vidrio reflectante, que además permiten entrada de luz interior. [Img. 27] En algunos puntos las fachadas quedan atravesadas por los patios de cubierta, generando irregularidades que aumentan las texturas. [Img. 28]

Los propios **patios** tienen muy distintos acabados. Existen patios que simplemente dan a fachada, y que se terminan con el acabado de mortero azul gunitado. El resto dan al interior de formas muy diversas: patios totalmente acristalados, que permiten la entrada de luz a la planta principal y reflejan la luz del sol a la planta baja [Img. 29] ; en otros patios, se usa el mismo acabado que en las fachadas, con mortero proyectado y rasgaduras de vidrio reflectante verticales [Img. 30]; y finalmente, otros patios quedan totalmente envueltos con paneles de acero inoxidable reflectante, el mismo acabado usado en el techo de planta baja. [Img. 31]



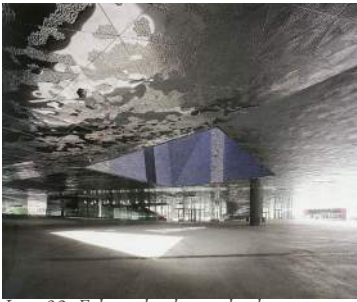
Img. 29: Detalle patio acristalado.



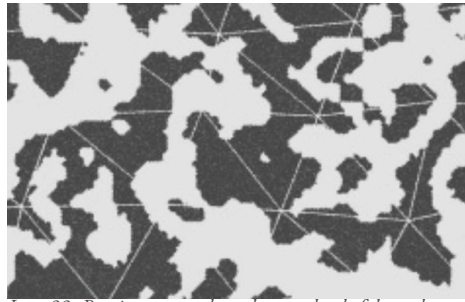
Img. 30: Detalle patio opaco con rasgaduras.



Img. 31: Detalle patio de acero inoxidable reflectante.



Img. 32: Falso techo de paneles de acero inoxidable.



Img. 33: Patrón estampado en los paneles de falso techo.



Img. 34: Detalle encuentro continuo falso techo de acero y revestimiento de fachada.

Precisamente este **techo** está formado por más de 28.000 paneles triangulares de acero inoxidable, de 1,10 m de lado [Img. 32]. Los paneles llevan cada uno un patrón de estampado distinto, basados en un model matemático de una superficie acuática real. [Img. 33] Este patrón intenta conseguir una figura que imitase la textura y las sinuosidades de las olas sobre el acero inoxidable. El dibujo de cada panel continúa en el panel adyacente. [Img. 34] Sin embargo, al tener cada panel no sólo un dibujo distinto, si no además unas dimensiones distintas que se van adaptando a la geometría irregular de la planta; se desarrolló un sistema de sujeción flexible específico para el proyecto. En total, más de 140 toneladas de acero inoxidable. Se trata de un acero con una buena resistencia al corrosivo ambiente salino en que se encuentra el edificio.

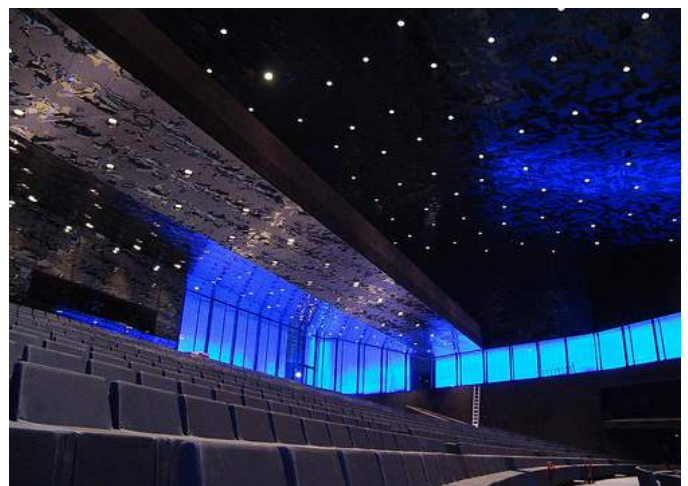
Este techo continuo se prolonga tanto en algunos patios, como en el techo de todo el **auditorio**. Los paneles del interior del auditorio además reciben un tinte azulado para dotar al mismo de una atmósfera completamente sumergida. Al auditorio además le llega luz natural a través de unas rasgaduras horizontales en la planta baja. Se produce así una conexión visual y espacial del espacio interior del auditorio con el espacio exterior de la planta baja. [Img. 35-37]



Img. 35. Auditorio. Vista desde la parte superior.



Img. 36. Auditorio. Vista desde el escenario.



Img. 37. Auditorio. Vista del techo e iluminación.



Img. 38. Detalle nuevo cartel. Esquina noroeste.



Img. 39. Detalle nuevo cartel. Esquina noroeste.

3.3 Museu Blau

Desde un principio, se plantea el edificio desde su **flexibilidad** total. Los arquitectos suizos proponen una construcción interior capaz de adaptarse a futuros cambios del edificio, y con ellos cambiará la atmósfera del propio edificio.

En 2009 aparece de forma clara la necesidad del edificio de adoptar un nuevo uso. Se debía convertir el Edificio Fórum en la nueva sede del **Museo** de Ciencias Naturales de Barcelona. Esto se vio como una oportunidad para empezar un nuevo ciclo vital del edificio. Precisamente el Edificio Fórum, con unos espacios interiores y exteriores de grandes dimensiones y flexibilidad; y con sus claras referencias a los procesos naturales se vio como el nuevo hogar ideal para el Museo. Además, el propio Edificio Fórum se beneficiaría de una revitalización y mejor utilización de algunos de sus espacios que pudieran haber quedado en desuso. El edificio pasó a recibir el nombre de Museu Blau.

[Img. 38. Img. 39]

Para todo ello, el equipo suizo realiza un proyecto de **remodelación** en 2009-2010, que se construirá entre 2010 y 2011. Se sigue produciendo el acceso principal desde la esquina más cercana a la diagonal. Entre algunos cambios, se modifica el uso de algunos de los pabellones de planta baja, ofreciendo puntos de información y de reunión para los visitantes al museo. En la esquina noreste, se planta nueva vegetación exterior. Finalmente, en la esquina sureste, la esquina que da directamente el mar, se habilita una nueva zona de cafetería exterior, para grupos y estudiantes; adyacente al bar que ya existía.

En la planta principal, el interior que queda estructurado por los patios, se habilita la colección de Ciencia natural, teniendo en cuenta la variabilidad de las exposiciones, y la necesidad de flexibilidad [Img. 40-42]. La exposición permanente alberga colecciones de rocas, minerales, taxidermia, vegetación, fósiles y diagramas científicos de diversa índole. El recorrido comienza en el vestíbulo, al que se accede desde la planta de calle, y recorre el edificio al rededor del auditorio. El interior queda marcado por una serie de vitrinas que contienen la colección museística, en un espacio generalmente oscuros, con la introducción puntual de luces naturales a través de los patios.



Img. 40: Remodelación interior. Detalle vitrinas.



Img. 41: Detalle vitrinas expositivas



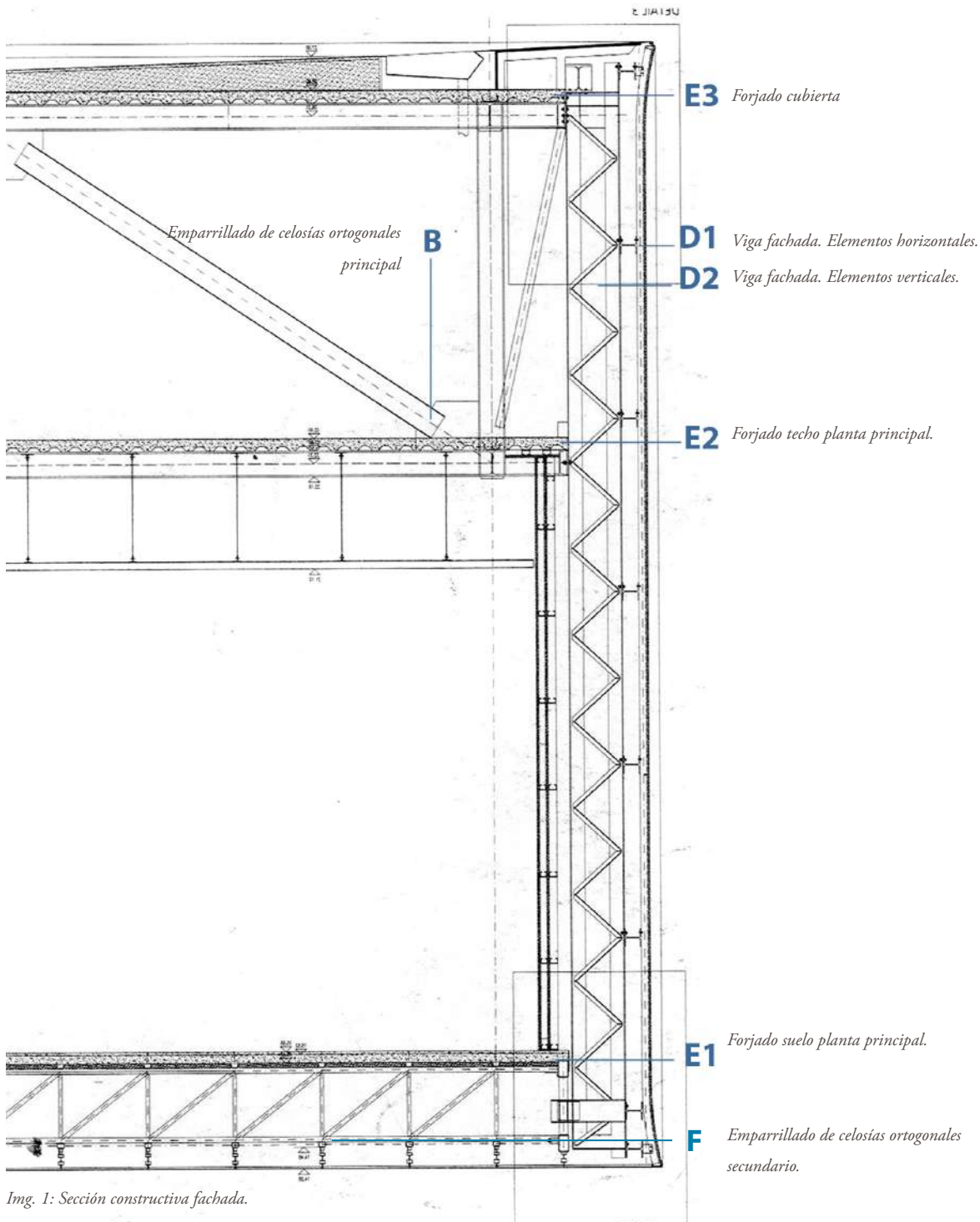
Img. 42. Detalle vitrinas expositivas e iluminación del museo.



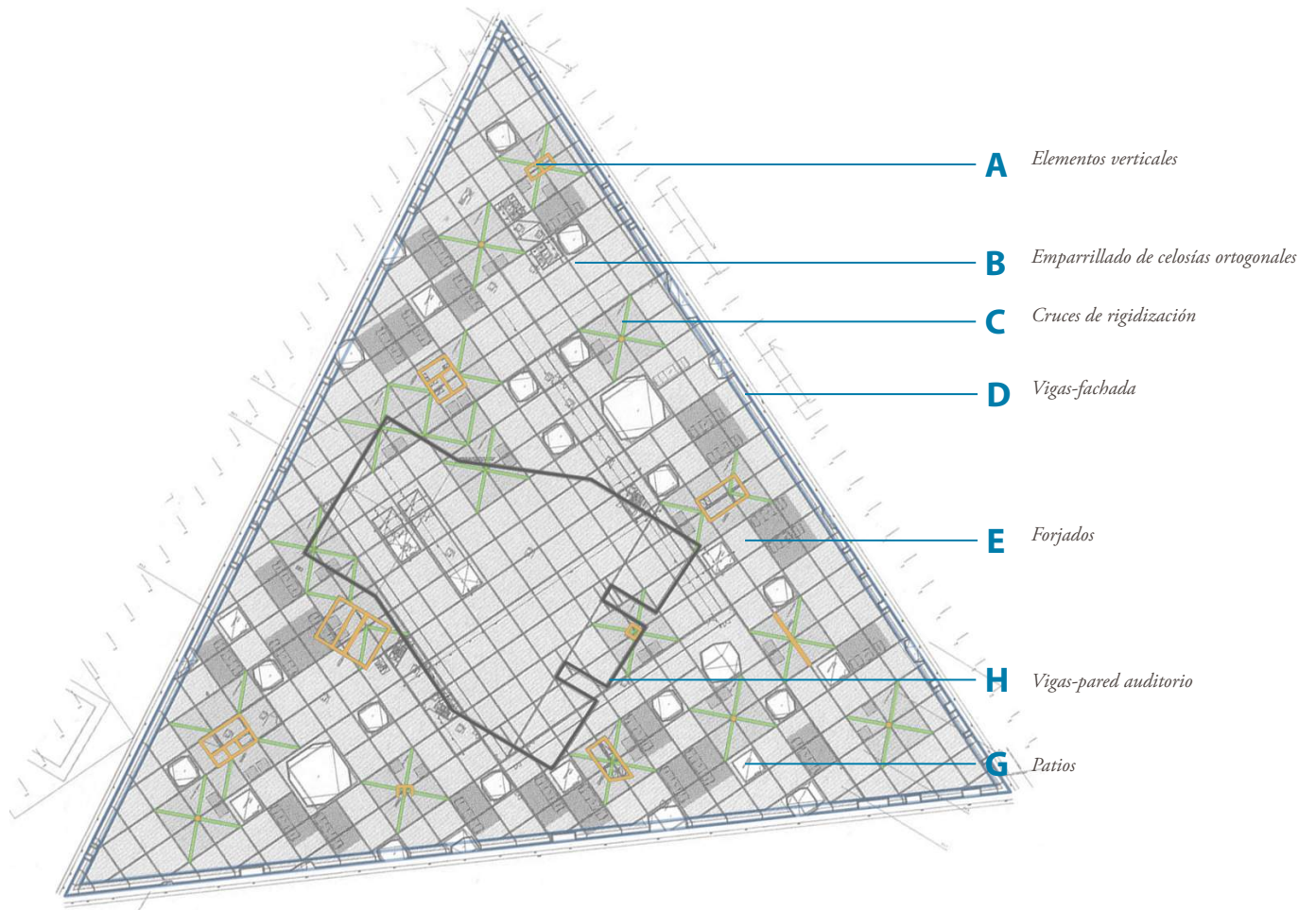
4_Estructura y construcción

4.1 Esquema estructural

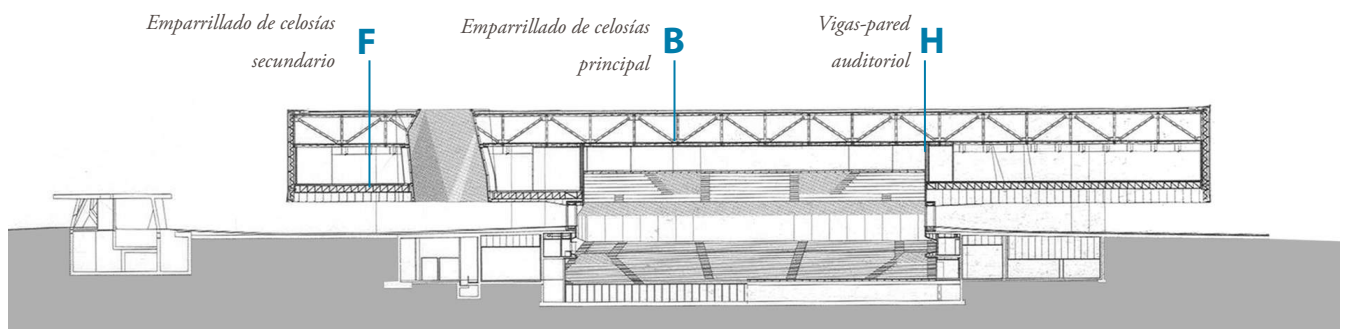
El esquema estructural del edificio persigue materializar la idea de gran **volumen** elevado sobre el suelo. Para ello se recurre a un complejo sistema que permita construir esta idea de forma real. El enorme edificio queda suspendido sobre el suelo sobre 14 apoyos, y una gran estructura metálica conforma un emparrillado de celosías ortogonales en el techo de la planta principal de la que cuelga el resto de la estructura. El forjado de planta primera apoya sobre otro emparrillado de celosías secundario, que cuelga de la principal. Las plantas de sótano que quedan enterradas cuentan con una estructura más tradicional de forjados y apoyos de hormigón. A continuación se expone de forma individual cada uno de los elementos que conforman la estructura del edificio. [Img. 1-4]



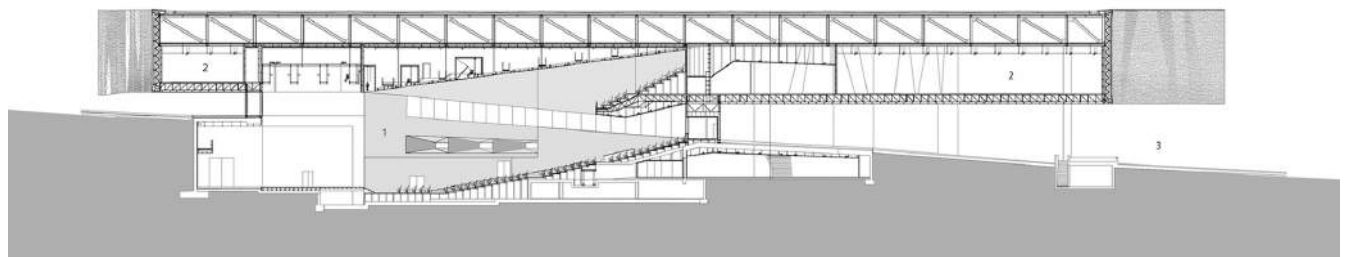
Img. 1: Sección constructiva fachada.



Img. 2: Planta de estructura y planta de techos de planta principal.



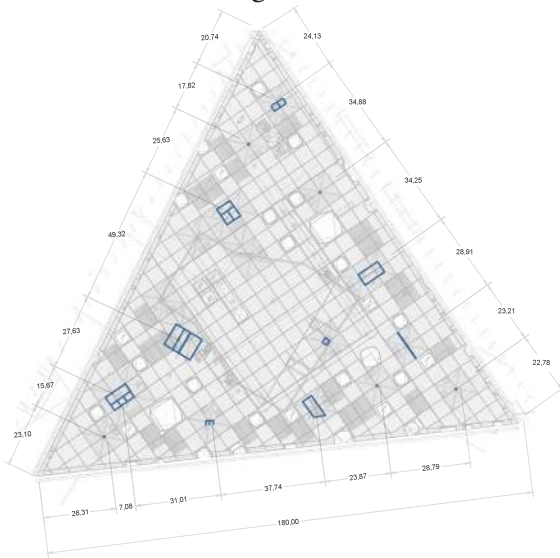
Img. 3: Sección longitudinal por auditorio.



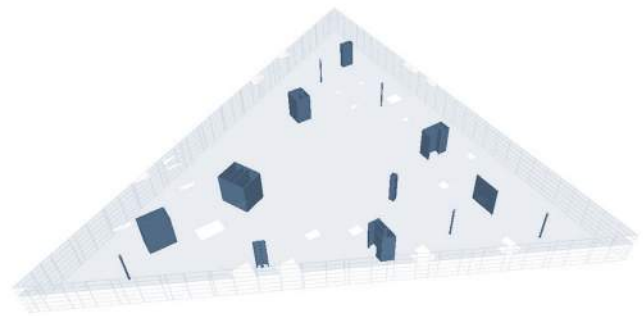
Img. 4: Sección transversal por auditorio.

A. ELEMENTOS VERTICALES

Son los encargados de soportar la estructura metálica principal y transmitir los esfuerzos a la cimentación. Dispuestos de forma repartida a lo largo de la planta, estos elementos recorren todo el edificio en vertical, desde las plantas del sótano, atravesando las plantas, hasta terminar donde empieza el emparrillado principal. Encontramos dos tipos de elementos verticales. Por una parte, 5 pilares cilíndricos de hormigón armado, de 60cm de diámetro. Estos pilares, que se concentran principalmente en las esquinas y el perímetro del edificio, quedan vistos. Por otra parte, 9 núcleos rígidos de hormigón armado, de hormigón de 30cm de espesor, que contienen los elementos de comunicación vertical. La disposición en planta, aparentemente aleatoria, queda fijada a partir de la retícula base que forma la estructura metálica de cubierta. [Img. 6] Se forman así unas luces entre apoyos que van desde los 25m en algún voladizo, hasta casi 50m entre apoyos intermedios. [Img. 5]



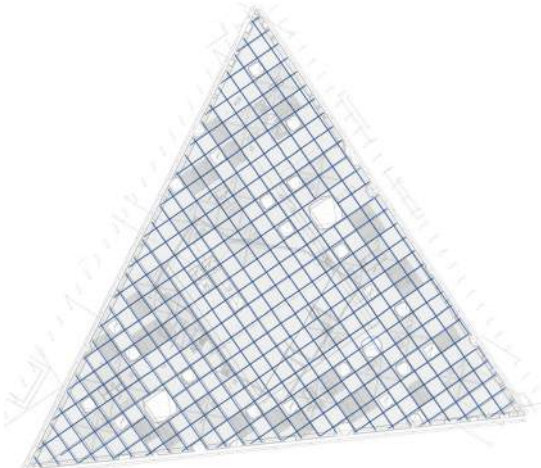
Img. 5: Planta estructura. Apoyos verticales.



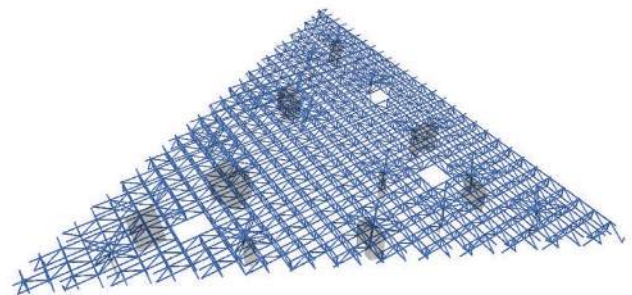
Img. 6: Perspectiva. Apoyos verticales.

B. EMPARRILLADO DE CELOSÍAS ORTOGONALES PRINCIPAL

Esta estructura metálica es una gran cercha tridimensional, formada por perfiles HEA300 (cordones y elementos verticales) y dos perfiles UPN300 formando las diagonales. La estructura forma una retícula de 6,00mx6,00m en planta, y 4m de altura, y ocupa el techo de la planta principal. Esta es la estructura principal del edificio, y de ella cuelgan los elementos horizontales de la estructura. [Img. 7-8] Esta cercha metálica permite alcanzar las grandes luces entre los apoyos, y generar así los espacios libres en planta baja. Se establecen unas relaciones de canto/luz de $h/L=0,16$ para los voladizos, o de $h/L = 0,08$ en el punto de luz máxima en el auditorio.



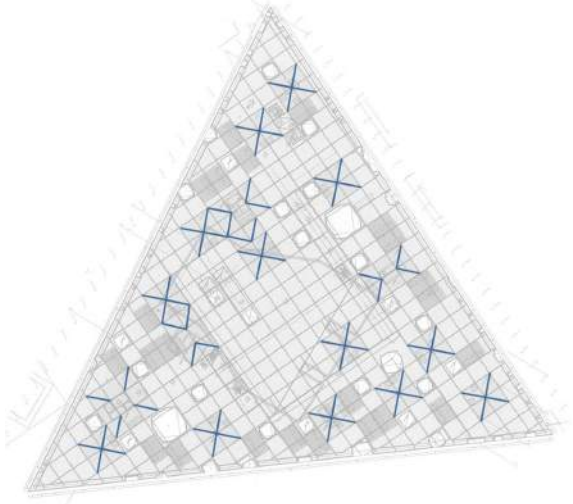
Img. 7: Planta estructura. Emparrillado de cerchas ortogonales principal.



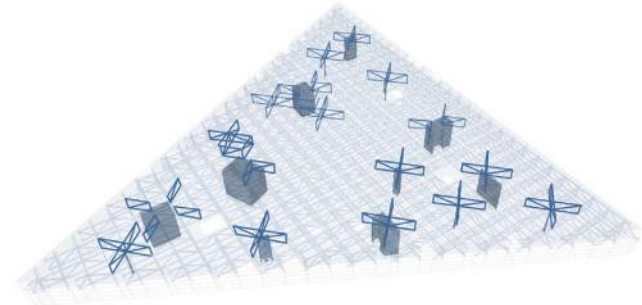
Img. 8: Perspectiva. Emparrillado de cerchas ortogonales principal.

C. CRUCES DE RIGIDIZACIÓN

Formando parte del gran emparrillado principal, aparecen una serie de cruces de rigidización en planta y alzado. Se sitúan en los puntos de unión entre los apoyos verticales y el emparrillado. En estos puntos se producen unas grandes concentraciones de esfuerzos, por lo que estas cruces de rigidización permiten que estos esfuerzos se repartan entre más barras, trabajando a menores solicitaciones. Las cruces las conforman perfiles HEA300 en los cordones superior e inferior, y en los soportes; estando formados por doble perfil UPN300 las diagonales. [Img. 8-9]



Img. 8: Planta estructural. Cruces de rigidización.

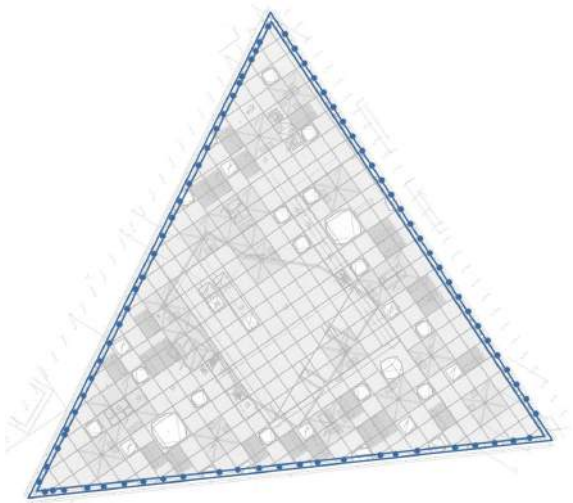


Img. 9: Perspectiva. Cruces de rigidización.

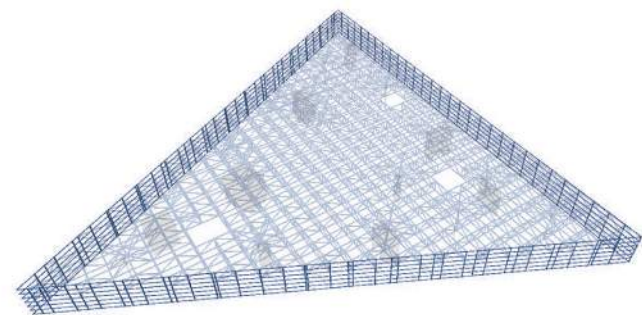
D. VIGAS-FACHADA

Las 3 fachadas son en realidad grandes vigas que cuelgan de la estructura principal. Son vigas de 12m de alto, formadas por elementos horizontales (D1) y verticales (D2 - referido a *Imgs. 1-4 pp. 24-25*), perfiles metálicos. Los elementos horizontales recorren la fachada en toda su longitud, interrumpiéndose donde los patios perforan la fachada. Están formados por perfiles HEA 200, colocados cada 2m en vertical. Los elementos verticales de fachada, son perfiles compuestos (por 4 IPE T330 y cordones 2L50). Aparecen en aquellos puntos donde el emparrillado se encuentra con la fachada. Estas vigas sirven además para recoger el perímetro del suelo de planta baja, que cuelga de la estructura principal.

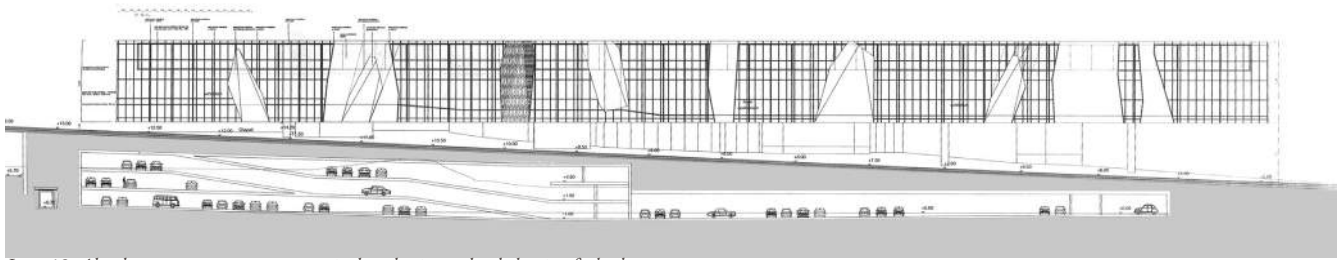
[*Img. 10-14*]



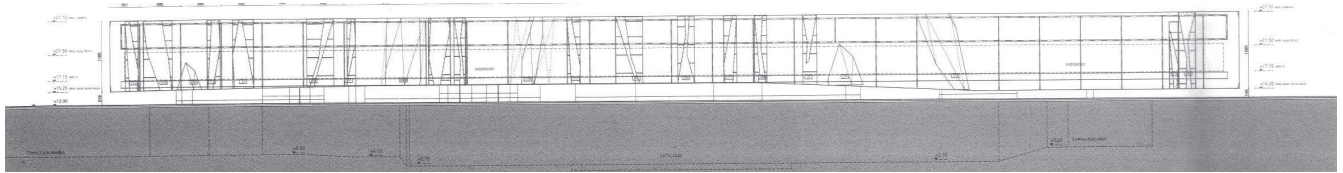
Img. 10: Planta estructural. Vigas-fachada.



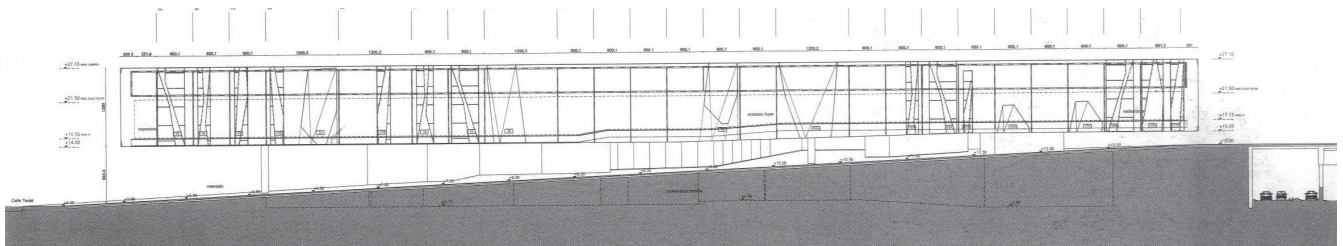
Img. 11: Perspectiva. Vigas-fachada.



Img. 12: Alzado norte con montantes verticales y horizontales de la viga fachada.



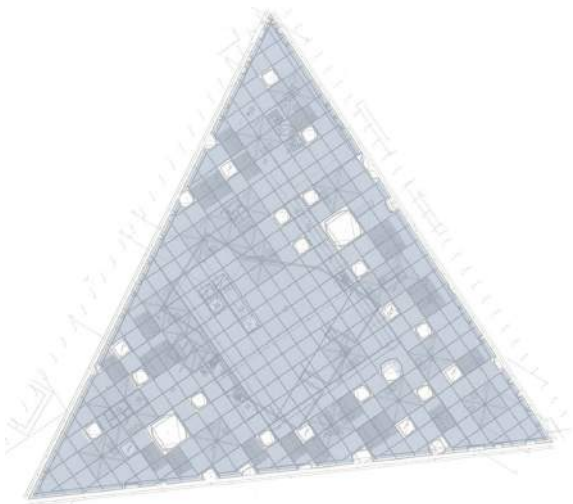
Img. 13: Alzado sureste con montantes verticales y horizontales de la viga fachada.



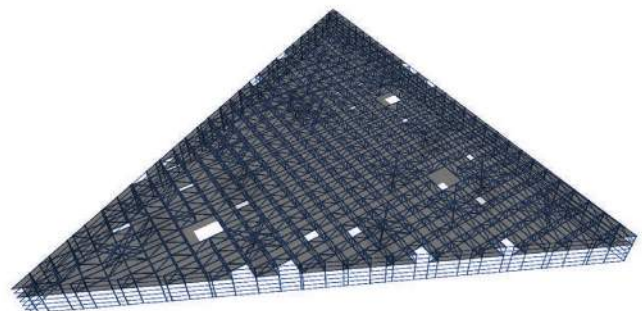
Img. 14: Alzado suroeste con montantes verticales y horizontales de la viga fachada.

E. FORJADOS

Otro elemento estructural de importancia son los forjados horizontales. Primero, el forjado de la planta principal (E1 - referido a *Imgs.1-4 pp.24-25*) [*Img. 15-16*], de 10cm de hormigón, sobre una subestructura metálica. El segundo forjado (E2 - referido a *Imgs.1-4 pp.24-25*), forjado mixto de 10cm de hormigón sobre chapa colaborante, que hace de techo de la planta principal, y cuelga de la parte inferior de la cercha principal. Por último, el tercer forjado (E3 - referido a *Imgs.1-4 pp.24-25*), que es el de cubierta, sobre el que descansa una capa de hormigón de pendientes y el agua de la cubierta inundable. Se ejecutan todos como forjados mixtos ligeros, con una fina capa de hormigón sobre chapa colaborante. Todos ellos no sólo actúan como base para el pavimento de cada planta, si no que ayudan al comportamiento conjunto de todo el esqueleto estructural, actuando también como rigidización frente a cargas horizontales. Además sirven para evitar el pandeo lateral de las piezas metálicas que conforman el emparrillado de cerchas ortogonales principal. [*Img. 15-16*]



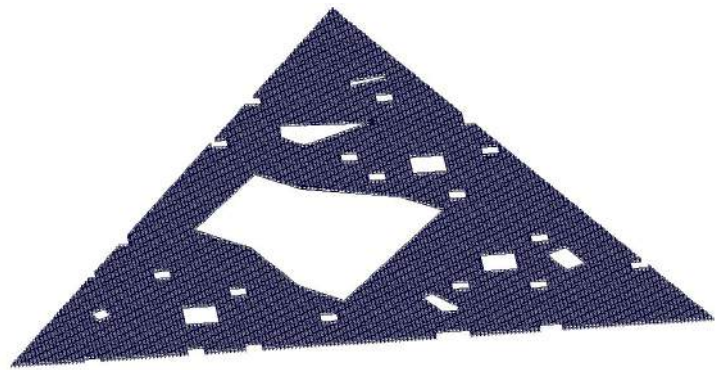
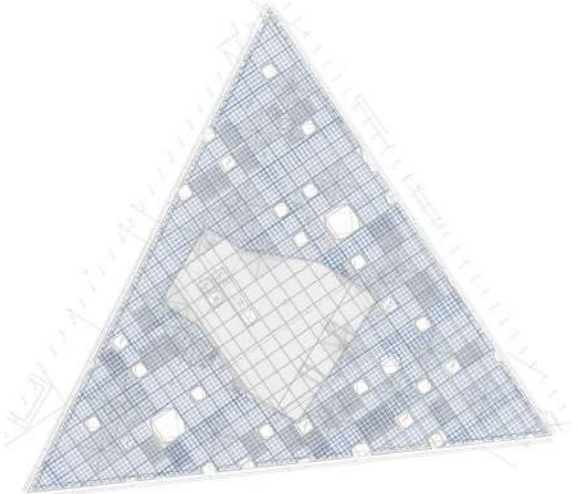
Img. 15: Planta estructura. Forjado cubierta.



Img. 16: Perspectiva. Forjados planta cubierta.

F. EMPARRILLADO DE CELOSÍAS ORTOGONALES SECUNDARIA

El primer forjado apoya sobre un segundo emparrillado de celosías que cuelga de las vigas-fachada, y que a su vez apoya sobre los elementos verticales. Este emparrillado, también metálico, es de menores dimensiones que el principal, formando una retícula de 1m x 1m en planta, y con una altura de 1m. Sirve además para el paso de instalaciones, y como malla base para la colocación del techo de planta baja. Está realizada a partir de perfiles rectangulares huecos de 120x60x5mm [Img. 17-18]

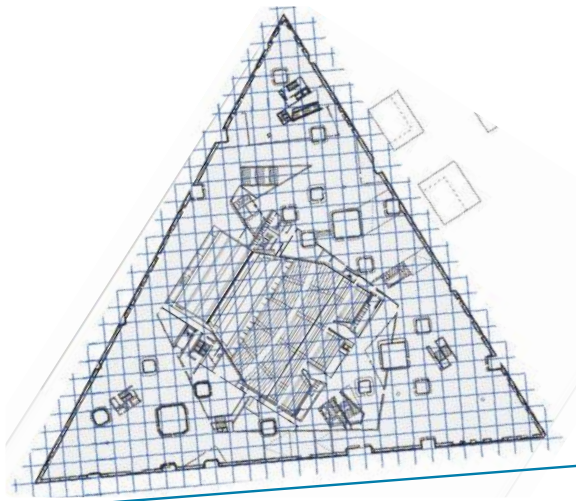


Img. 17: Planta estructural. Emparrillado de celosías ortogonales secundario. Img.18: Perspectiva. Emparrillado de celosías ortogonales secundario.

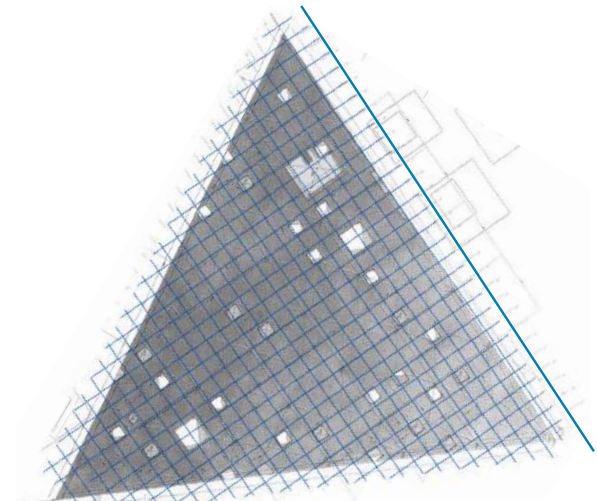
G. PATIOS

Los patios no forman estrictamente parte de la estructura del edificio, pero su presencia provoca que ésta deba adaptarse a la geometría de los mismos. Es decir, los tres forjados quedan interrumpidos al ser atravesados por patios. También los dos emparrillados, que deben retirarse para dejar hueco a los patios. Ocurre lo mismo con las vigas-fachada, cuyos elementos horizontales quedan interrumpidos en el paso de los patios.

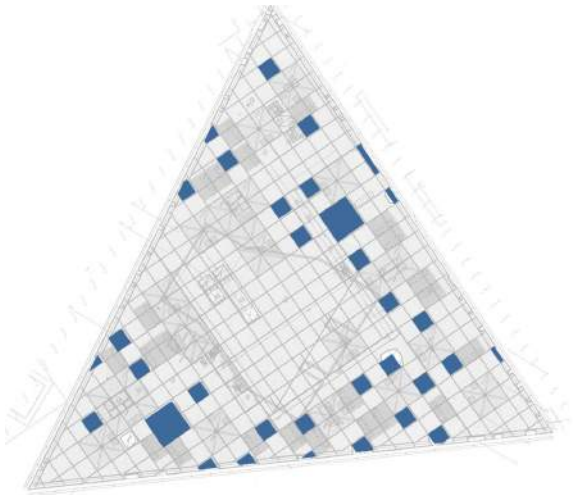
La geometría de los patios responde a una serie de prismas rectangulares de base cuadrada, pero que han sido distorsionados. La base sigue la trama de la estructura metálica secundaria, que sigue la inclinación de la fachada norte (la dirección de la Diagonal). [Img. 19] Sin embargo, la parte superior queda marcada por la trama de la estructura metálica principal, que sigue la inclinación de la fachada suroeste (la dirección de la Rambla de Prim). [Img. 20] El resultado es un prisma rectangular al que se le ha girado una de sus bases, formando una geometría compleja y facetada. [Img. 21-22]



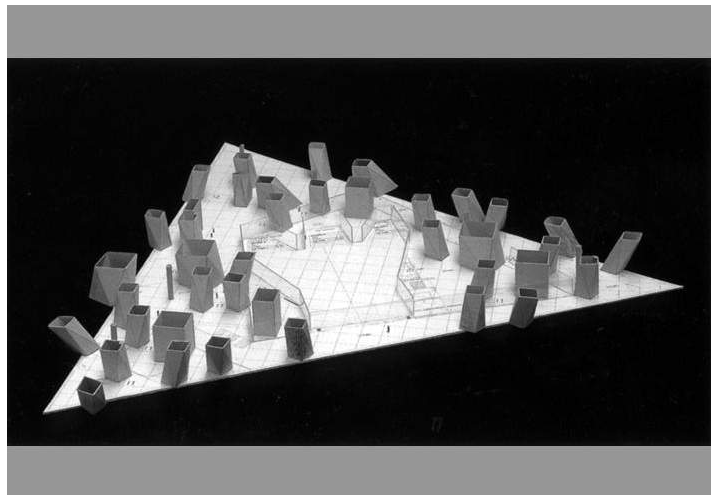
Img. 19: Planta baja. Trama de la Diagonal.



Img. 20. Planta cubiertas. Trama de la Rambla de Prim.



Img. 21: Planta cubiertas. Patios.

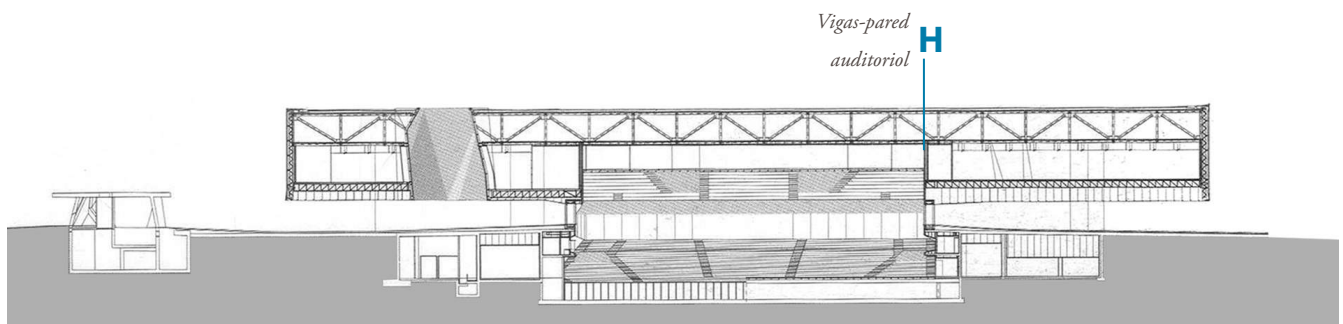


Img. 22: Maqueta con los patios de geometrías facetadas.

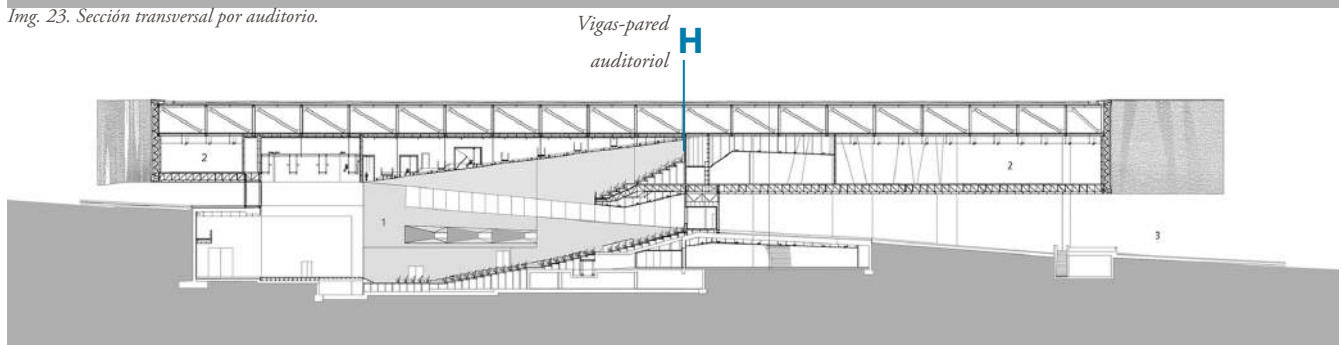
H. VIGAS PARED AUDITORIO

Se trata de un elemento que sirve de atado entre el forjado de suelo de planta baja y el forjado del techo de planta primera, siguiendo el perímetro del auditorio. [Img. 23-25] La función estructural de este elemento es mejorar la colaboración entre ambos forjados, asegurando un componente más monolítico. Ocupando toda la altura de la planta principal, conforma el cerramiento del auditorio en esta planta. Además, sirve de zuncho perimetral para el forjado de planta baja y el emparrillado secundario, ya que el hueco del auditorio provoca que este perímetro interior carezca de apoyo. Por lo tanto, estructuralmente son similares a las vigas-fachada que aparecen en los extremos del triángulo, transmitiendo el peso propio y las cargas que recibe el forjado de planta baja al emparrillado principal. Es decir, es un elemento que funciona principalmente a tracción, igual que las vigas no llega hasta el suelo como sí lo hacen los elementos verticales.

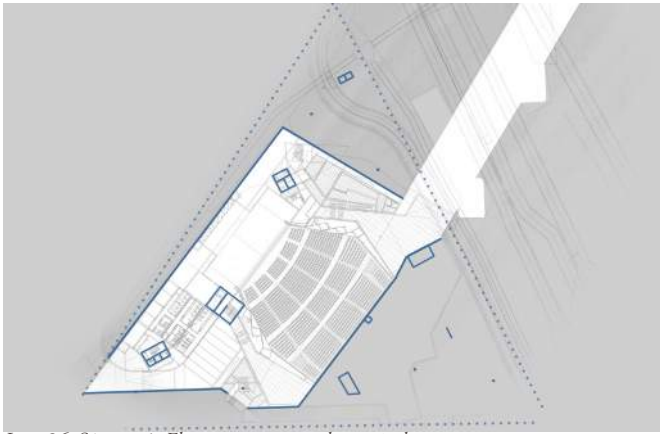
Se desconoce sin embargo la materialización de este elemento corrido que además deberá tener características adecuadas como cerramiento para el propio auditorio.



Img. 23. Sección transversal por auditorio.



Img. 24: Sección transversal por auditorio.



Img. 26: Sótano -1. Elementos estructurales verticales.



Img. 27: Sótano -2. Elementos estructurales verticales.

I. SÓTANOS

Hasta el sótano se prolonga en sección el auditorio, así como algunos de los patios que llegan desde cubierta. [Img. 28-29] También llegan hasta esta cota los elementos estructurales verticales; pilares y núcleos de comunicación, algunos llegando a las dos cotas de sótano, otros solo a la primera. [Img. 26-27] Sin embargo, se desconoce con precisión el esquema estructural de esta parte del edificio, aunque se pueden realizar ciertas suposiciones. Se mantienen los elementos verticales de la parte superior del edificio, a los que se suma probablemente el muro de sótano como elemento vertical portante. Por la propia forma y dimensiones de los sótanos, y la presencia de este nuevo muro de sótano, las luces de las plantas superiores se reducen. Los forjados se ejecutan mediante hormigón, aunque se desconoce el tipo específico de forjado utilizado. Juzgando sin embargo por las luces de en torno a los 10-15m, se puede asumir el uso de un forjado de tipo losa, losa aligerada, losa nervada o similar.

4.2 Construcción

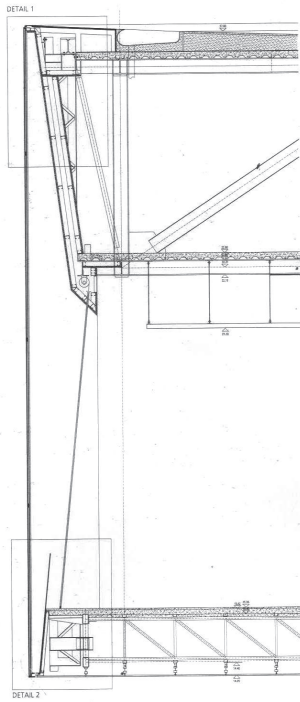
Como se ha ido comentando en este apartado, el edificio cuenta con una estructura compleja, formada por distintos elementos. Se usa tanto el hormigón armado (elementos verticales, núcleos de comunicación, forjados sobre chapa colaborante...) como las soluciones mediante elementos metálicos (los emparrillados principal y secundario, cruces de rigidización, los elementos que conforman las vigas-fachada...) Este tipo de **soluciones mixtas** se sigue usando, de una manera similar, para todo el resto de elementos del proyecto, aunque no sean estructurales. Ejemplo de ello serán las fachadas, que combinan un acabado de aspecto sólido y macizo, pero que están formadas por un gunitado sobre un entramado estructural metálico. Soluciones similares ocurren en los patios, como ya se ha



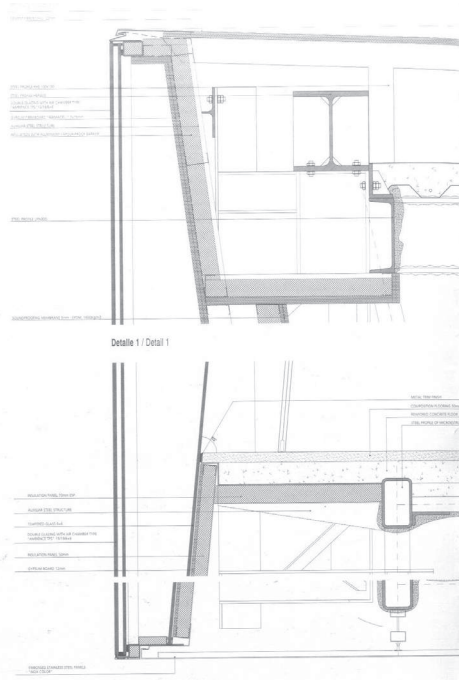
Img. 28: Detale patio llegando hasta el sótano



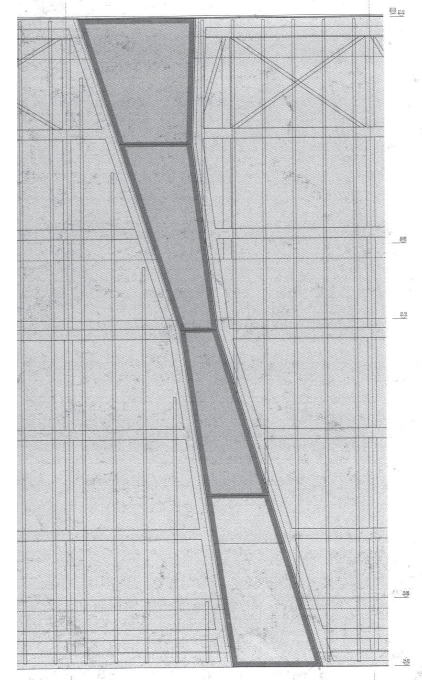
Img. 29: Sótano -1. Espacio interior.



Img. 30. Detalle fachada. Encuentro acristalamiento.



Img. 31. Detalles fachada. Encuentro acristalamiento.



Img. 32: Detalle alzado fachada. Encuentro acristalamiento-fachada.

comentado anteriormente, con los elementos estructurales deteniéndose a su paso, y resolviendo los encuentros de geometrías complejas a partir de bastidores metálicos que sirven de apoyo a las piezas de acabado. [Img. 30-32]

Como se puede observar en las imágenes del **proceso** constructivo, la presencia de los elementos metálicos fue bastante importante. Una vez se produjo la excavación y ejecución de la cimentación y sótanos, se procedió al hormigonado de los elementos verticales estructurales. Tras esto, se realiza el montaje y puesta en obra de la emparrillado de celosías ortogonales principal, que cuenta con la ventaja de que se fabrica en taller casi en su totalidad. [Img. 33-34] Simultáneamente se monta también la estructura secundaria. Después, se ejecutan las estructuras metálicas de las vigas-fachada. [Img. 35] Con el hormigonado de los forjados terminaría la ejecución de la estructura del edificio. A partir de ese momento, se procede al resto de elementos de la construcción: instalaciones, pavimentos, falsos techos, carpinterías...

Esta **dualidad** del proyecto; la pesadez y robustez del hormigón y los acabados gunitados frente a la ligereza y precisión milimétrica de la estructura metálica, es quizá uno de los aspectos a destacar del edificio. Es algo que ocurre en otras obras de los arquitectos suizos, donde se juega con la dualidad material para potenciar las sensaciones experimentadas por el usuario.



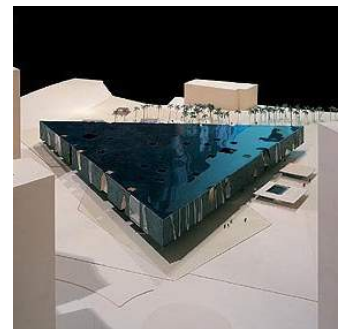
Img. 33: Proceso de construcción. Montaje emparrillado de celosías. I



Img. 34: Proceso de construcción. Montaje emparrillado de celosías. II



Img. 35: Proceso de construcción. Andamiaje para la construcción de fachadas.



5_Modelo estructural

5.1 Modelo estructural

Para poder comprender de una forma más completa, detallada y exhaustiva el comportamiento estructural del Edificio Fórum, se ha realizado un modelo estructural del edificio a través de una herramienta informática. Para ello, se ha procedido mediante un proceso de modelizado, la conversión y simplificación de elementos reales en otros más sencillos, de los que poder obtener conclusiones. A este modelo, se le asignan unas cargas, también modelizadas de alguna forma. A partir de esto, se pueden evaluar conclusiones y comportamientos del modelo, que, teniendo en cuenta las limitaciones del modelo, se podrán desarrollar como conclusiones también válidas para la propia estructura.

Este proceso de modelado y asignación de cargas se realiza a través de una herramienta informática, el programa de cálculo Architrave.

5.1.1 SIMPLIFICACIÓN Y REDUCCIÓN

El modelo estructura se realiza únicamente de aquellos elementos estructurales de importancia primaria a la estructura, eliminando algunos elementos estructurales secundarios. En este caso, se ha prescindido de toda la parte del edificio que queda en el subsuelo, eliminando los dos niveles de sótano, con sus respectivos forjados.

Por lo tanto, se realiza el modelo de los siguientes elementos:

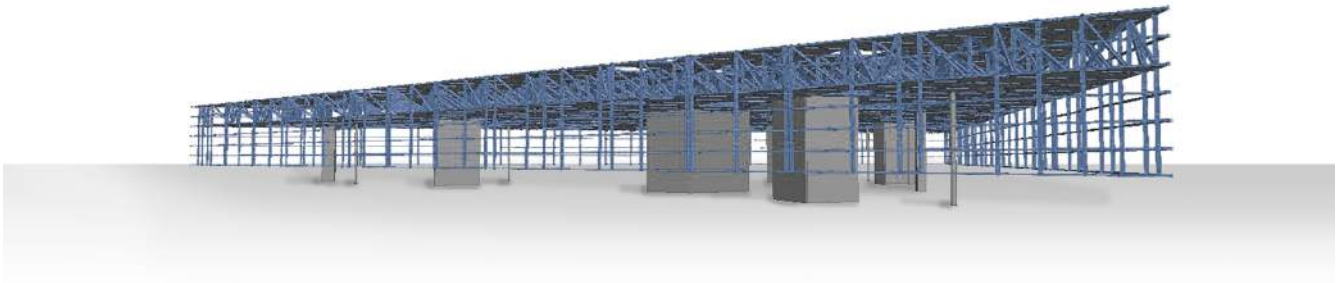
- A - elementos verticales
- B - emparrillado de cerchas ortogonales principal
- C - cruces de rigidización
- D - vigas fachada
- E - forjados
- F - emparrillado de cerchas ortogonales secundario
- G - patios
- H - vigas-pared auditorio

Así como la unión e interacción de los elementos que conforman estos modelos entre sí. Aunque se discretice de alguna forma la estructura en estos distintos apartados, es simplemente para conocer en detalle el funcionamiento de cada uno. Pero la verdad es que trabajan todos de forma conjunta en la gran estructura que conforma el edificio. Por lo tanto, será difícil entender completamente un elemento si no se entiende su relación con el resto.

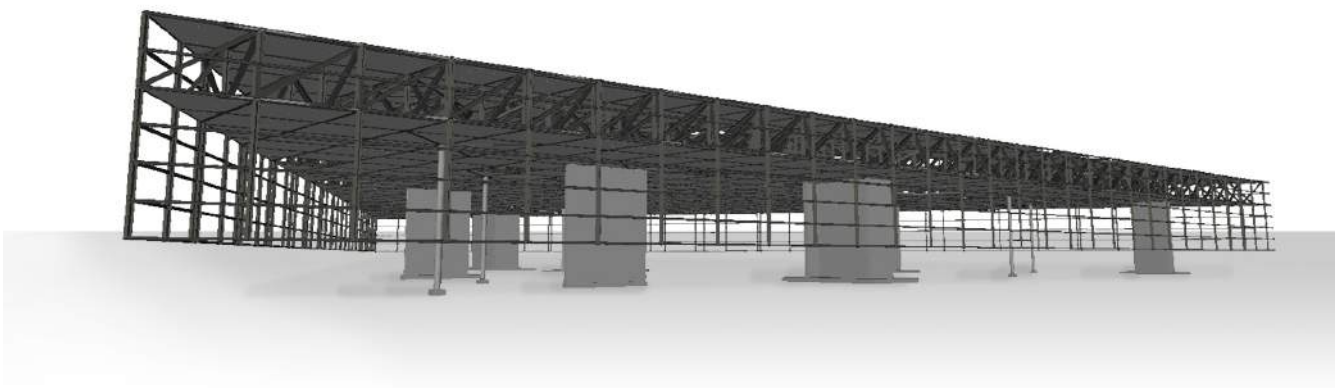
El modelo completo se puede observar en las siguientes imágenes. [Img. 1-3] Más adelante, encontramos el despiece del modelo, desglosando de forma individual los elementos estructurales. [Img. 4]

	Nudos	Barras	Elementos finitos	Tiempo de cálculo
Modelo global	44.740	90.557	29.543	2'03"
A-Elementos verticales	-	15	3.266	-
B-Emparrillado principal	-	5.521	-	-
C-Cruces de rigidización	-	426	-	-
D-Vigas-fachada	-	1.511	-	-
E-Forjados	-	-	26.277	-
F-Emparrillado secundario	-	82.862	-	-
G-Patios	-	69	-	-
H-Vigas-pared auditorio	-	153	-	-

Tab. 5a. Información del modelo estructural.



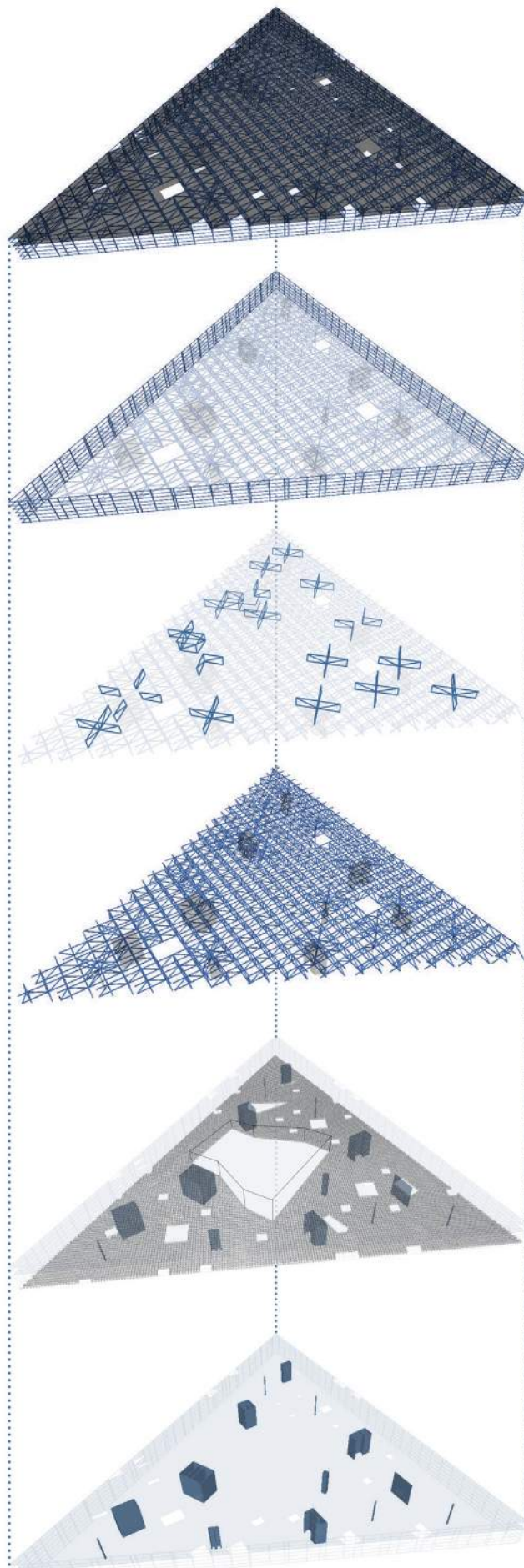
Img. 1: Perspectiva modelo. Alzado noreste.



Img. 2: Perspectiva modelo. Alzado sureste.



Img. 3: Perspectiva modelo. Esquina norte.



- E3** *Forjado cubierta*
- E2** *Forjado techo planta principal*

- D** *Vigas-fachada*

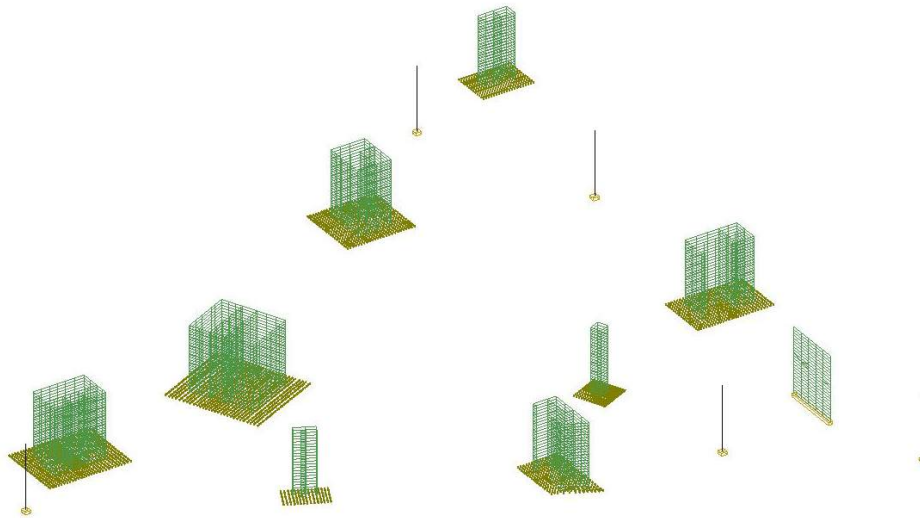
- C** *Cruces de rigidización*

- B** *Emparrillado de celosías ortogonales principal*

- H** *Vigas-pared auditorio*
- F** *Emparrillado de celosías ortogonales secundaria*
- E1** *Forjado suelo planta principal*

- A** *Elementos verticales*

Img. 4: Perspectiva modelo. Despiece vertical de los componentes estructurales.



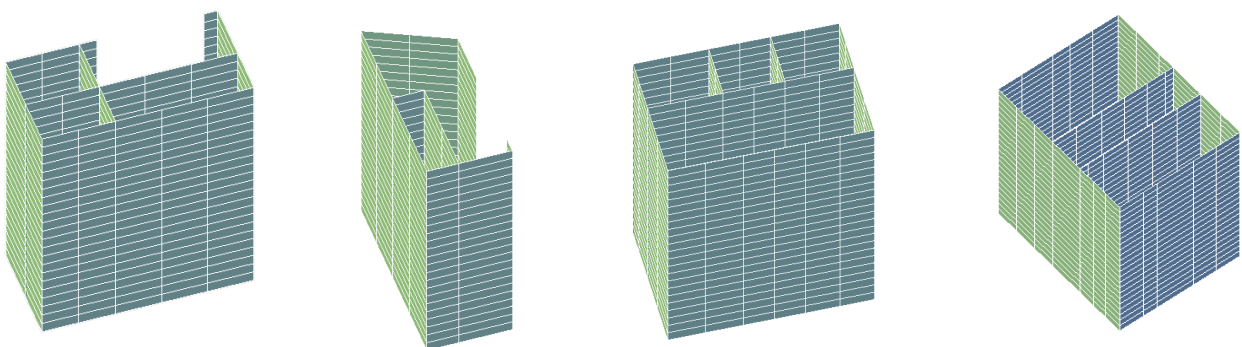
Img. 5: Elementos estructurales verticales.

A. ELEMENTOS VERTICALES

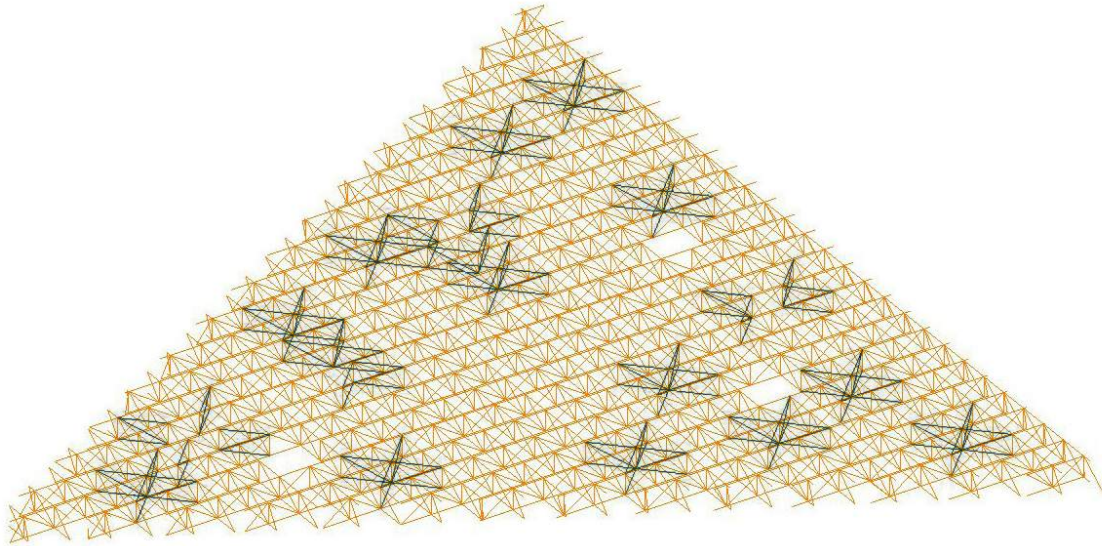
Para la modelización de los elementos verticales distinguimos por una parte los pilares de hormigón armado y los núcleos rígidos de hormigón. [Img. 5] Los pilares de hormigón se han modelado como barras, asignándoles una sección de hormigón armado HA-25 de 60 cm de diámetro. La modelización de estos elementos como barras es posible por su propia geometría, de longitud mucho mayor a la sección transversal. Todos los pilares se modelizan de 11,40m de altura. El programa además reconoce la sección de hormigón, proporcionando un posible armado para estas piezas tras la asignación de cargas.

Para los elementos rígidos, los núcleos de hormigón armado, esta simplificación ya no es posible. Se trata de elementos superficiales, no lineales. Por ello, se recurre a un tipo distinto de modelado, a partir de un elemento superficial del tipo malla simple. Se modelizan elementos rectangulares de unas dimensiones de 0,50m de alto, y una longitud variable de entre 1,50-2,50m, adaptándose a las dimensiones reales de los propios núcleos. [Img. 6] Estos elementos rectangulares se les asigna un material hormigón armado HA-25 y un espesor de 30cm. En total, 3.266 elementos finitos conforman estos núcleos rígidos.

Se modelizan también unas losas de apoyo, mediante elementos finitos de espesor 30cm en la base de los núcleos rígidos. Para modelizar la respuesta del terreno, se han aplicado una serie de muelles en cada uno de los elementos finitos de las losas. También se crean unas zapatas cuadradas de 50cm de canto para la base de los pilares.



Img. 6: Detalle modelado elementos estructurales verticales.



Img. 7: Emparrillado de celosías ortogonales principal y cruces de rigidización

B. EMPARRILLADO DE CELOSÍAS ORTOGONALES PRINCIPAL

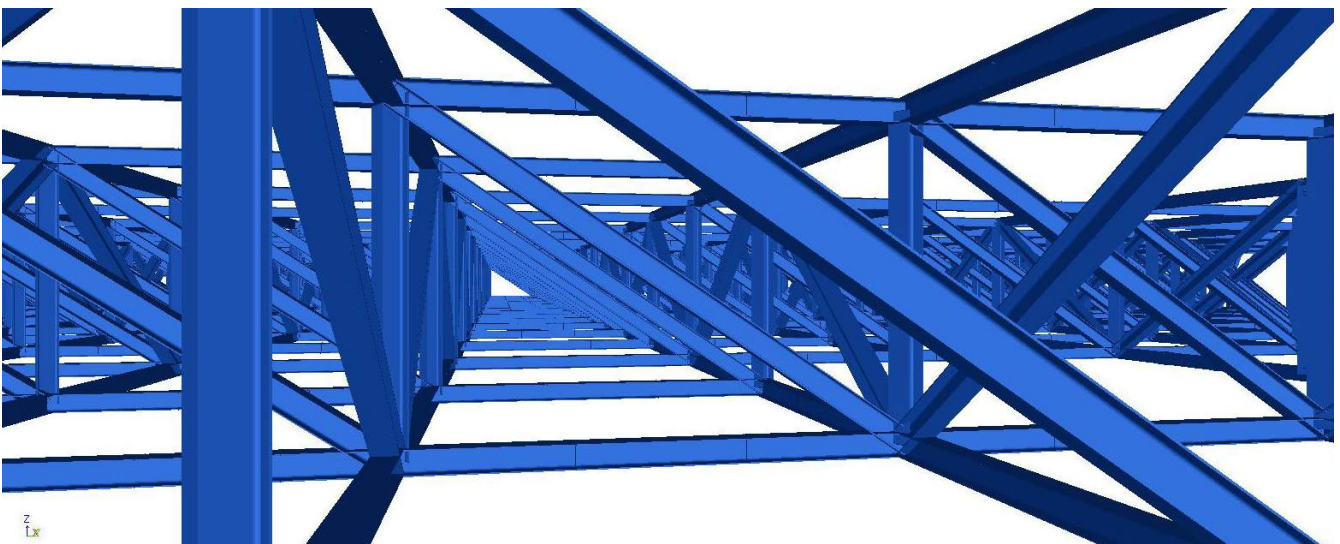
La estructura metálica se modeliza a partir de barras, a las que se les asigna una sección de acero determinada. En este caso, para los cordones horizontales y los soportes verticales se usa una sección HEA300 (igual que la que se plantea en proyecto) y 2UPN300 para las diagonales. [Img. 7-8] Todas las barras de los cordones tienen una longitud de 6m, las barras verticales una longitud de 4m, y las diagonales de 7,22m.

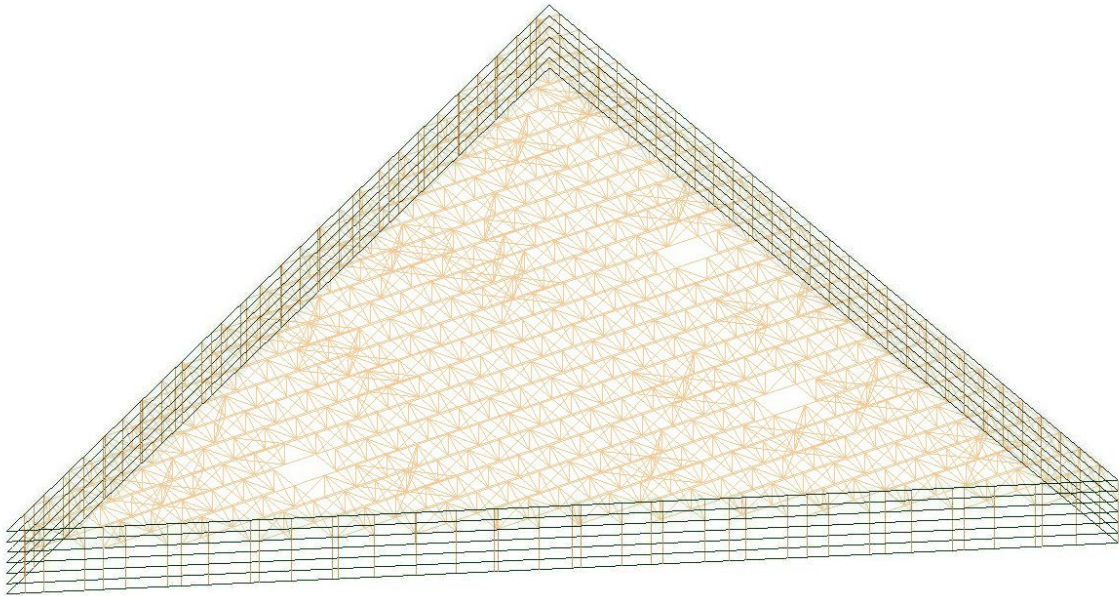
Las únicas piezas distintas serán aquellas de los extremos de la celosía, que al ir adaptándose a la geometría del perímetro del triángulo cambian de forma y longitud. Está formado por 5095 barras.

C. CRUCES DE RIGIDIZACIÓN

Se modelizan de la misma forma que el resto de barras de la estructura (en realidad todas forman un mismo conjunto), la única diferencia radica en la longitud, que será de 8,48m las barras horizontales, y 9,38m las inclinadas.

Las cruces de rigidización están formadas por 426 barras.





Img. 9: Perspectiva modelo. Vigas-fachada.

D. VIGAS-FACHADA

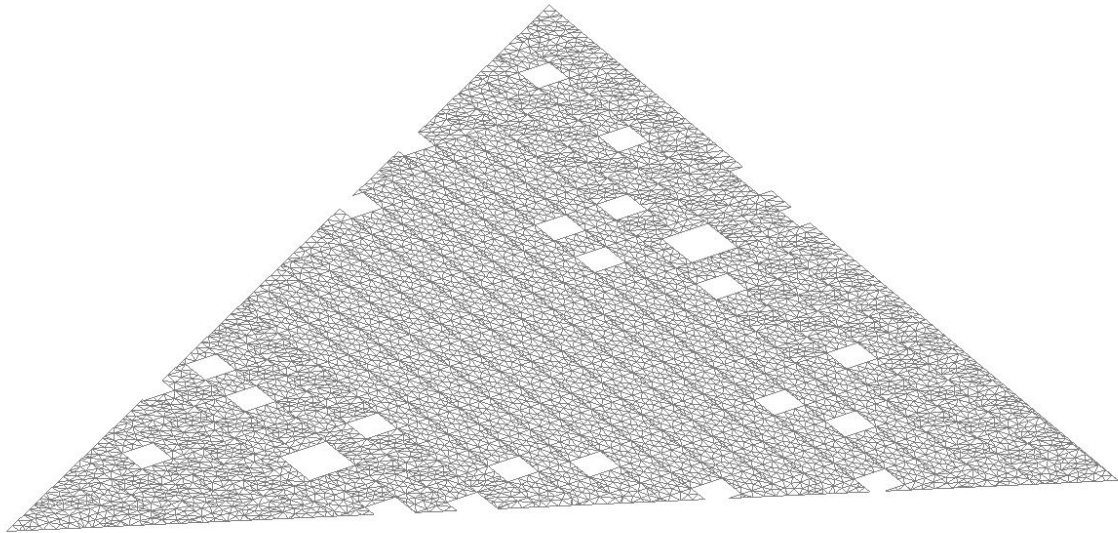
Los elementos horizontales (D1) se han realizado con HEA200, tal y como están ejecutados en proyecto, aunque se han simplificado las fachadas como continuas, en lugar de con los huecos de geometrías complejas que realmente tienen, por lo que los elementos horizontales son continuos. En cada fachada, existen 7 elementos horizontales, separados una distancia de 2m en vertical. En total, la viga ocupa 12m de alto. [Img. 9-10]

Los elementos verticales (D2) se han simplificado como HEB300, en lugar del perfil compuesto, excesivamente complejo que realmente tienen. Aparecen en aquellos puntos donde el emparrillado de celosías ortogonales se encuentra con la fachada, por lo que no están colocados de forma regular en el alzado. Tienen una longitud de 12m de alto. [Img. 9-10]

Tanto los elementos horizontales como los verticales se deben modelizar como barras individuales, interrumpiéndose en su encuentro con otra barra, por motivos de cálculo del programa. Sin embargo, en la realidad constructiva son elementos continuos.



Img. 10: Perspectiva modelo. Detalle vigas-fachada.



Img. 11: Perspectiva modelo. Forjado planta cubiertas.

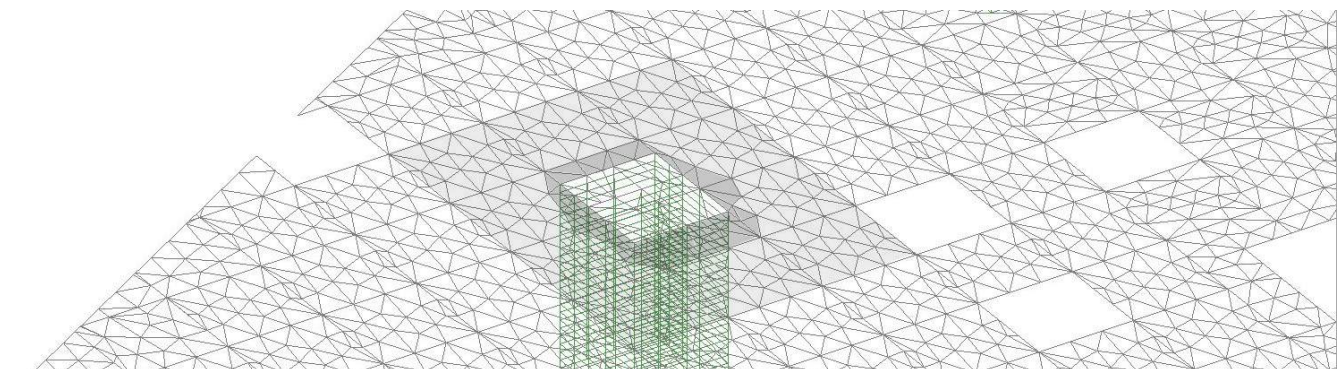
E. FORJADOS

De forma similar como ocurre con los elementos verticales, los forjados son elementos de gran superficie, por lo que no sería correcto su modelizado como barras. Por lo tanto se recurre de nuevo a un modelo superficial a partir de elementos finitos. En este caso, dada la geometría no ortogonal del forjado, se recurre a elementos triangulares en vez de rectangulares, de dimensiones variables, pero en torno a los 2m de lado. [Img. 11] Se modeliza el forjado original de hormigón y chapa colaborante por estas piezas de HA-25 a las que se les asigna espesor de 10cm. Se modelizan así los tres forjados E1, suelo de planta baja; E2, techo de planta baja y E3, forjado de cubiertas. [referido a *Imgs.1-4 pp.24-25*]

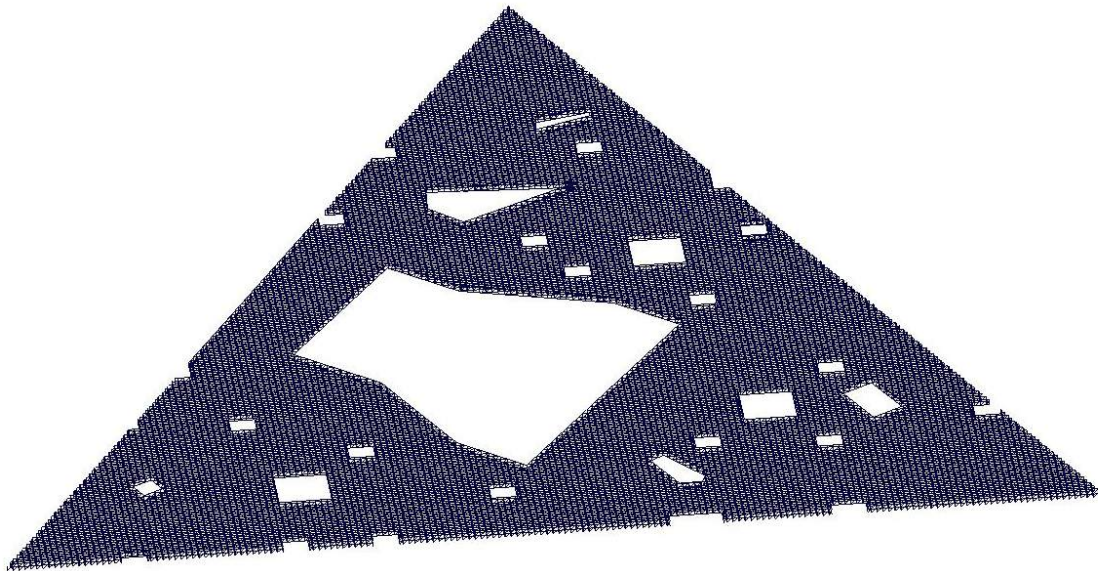
En total, cada forjado cuenta con 3.213, 11.539 y 11.525 elementos finitos, respectivamente, haciendo un total de 26.277 solamente en los forjados.

Uno de los aspectos a tener en cuenta es que para que el modelo funcione correctamente se debe asegurar que las esquinas de los elementos finitos coincidan con el resto de geometrías del proyecto. En este caso, se debía asegurar que este forjado estuviera conectado con la emparrillado de cerchas ortogonales principal, por lo que las piezas se adaptan en planta a la retícula que forma la emparrillado de celosías. De esta forma se asegura la correcta transmisión de cargas entre los mismos.

De forma similar se produce el contacto entre los elementos verticales y el forjado, donde se deben ajustar todos los vértices de los elementos horizontales para que coincidan con los verticales. [Img. 12] Lo mismo ocurre en el perímetro del triángulo, donde se encuentran las barras verticales de las vigas-fachada con el forjado.



Img. 12: Perspectiva modelo. Detalle encuentro elementos verticales - forjado E2.

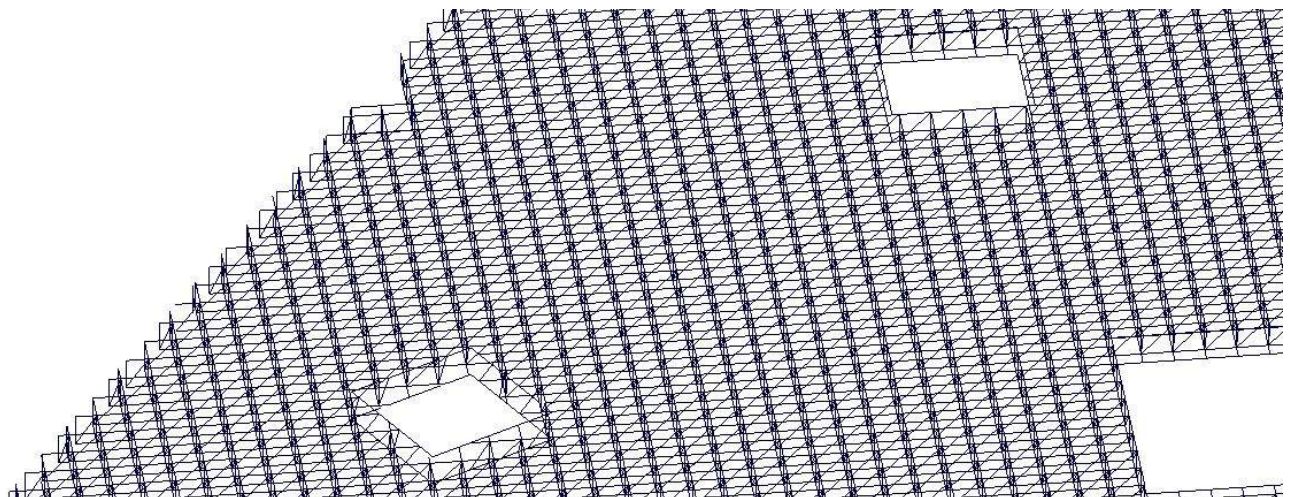


Img. 13: Perspectiva modelo. Emparrillado de celosías ortogonales secundario.

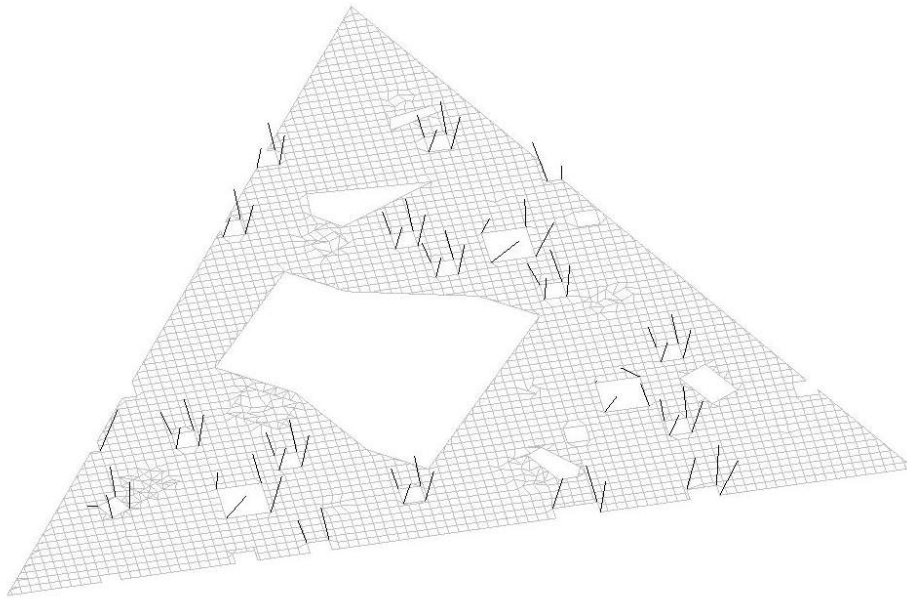
F. EMPARRILLADO DE CELOSÍAS ORTOGONALES SECUNDARIA

Situada por debajo del forjado de suelo de planta baja, esta estructura es la encargada de recibir el peso de la planta principal. Su modelizado se ha realizado de una forma similar a la estructura metálica principal, aunque con unas dimensiones mucho menores. [Img. 13] Se modeliza mediante barras, a las que se les asigna un perfil hueco rectangular PHR de dimensiones 120x60x5mm, iguales a los perfiles usados en la realidad. Conforman una retícula de 1mx1mx1m, en las tres dimensiones del espacio, con perfiles horizontales (cordones superior e inferior), verticales y en las diagonales entre elementos. Las barras tienen por tanto longitudes de 1m, excepto las diagonales que son de 1,41m. En total, el emparrillado secundario está formado por 82.862 barras.

Un aspecto a destacar sería el hecho de que debido a la geometría compleja del contorno tanto interior como exterior, la retícula debe recortarse en los encuentros con los perímetros. Así, en el caso de los patios, en las fachadas, y en el hueco del auditorio, la estructura se interrumpe, debiendo modelizar de forma específica cada uno de estos encuentros. [Img. 14] Además, hay que añadir el cambio de dirección que se produce entre ambos emparrillados, que se ha comentado anteriormente.



Img. 14: Perspectiva modelo. Detalle encuentro emparrillado de celosías ortogonales secundario.

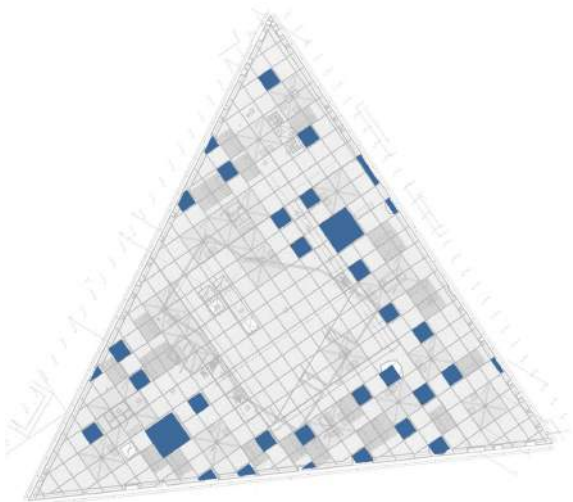


Img. 15: Perspectiva modelo. Patios.

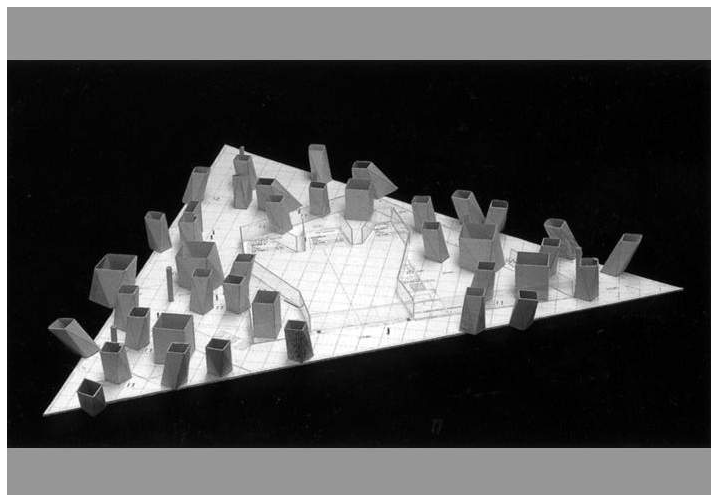
G. PATIOS

A pesar de no ser un elemento estructural, los patios son determinantes para otros elementos estructurales. Principalmente para los forjados y para las estructuras de emparrillados, ya que los huecos que los patios producen provocan discontinuidades en los forjados y estructuras, lo que disminuyen de rigidez al conjunto. Los huecos implican, en el forjado inferior, puntos donde los emparrillados de cerchas quedan en voladizo, sin ningún elemento de apoyo.

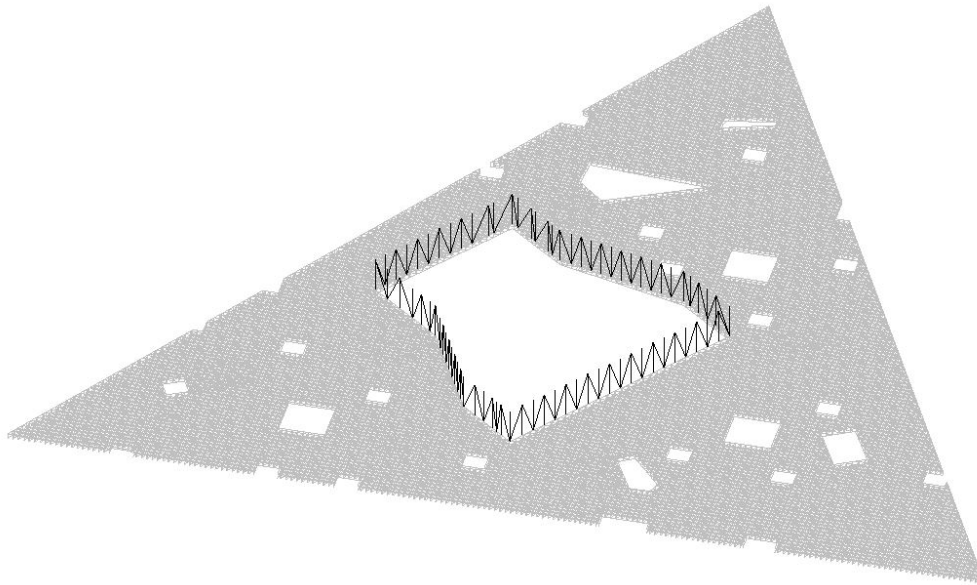
Para evitar que se produzcan deformaciones excesivas en los contornos de los patios, se modeliza una serie de barras en las esquinas de los patios, que conectan los huecos de los patios en los forjados superior e inferior. De esta forma serán barras, que trabajen a tracción. Se modelizan mediante HEB100, simulando los elementos de carpintería y subestructuras que existen en la realidad en los patios. De esta forma se asegura una mayor conexión entre ambos forjados, con mayor solidaridad a la hora de deformar. Son un elemento añadido en una fase posterior del modelo, ya que se vio que su presencia era importante para evitar las grandes deformaciones que se producen en los contornos de los patios.



Img. 16: Planta cubiertas. Patios.



Img. 17: Maqueta con los patios de geometrías facetadas.



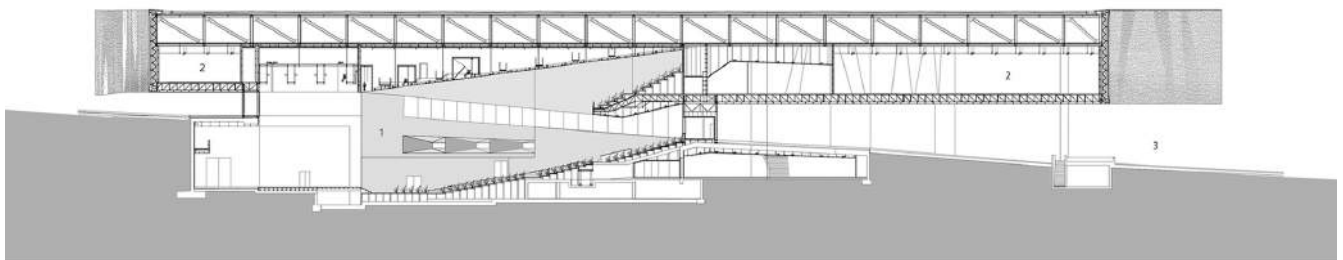
Img. 18: Perspectiva modelo. Vigas-pared del auditorio.

H. VIGAS-PARED AUDITORIO

La función de estos elementos es de atar verticalmente los forjados E1 y E2, sirviendo de atado para el perímetro interior que deja el hueco del auditorio en su paso a través del forjado. Sin embargo, se desconoce la realidad constructiva y estructural de este elementos de forma segura

Por lo tanto, se ha hecho un modelo simplificado, asumiendo que estas vigas-pared están formadas por una celosía que recorre el perímetro del hueco del auditorio. Los elementos de la celosía se han modelizado con barras HEB300, y se colocan barras verticales y diagonales. Las verticales, de altura de 6,93m, están colocadas coincidiendo con los vértices del emparrillado secundario en su encuentro con el hueco del auditorio. Las diagonales tienen una longitud de 7,37m. [Img. 15]

Se podría haber modelizado esta viga como un elemento superficial de hormigón armado a partir de elementos finitos. Sin embargo, su poco espesor en planta, y el hecho de que en el edificio predominan las soluciones ligeras a partir de elementos metálicos [Img. 16], se ha hecho esa suposición. De cualquier forma, la idea es que este elemento lleve a cabo la misma función que lo hacen las vigas-pared del edificio real. Por lo tanto, nos interesa modelizar un elemento que sirva de conexión entre las dos plantas, y que actúe de zuncho perimetral para el forjado de planta principal, aunque no sepamos con certeza cómo es realmente ese elemento.



Img. 19: Sección longitudinal por auditorio.

5.2 Modelo de cargas

5.2.1 EVALUACIÓN DE CARGAS

Una vez se ha realizado el modelo, se procede a la asignación de un modelo de cargas que represente de forma aproximada las cargas a las que pueda estar sometida la estructura real. Por lo tanto, se realiza una evaluación de cargas de acuerdo con lo establecido en el Código Técnico de la Edificación (CTE), específicamente en su apartado DB-SE-AE: Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación.

Para la evaluación de cargas deberemos distinguir aquellas permanentes de las variables. Cabe mencionar que los pesos propios de los elementos estructurales ya los tiene en cuenta el propio programa a la hora de realizar el cálculo, por lo que no será necesario evaluar estas acciones.

5.2.1.a) CARGAS VERTICALES:

Se establecen las siguientes cargas permanentes verticales sobre los forjados E2 (techo de planta principal) y E3 (forjado de cubierta). - [referido a *Imgs.1-4 pp.24-25*]

Cargas permanentes:

E1:	Peso propio forjado *1
E2:	Peso propio forjado *1
E3:	Peso propio forjado *1
	10cm horm. de pendientes - $0,1\text{m} \times 10\text{kN/m}^3$ [Tab. 5a] = 1kN/m^2
	5cm de agua - $0,05\text{m} \times 10\text{kN/m}^3 = 0,5\text{kN/m}^2$
	TOTAL E3 = <u>1,5kN/m²</u>

Para la evaluación de cargas variables, se recurre a los valores obtenidos del DB-SE-AE, en su apartado 3 Acciones variables.

Cargas variables:

1. Sobrecargas de uso [Tab. 5b]

De acuerdo con el apartado 3.1 Sobrecargas de uso: para E1, al tratarse de una zona C3: sala de exposiciones en museos, se obtiene 5kN/m^2 . Para la cubierta, E3 al tratarse de una cubierta plana ($<20^\circ$) accesible únicamente para el mantenimiento, las sobrecargas de uso son de 1kN/m^2 .

E1:	Sobrecarga uso = <u>5 kN/m²</u>
E2:	Sobrecarga uso mantenimiento = <u>1kN/m²</u>
E3:	Sobrecarga uso mantenimiento = <u>1kN/m²</u>

2. Carga de nieve

De acuerdo con el apartado 3.5 Nieve, el valor se obtiene a partir de la expresión $q = u \cdot sk$, donde u coeficiente de forma de la cubierta según 3.5.3; y sk el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según 3.5.2 [Tab. 5c]. Al tratarse de una cubierta plana (inferior a 30°) $u=1$. [Tab. 5d] Para la provincia de Barcelona se establece el valor de $0,4\text{kN/m}^2$. [Tab. 5e] Por lo que se obtienen.

E1:	No recibe carga de nieve
E2:	No recibe carga de nieve
E3:	$q = u \cdot sk = 1 \cdot 0,4\text{kN/m}^2 =$ <u>0,4kN/m²</u>

Todas estas cargas se establecen como cargas superficiales verticales aplicadas directamente sobre cada uno de los forjados a los que afectan.

2. Carga de viento

De acuerdo con el apartado 3.3 Viento, la acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad [\text{Tab. 5f}]$$

q_b la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 kN/m². Tomamos $q_b = 0,5 \text{ kN/m}^2$

c_e el coeficiente de exposición, variable con 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. En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse un valor constante, independiente de la altura, de 2,0. Tomamos $c_e = 2$

c_p el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento. En edificios con cubierta plana la acción del viento sobre la misma, generalmente de succión, opera habitualmente del lado de la seguridad, y se puede despreciar. [Tab. 5g] Para el resto de casos, se usa una tabla en función de la esbeltez del plano sobre el que actúa el viento, en este caso con una esbeltez reducida se obtiene un $c_p = 0,7$ [Tab. 5h]

E1: No recibe carga de viento

E2: No recibe carga de viento

E3: $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2 \cdot 0,7 = \underline{\underline{0,7 \text{ kN/m}^2}}$

5.2.1.b) CARGAS HORIZONTALES:

Sin embargo, no despreciamos la carga de viento en el sentido horizontal, que asumimos actúa perpendicularmente a una de las fachadas, con un valor de

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2 \cdot 0,7 = \underline{\underline{0,7 \text{ kN/m}^2}}$$

5.2.2 RESUMEN CARGAS:

CARGAS VERTICALES:

E1: PERMANENTES: *1

VARIABLES: Sobrecarga de uso = 5 kN/m²

E2: PERMANENTES: *1

VARIABLES: Sobrecarga uso mantenimiento = 1 kN/m²

E3: PERMANENTES: 1,5 kN/m² *1

VARIABLES: Sobrecarga uso mantenimiento = 1 kN/m²

Nieve = 0,4 kN/m²

Viento = 0,7 kN/m²

CARGAS HORIZONTALES:

$$q_e = \underline{\underline{0,7 \text{ kN/m}^2}}$$

*1 -El programa de cálculo evalúa directamente esta carga a partir de las densidades de los materiales y dimensiones de los elementos

Tabla C.1 Peso específico aparente de materiales de construcción

Materiales y elementos	Peso específico aparente kN/m ³	Materiales y elementos	Peso específico aparente kN/m ³
Materiales de albañilería		Madera	
Arenisca	21,0 a 27,0	Aserrada, tipos C14 a C40	3,5 a 5,0
Basalto	27,0 a 31,0	Laminada encolada	3,7 a 4,4
Calizas compactas, mármoles	28,0	Tablero contrachapado	5,0
Diorita, gneis	30,0	Tablero cartón gris	8,0
Granito	27,0 a 30,0	Aglomerado con cemento	12,0
Sienita, diorita, pórfido	28,0	Tablero de fibras	8,0 a 10,0
Terracota compacta	21,0 a 27,0	Tablero ligero	4,0
Fábricas		Metales	
Bloque hueco de cemento	13,0 a 16,0	Acero	77,0 a 78,5
Bloque hueco de yeso	10,0	Aluminio	27,0
Ladrillo cerámico macizo	18,0	Bronce	83,0 a 85,0
Ladrillo cerámico perforado	15,0	Cobre	87,0 a 89,0
Ladrillo cerámico hueco	12,0	Estaño	74,0
Ladrillo silicocalcáreo	20,0	Hierro colado	71,0 a 72,5
Mampostería con mortero		Hierro forjado	76,0
de arenisca	24,0	Latón	83,0 a 85,0
de basalto	27,0	Plomo	112,0 a 114,0
de caliza compacta	26,0	Zinc	71,0 a 72,0
de granito	26,0	Plásticos y orgánicos	
Sillería		Caucho en plancha	17,0
de arenisca	26,0	Lámina acrílica	12,0
de arenisca o caliza porosas	24,0	Linóleo en plancha	12,0
de basalto	30,0	Mástico en plancha	21,0
de caliza compacta o mármol	28,0	Poliestireno expandido	0,3
de granito	28,0	Otros	
Hormigones y morteros		Adobe	16,0
Hormigón ligero	9,0 a 20,0	Asfalto	24,0
Hormigón normal ⁽¹⁾	24,0	Baldosa cerámica	18,0
Hormigón pesado	> 28,0	Baldosa de gres	19,0
Mortero de cemento	19,0 a 23,0	Papel	11,0
Mortero de yeso	12,0 a 28,0	Pizarra	29,0
Mortero de cemento y cal	18,0 a 20,0	Vidrio	25,0
Mortero de cal	12,0 a 18,0		

⁽¹⁾ En hormigón armado con armados usuales o fresco aumenta 1 kN/m³

Tabla 5a: Peso específico de materiales de construcción.

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 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 5b: Valores característicos de sobrecargas de uso.

- 2 Como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, q_n , puede tomarse:

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad (3.2)$$

siendo:

μ coeficiente de forma de la cubierta según 3.5.3

s_k el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según 3.5.2

Tabla 5c. Carga de nieve.

- En un faldón limitado inferiormente por cornisas o limatesas, y en el que no hay impedimento al deslizamiento de la nieve, el coeficiente de forma tiene el valor de 1 para cubiertas con inclinación menor o igual que 30° y 0 para cubiertas con inclinación de mayor o igual que 60° (para valores intermedios se interpolará linealmente). Si hay impedimento, se tomará $\mu = 1$ sea cual sea la inclinación.

Tabla 5d. Carga de nieve.

3.5.2 Carga de nieve sobre un terreno horizontal

- El valor de la sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal, s_k , en las capitales de provincia y ciudades autónomas se puede tomar de la tabla 3.8

Tabla 3.8 Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas-	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	tián/Donostia	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Santander	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Segovia	10	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Sevilla	1.090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Soria	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tarragona	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Tenerife	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Teruel	550	0,9
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	130	0,4	Toledo	0	0,5
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valencia/València	690	0,2
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Valladolid	520	0,4
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zamora	210	0,4
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Zaragoza	0	0,5
						Ceuta y Melilla		0,2

Tabla 5e. Carga de nieve.

3.3.2 Acción del viento

- La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \tag{3.1}$$

siendo:

- q_b la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 kN/m². Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo D, en función del emplazamiento geográfico de la obra.
- c_e el coeficiente de exposición, variable con 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. En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse un valor constante, independiente de la altura, de 2,0.
- c_p el coeficiente eólico o de presión, dependiente 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 3.3.4 y 3.3.5.

Tabla 5f. Acción del viento.

- En edificios con cubierta plana la acción del viento sobre la misma, generalmente de succión, opera habitualmente del lado de la seguridad, y se puede despreciar.

Tabla 5g. Acción del viento.

Tabla 3.5. Coeficiente eólico en edificios de pisos

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

Tabla 5b. Acción del viento.

5.2.2 COMBINACIÓN DE CARGAS

La combinación de cargas la realiza de forma automática el programa de cálculo de acuerdo con lo establecido en el Código Técnico de la Edificación (CTE), específicamente en su apartado DB-SE: Documento Básico. Seguridad Estructural. 4 Verificaciones basadas en coeficientes parciales. 4.2.2 Combinación de acciones. Se establece que la combinación de acciones para situaciones persistentes es:

4.2.2 Combinación de acciones

- 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

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

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

Tabla 5i: Combinación de acciones.

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		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

Tabla 5j: Coeficientes parciales de seguridad para las acciones.

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

Tabla 5k: Peso específico de materiales de construcción.

5.2.2.a) COMBINACIONES E.L.U.

De esta forma, se establecen tres combinaciones principales (las más desfavorables) para ELU, considerando en cada caso una carga variable principal: la sobrecarga de uso, la de nieve y la de viento respectivamente.

Tabla 5l: Combinación 03-ELU.

Tabla 5m: Combinación 04-ELU.

Tabla 5n: Combinación 05-ELU.

5.2.2.b) COMBINACIONES E.L.S.

La combinación para E.L.S se realiza de acuerdo con las [Tab. 5o, Tab. 5p, Tab. 5q]

4.3.2 Combinación de acciones

- 1 Para cada situación de dimensionado y criterio considerado, los efectos de las acciones se determinarán a partir de la correspondiente combinación de acciones e influencias simultáneas, de acuerdo con los criterios que se establecen a continuación.
- 2 Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado característica, a partir de la expresión

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.6)$$

Es decir, considerando la actuación simultánea de:

- a) todas las acciones permanentes, en valor característico (G_k);
- b) una acción variable cualquiera, en valor característico (Q_k), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- c) el resto de las acciones variables, en valor de combinación ($\psi_0 \cdot Q_k$).

Tabla 5o: Combinación característica de acciones para E.L.S

Por lo tanto, se establecen tres combinaciones características, tomando cada vez una carga variable principal distinta.

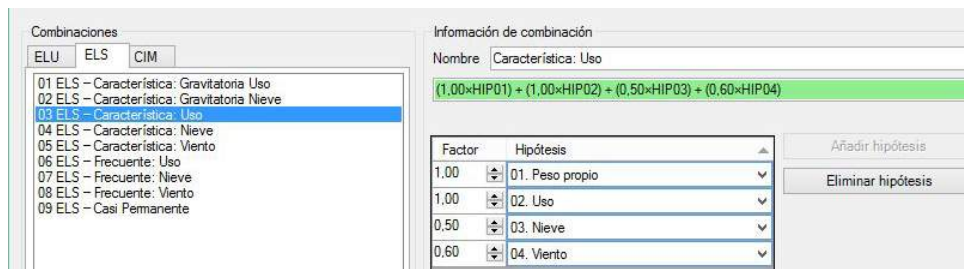


Tabla 5p: Combinación 03-ELS

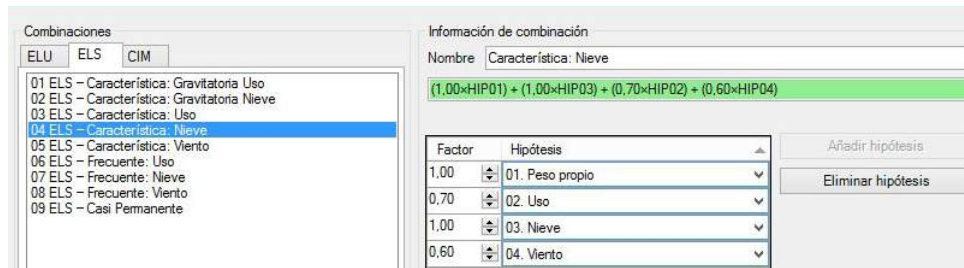


Tabla 5q: Combinación 04-ELS

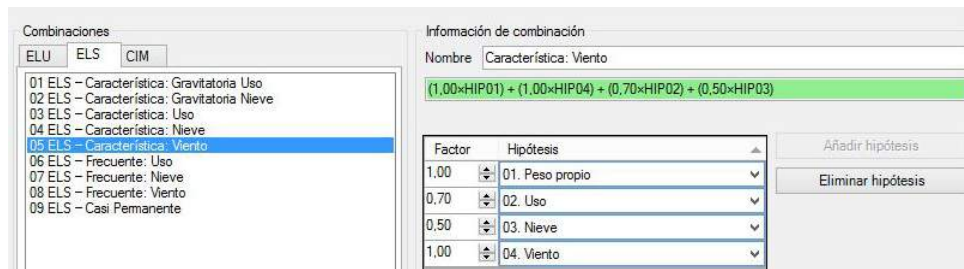


Tabla 5r: Combinación 05-ELS.

Por otro lado, se establecen tres combinaciones frecuentes, de nuevo tomando cada vez una carga variable principal.

- Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar reversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado frecuente, a partir de la expresión

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \tag{4.7}$$

siendo

Es decir, considerando la actuación simultánea de:

- todas las acciones permanentes, en valor característico (G_k);
 - una acción variable cualquiera, en valor frecuente ($\psi_1 Q_k$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
 - el resto de las acciones variables, en valor casi permanente ($\psi_2 \cdot Q_k$).
- Los efectos debidos a las acciones de larga duración, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado casi permanente, a partir de la expresión

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \tag{4.8}$$

siendo:

- todas las acciones permanentes, en valor característico (G_k);
- todas las acciones variables, en valor casi permanente ($\psi_2 Q_k$).

Tabla 5s: Combinación frecuente y casi permanente de acciones para E.L.S

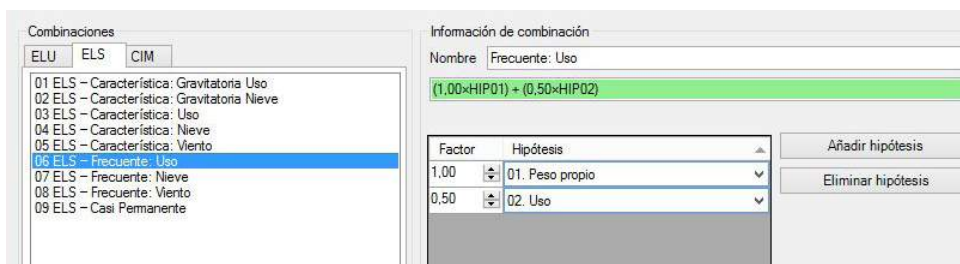


Tabla 5t: Combinación 06-ELS

Combinaciones

ELU ELS CIM

01 ELS - Característica: Gravitatoria Uso
02 ELS - Característica: Gravitatoria Nieve
03 ELS - Característica: Uso
04 ELS - Característica: Nieve
05 ELS - Característica: Viento
06 ELS - Frecuente: Uso
07 ELS - Frecuente: Nieve
08 ELS - Frecuente: Viento
09 ELS - Casi Permanente

Información de combinación

Nombre Frecuente: Nieve

$(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,20 \times \text{HIP03}) + (0,30 \times \text{HIP02})$

Factor	Hipótesis
1,00	01. Peso propio
0,30	02. Uso
0,20	03. Nieve

Añadir hipótesis
Eliminar hipótesis

Tabla 5u: Combinación 07-ELS

Combinaciones

ELU ELS CIM

01 ELS - Característica: Gravitatoria Uso
02 ELS - Característica: Gravitatoria Nieve
03 ELS - Característica: Uso
04 ELS - Característica: Nieve
05 ELS - Característica: Viento
06 ELS - Frecuente: Uso
07 ELS - Frecuente: Nieve
08 ELS - Frecuente: Viento
09 ELS - Casi Permanente

Información de combinación

Nombre Frecuente: Viento

$(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,50 \times \text{HIP04}) + (0,30 \times \text{HIP02})$

Factor	Hipótesis
1,00	01. Peso propio
0,30	02. Uso
0,50	04. Viento

Añadir hipótesis
Eliminar hipótesis

Tabla 5v: Combinación 08-ELS

Por último, la combinación casi permanente, con todas las acciones permanentes en valor característico, y las cargas variables en valor casi permanente

Combinaciones

ELU ELS CIM

01 ELS - Característica: Gravitatoria Uso
02 ELS - Característica: Gravitatoria Nieve
03 ELS - Característica: Uso
04 ELS - Característica: Nieve
05 ELS - Característica: Viento
06 ELS - Frecuente: Uso
07 ELS - Frecuente: Nieve
08 ELS - Frecuente: Viento
09 ELS - Casi Permanente

Información de combinación

Nombre Casi Permanente

$(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,30 \times \text{HIP02})$

Factor	Hipótesis
1,00	01. Peso propio
0,30	02. Uso

Añadir hipótesis
Eliminar hipótesis

Tabla 5w: Combinación 09-ELS.

5.3 Características materiales

Se establecen las siguientes características de materiales para el hormigón y el acero:

Materiales de la estructura:

HORMIGON_ARMADO_HA-25
ACERO_S275

Nombre: HORMIGON_ARMADO_HA-25
 Asignar nombre por defecto

Clase: Hormigón armado

Tipo: HA25

Añadir Eliminar

Propiedades

Peso específico: 25,00 kN/m³

Módulo de elasticidad longitudinal: 27.264,0 N/mm²

Módulo de elasticidad transversal: 11.360,0 N/mm²

Coefficiente de Poisson: 0,2000

Coefficiente de dilatación: 0,000012 (°C)⁻¹

Exportar Importar Habilitar edición Cerrar

Tabla 5x: Características hormigón armado.

Materiales de la estructura:

HORMIGON_ARMADO_HA-25
ACERO_S275

Nombre: ACERO_S275
 Asignar nombre por defecto

Clase: Acero

Tipo: S275

Añadir Eliminar

Propiedades

Peso específico: 78,50 kN/m³

Módulo de elasticidad longitudinal: 210.000,0 N/mm²

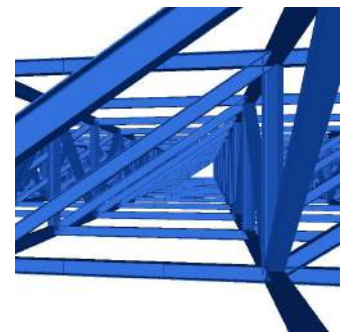
Módulo de elasticidad transversal: 80.769,2 N/mm²

Coefficiente de Poisson: 0,3000

Coefficiente de dilatación: 0,000012 (°C)⁻¹

Exportar Importar Habilitar edición Cerrar

Tabla 5y: Características acero

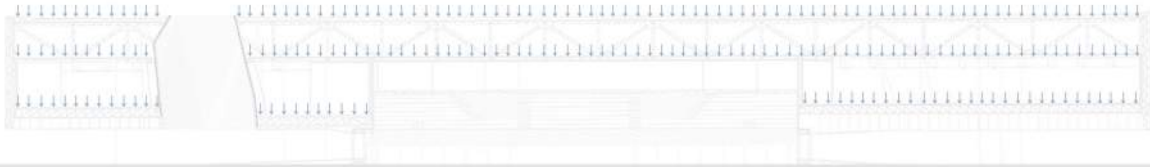


6_Análisis estructural

6.1 Comportamiento global de la estructura.

En primer lugar, se abordará el análisis de la estructura en su conjunto. Se intentarán obtener algunas conclusiones a partir del modelado realizado, de forma global, y atendiendo a los distintos tipos posibles de cargas a los que se puede enfrentar la estructura.

6.1.1 CARGAS VERTICALES



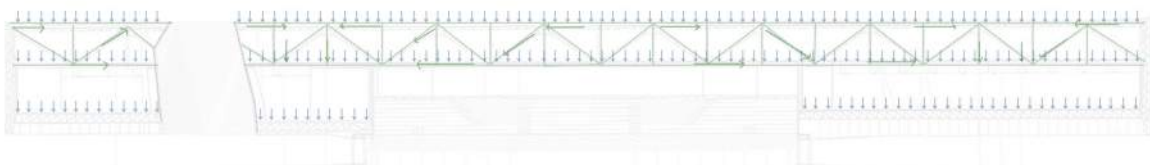
Img. 1: Esquema general transmisión de cargas verticales. Forjados.

El edificio ocupa una gran **superficie** en planta, con una superficie de casi 15.000m² por planta, lo que implica que, aunque las cargas verticales sean de pequeña magnitud por unidad de superficie, al estar aplicadas en una superficie muy amplia, generan unas cargas importantes. A ello se le debe sumar las grandes luces entre apoyos, que varían desde los 20 hasta los 50m en algunos puntos. Estas grandes luces implican que se generarán grandes esfuerzos al tener las cargas que recorrer una distancia importante hasta los elementos de apoyos verticales. [Img. 1]

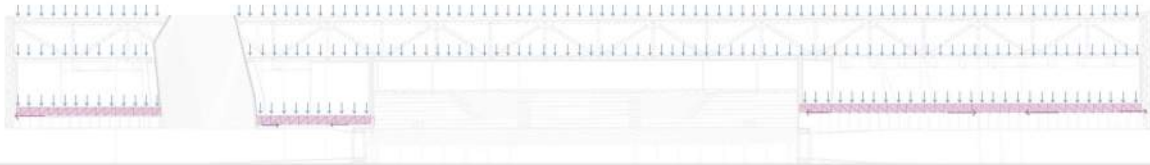
Por lo tanto, y como se verá en los diagramas de deformaciones más tarde, las cargas verticales son las que afectan de forma más importante a la estructura. Para entender el funcionamiento de cada uno de los elementos de la estructura, imaginaremos el recorrido que deben realizar las cargas verticales desde su punto de aplicación, hasta la cimentación.

Las cargas verticales, aplicadas sobre los tres niveles de forjados, deberán transmitirse hasta los elementos verticales: pilares y núcleos rígidos. Las grandes luces entre estos elementos obliga a la colocación de una estructura no tradicional de forjado. Para ello, aparecen **emparrillados de celosías ortogonales**, el emparrillado principal y el secundario. La solución de cercha es una solución habitual para cubrir grandes luces mediante el uso de barras metálicas unidas a través de nudos. Mediante esta superestructura se crean elementos de barras con unas longitudes mucho menores a las de luz entre apoyos, lo que reduce las sollicitaciones y las deformaciones que conllevaría cubrir estas luces con un forjado tradicional.

Debemos distinguir los dos emparrillados. Por una parte, el emparrillado de **cerchas ortogonales principal** [Img. 2], de unas dimensiones mucho mayores (6mx6mx4m), con barras formadas por perfiles capaces de transmitir momentos (HEA 300 Y 2UPN300), y formada por nudos rígidos. Se trata de la estructura principal de proyecto, que no solo recibe las cargas verticales de los forjados superiores, pero además recibe cargas de otros elementos estructurales, como se comentará. Al contar con la altura de 4m disponible, se puede crear una gran cercha de elementos rígidos.



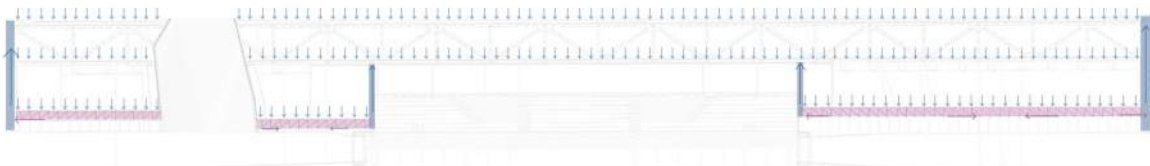
Img. 2: Esquema general transmisión de cargas verticales. Emparrillado de celosías.



Img. 3: Esquema general transmisión de cargas verticales. Emparrillado de cerchas ortogonales secundario.

Por otra parte, el emparrillado de cerchas ortogonales **secundario** [Img. 3] tiene unas dimensiones mucho menores, (1mx1mx1m) y está formada por barras sin resistencia a los momentos, los nudos se suponen articulados. Estas barras trabajan solamente a axil. Al contrario que en la estructura principal, no se cuenta con una altura muy amplia para el canto de esta cercha, pues se trataría de un espacio sin uso. Por lo tanto, se reduce el canto hasta 1m, y por ello, se reducen también las dimensiones en planta de la estructura principal. Esta estructura recibe directamente las cargas del forjado E1 y las transmite a los núcleos rígidos y pilares, sin recibir cargas de otros elementos.

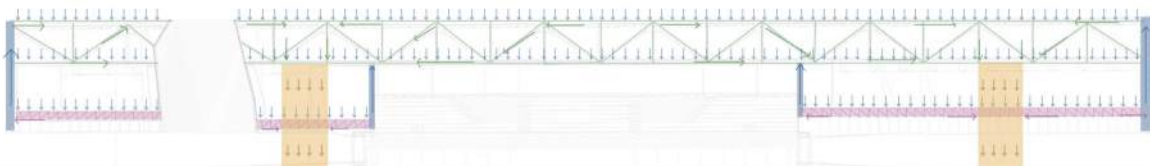
Además, en los perímetros de esta emparrillado de celosías, aparecen una serie de elementos **traccionados**, [Img. 4] que sirven de zuncho de atado. Recogen parte de las cargas verticales del forjado E3, y la transmiten al emparrillado principal, del que cuelgan. Se trata tanto de las vigas-fachada, las vigas-pared del auditorio y los elementos de atado de los patios. Estos elementos aseguran una colaboración entre la estructura superior e inferior, ofreciendo puntos de apoyo en los extremos de forjado, de forma que no se comporte como un voladizo en el perímetro.



Img. 4: Esquema general transmisión de cargas verticales. Elementos atriantados.

Todas las cargas finalmente llegan a los **núcleos rígidos y pilares**, que funcionan a compresión, transmitiendo verticalmente las cargas hasta la cimentación. Se trata de elementos de hormigón armado, que precisamente tienen un muy buen comportamiento frente a la compresión.

El reto del edificio consiste en que todas estas transmisiones de esfuerzos [Img. 5] entre elementos se produzca primero, de forma correcta asegurando las conexiones entre elementos de la estructura, conformando un comportamiento conjunto de toda la estructura. Por otra parte, se deberán producir estas transmisiones de forma que los esfuerzos generados en el interior de los elementos no producen sollicitaciones excesivas que rompan las piezas (Estado Límite Último). Por último, deberán producirse estas sollicitaciones de forma que las deformaciones de las piezas queda dentro de unos márgenes de aptitud al servicio (Estado Límite de Servicio).



Img. 5: Esquema general transmisión de cargas verticales.

6.1.2 CARGAS HORIZONTALES

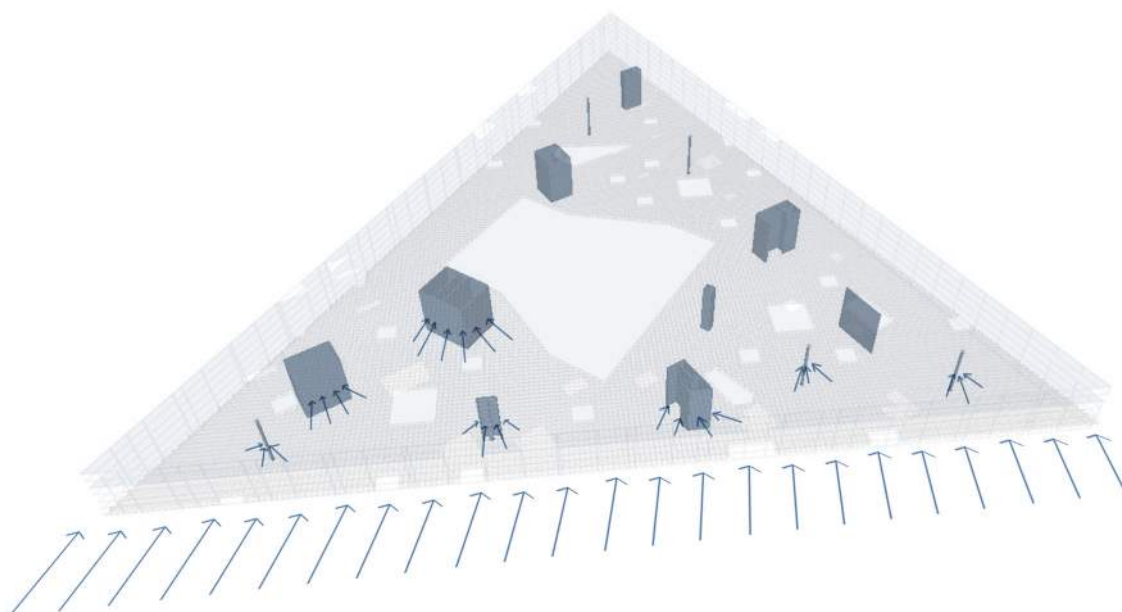
Las cargas horizontales se deben, principalmente, a la acción del viento sobre las fachadas del edificio. Como se ha visto en la descripción del mismo, se trata un edificio de una gran dimensión en planta, ocupando 180m de largo, casi 15.000m² de superficie en planta. Sin embargo, tiene una altura de tan solo 12-14m sobre rasante. Las fachadas, de 180mx12m, presentan una superficie de exposición de unos 2160m², frente a los 14.030m² que ocupa en planta. Es decir, se trata de un edificio que presenta una superficie vertical de exposición, perpendicular a la dirección del viento, muy inferior a la superficie horizontal total ocupada. [Img. 6]

Pero más que la superficie de exposición, lo más importante a considerar la **esbeltez** del edificio en la dirección perpendicular al viento. En este caso, la esbeltez es mínima. Lo que implica que las acciones del viento no causarían deformaciones importantes, no existen elementos verticales de gran longitud sensibles a las cargas horizontales.

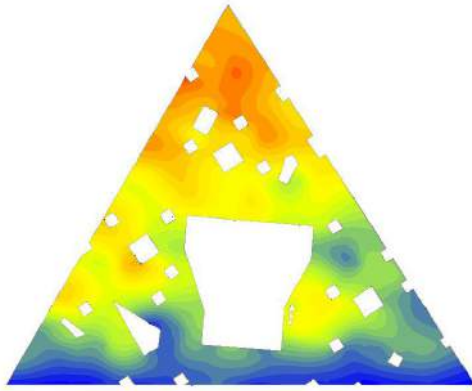
Además, la existencia de los tres **forjados**, hace que la estructura se comporte de forma monolítica frente a cargas horizontales. El forjado actúa de diafragma, moviéndose como un sólido rígido frente a las cargas de viento. Por otro lado, el forjado recibe, a través de las vigas de fachada, la carga del viento, y la transmite hasta los elementos verticales.

En este caso, además de los propios forjados, encontramos dos grandes **emparrillados de celosías** de barras que colaboran en este comportamiento. Son estructuras triangulares, de gran rigidez a los movimientos horizontales, que se encargan de transmitir los esfuerzos horizontales hasta los elementos verticales resistentes.

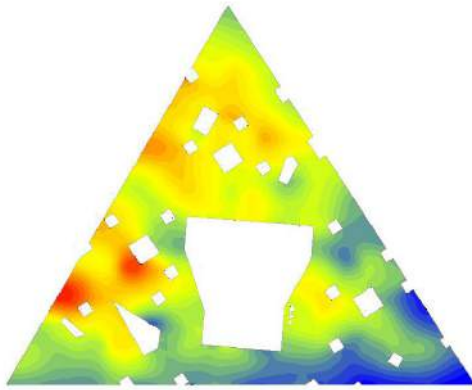
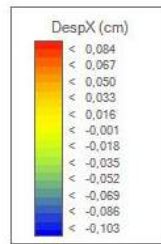
Los elementos **verticales** son capaces de recibir los esfuerzos horizontales y transmitirlos a la cimentación. Pero también cumplen una función de resistencia a la torsión. Al tratarse de núcleos rígidos, con pantallas de hormigón armado que van en dos direcciones perpendiculares, generan un conjunto resistente a los esfuerzos de torsión.



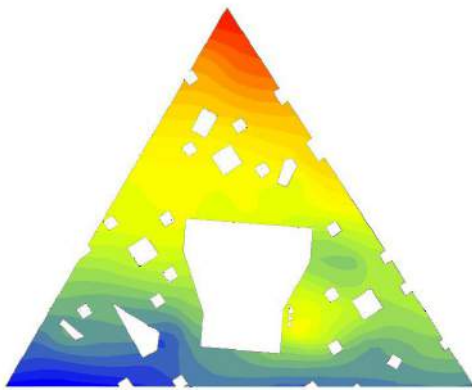
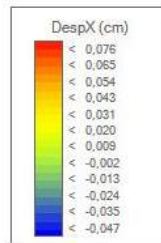
Img. 6: Acción horizontal del viento y transmisión de esfuerzos a núcleos rígidos.



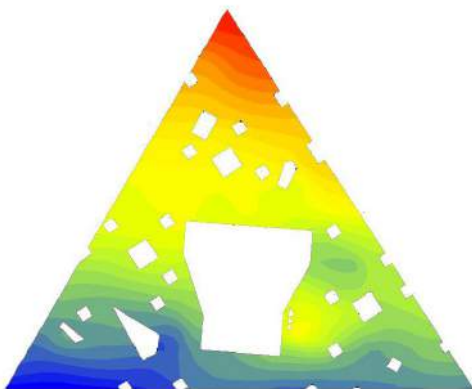
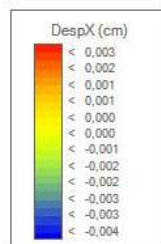
Img. 7: Desplazamientos verticales debidos al peso propio.



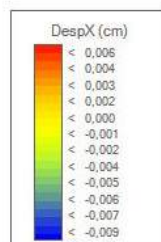
Img. 8: Desplazamientos verticales debidos a la sobrecarga de uso.



Img. 9: Desplazamientos verticales debidos a la carga de nieve



Img. 10: Desplazamientos verticales debidos a la carga de viento.



En resumen, las cargas horizontales para este edificio no son de especial importancia, siendo de mucha mayor envergadura las cargas verticales, como se ha comentado.

Prueba de ello sería considerar los movimientos horizontales globales de la estructura bajo los distintos supuestos de cargas. En la imagen [Img. 7-10] se puede observar los movimientos horizontales, en la dirección x que se deben a las distintas cargas: peso propio, sobrecarga de uso, nieve y viento. En primer lugar, se puede observar que los movimientos horizontales son muy pequeños, con un valor máximo de 0,157cm en el punto más desfavorable (la fachada sobre la que se aplica el viento). De estos 0,157cm, se produce el siguiente reparto: 0,1cm vienen del peso propio de la estructura; 0,05cm de las sobrecargas de uso, 0,004cm de la sobrecarga de nieve y 0,006cm de la acción del viento.

Por lo tanto, como se ha observado, las cargas verticales serán las más restrictivas a la hora de calcular la estructura. A continuación se detallan los apartados de ELS de deformación, y ELU.

6.2 E.L.S. Deformaciones

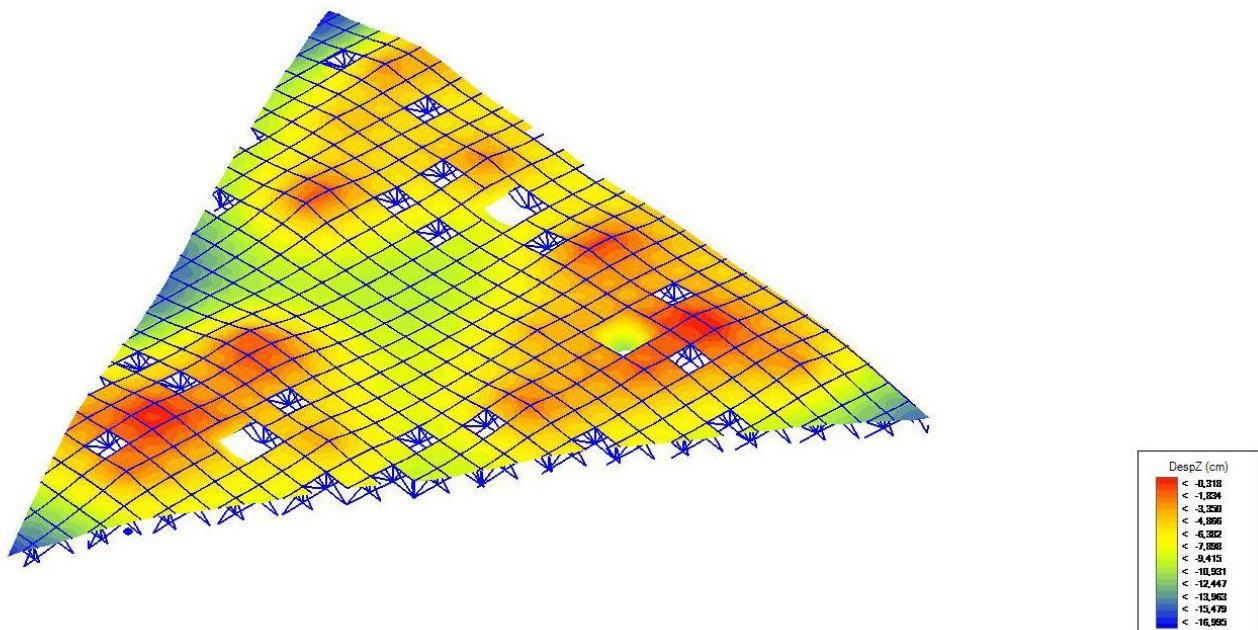
El cálculo de deformaciones se hace bajo ELS, siendo la combinación más desfavorable la combinación 3. A continuación se muestran algunas de las deformadas de la estructura global. Para realizar algunas conclusiones, separamos de forma independiente la estructura de cubierta del forjado de planta baja, siendo estos dos elementos los más característicos para darnos información sobre flecha.

En primer lugar, analizamos el forjado y estructura de cubierta. Como se puede observar, las deformaciones máximas se producen en los **extremos** del triángulo, donde aparecen unos voladizos de en torno a los 25m. En estos puntos se produce una flecha máxima de 17cm, es decir un valor de flecha de $L/300$. (en voladizos la luz se asume el doble de longitud del voladizo)

También se producen deformaciones importantes en la parte posterior del **auditorio**, con deformaciones máximas de 16cm. [Img. 11] En este punto existe una luz entre apoyos que es la máxima en el proyecto, de unos 50m. De nuevo, hablamos de un valor de flecha de $L/315$.

Otro punto a destacar son las flechas que se producen encima de la cubierta del auditorio, donde la separación entre elementos verticales es de unos 40m, con flechas en torno a los 12cm. [Img. 11] ($L/330$).

En este diagrama se ve de forma muy clara dónde se encuentran los apoyos verticales, en aquellos puntos donde los desplazamientos son muy cercanos a cero, con valores mínimos de 0,35cm.



Img. 11: Deformada escala f:50 para ELS combinación 3. Forjado superior y emparrillado de cerchas ortogonales principal.

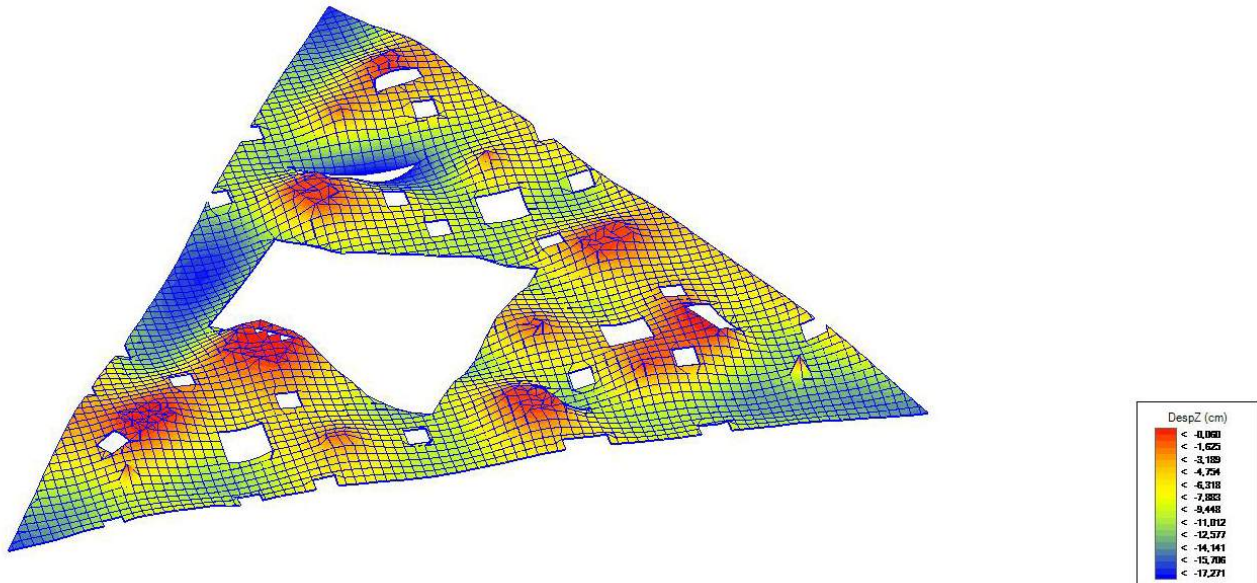
Recordamos las limitaciones de flechas establecidas en el Código Técnico de la Edificación, en su apartado DB-SE 4.3.3.1 Flechas. Aquí se establece unas limitaciones de:

Por integridad de elementos constructivos : $L/300$ (tabiques no frágiles)

Para el confort interior: $L/350$

Por apariencia de la obra: $L/300$

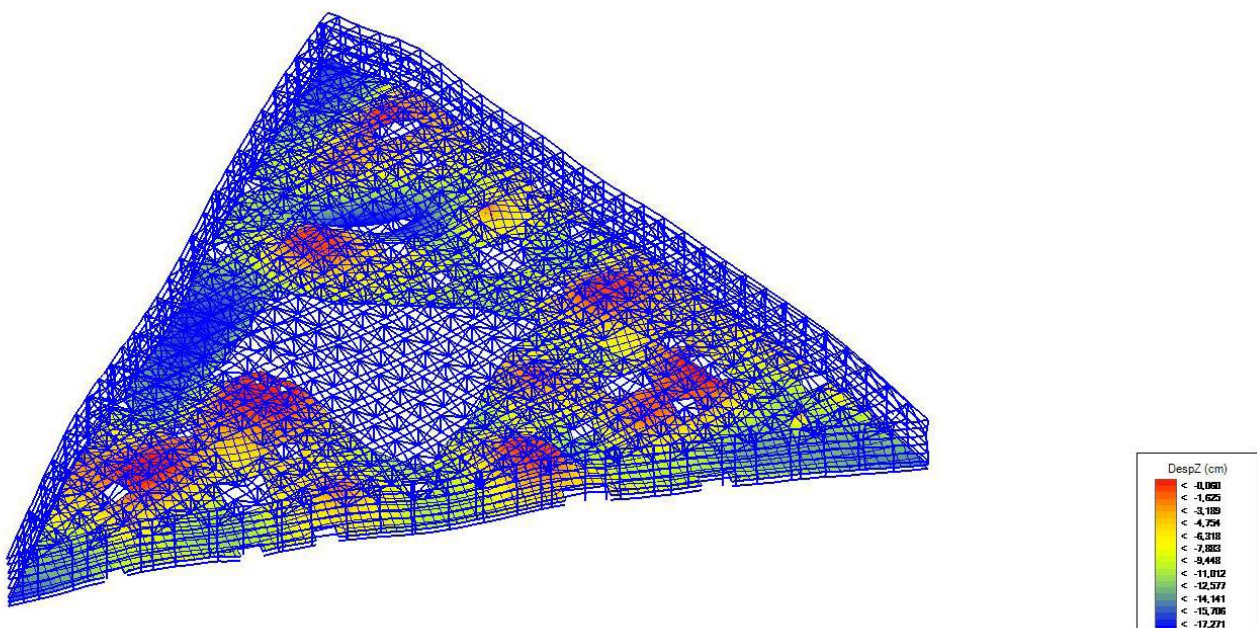
Simplemente para conocer un orden de magnitud de las flechas producidas, estaríamos cerca de los límites establecidos en la norma.



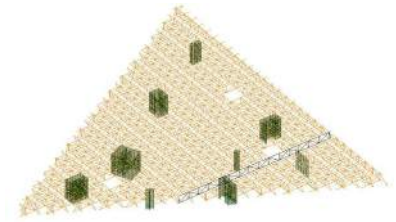
Img. 12a: Deformada escala f:50 para ELS combinación 3. Forjado inferior.

En el forjado de **planta baja**, ocurre algo muy similar. Primero, se producen flechas muy importantes en las esquinas de los voladizos, con valores similares al forjado anterior, en torno a los 17cm ($L/300$) [Img. 12-13]. También una flecha importante en la parte posterior del auditorio, similar a la que encontrábamos en el forjado superior. El cambio más significativo se produce en uno de los huecos que tiene el forjado en este nivel, que no tenía el forjado de cubierta. Se trata específicamente de un hueco por donde se produce el acceso a esta planta, un hueco con forma triangular. En este punto se producen unas flechas similares a los puntos mencionados anteriormente.

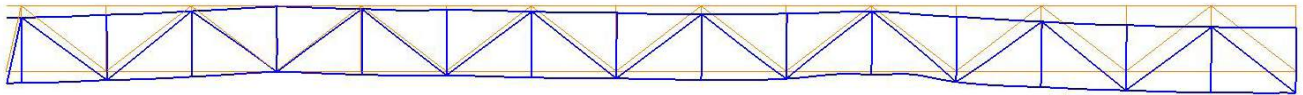
Sin embargo, este hueco en la realidad descansa sobre un cerramiento de vidrio con montantes verticales. Es decir, que ese perímetro interior que se ha modelizado como un voladizo en realidad tiene un perímetro de apoyo que, aún sin formar parte de la estructura principal, actúa como punto de apoyo, y se reduciría en este punto la flecha obtenida por cálculo.



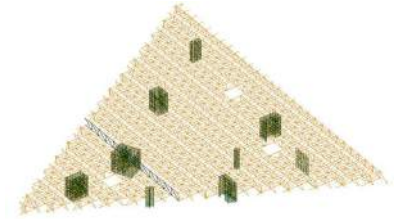
Img. 12b: Deformada escala f:50 para ELS combinación 3. Forjado inferior.



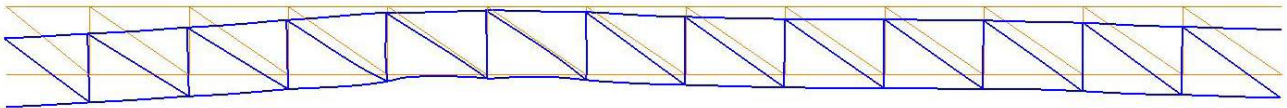
Img. 12a: Posición de la cercha individual A en conjunto.



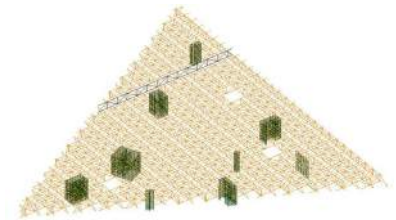
Img. 13b: Deformada escala f.15 para ELS combinación 3. Cercha A



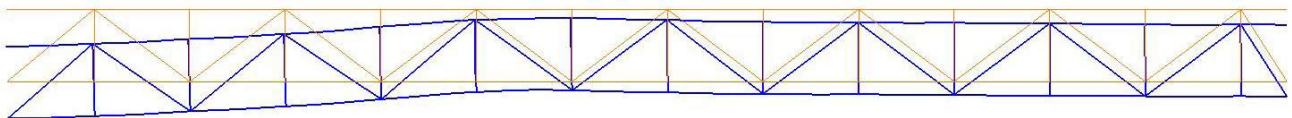
Img. 12c: Posición de la cercha individual B en conjunto.



Img. 13d: Deformada escala f.15 para ELS combinación 3. Cercha B

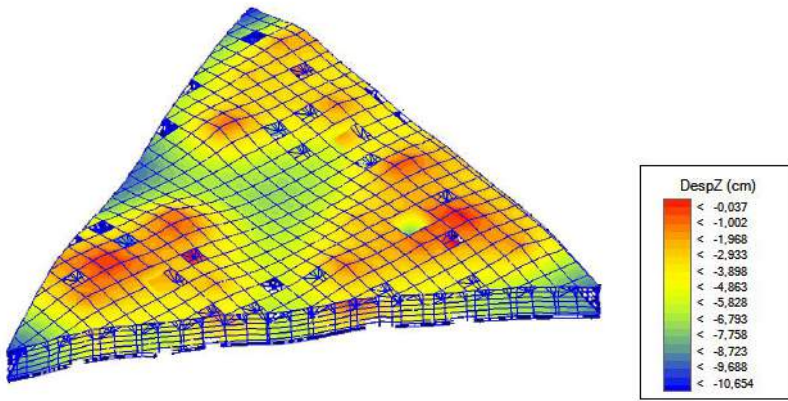


Img. 12e: Posición de la cercha individual C en conjunto.

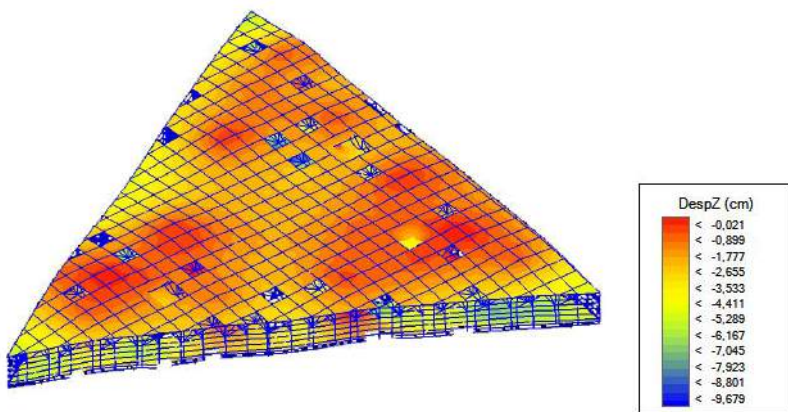


Img. 13f: Deformada escala f.15 para ELS combinación 3. Cercha C

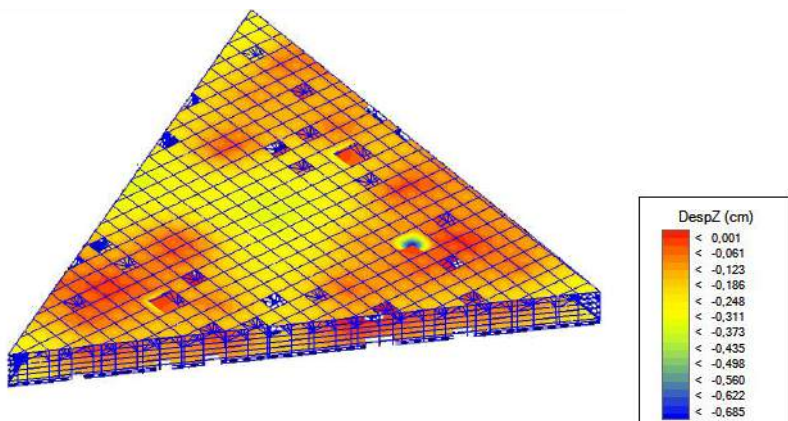
En las imágenes [Img. 13a-13f] se puede observar las **deformadas** de varias de las cerchas individuales que conforman el emparrillado principal. En las cerchas se pueden observar los desplazamientos, en torno a los 3cm, pero que producen unos giros y deformaciones muy importantes en las barras en contacto con los apoyos. Los máximos desplazamientos se producen en los extremos de las vigas en celosía, es decir en las vigas de fachada, con valores de en torno a 13cm. Sin embargo, en estos puntos las barras no se deforman tanto como en los apoyos, sufriendo la celosía giros y desplazamientos como un sólido rígido de forma conjunta. Esto se debe a que las coacciones impuestas por los puntos de apoyo sobre las barras cercanas hacen que estas estén muy solicitadas, pero con desplazamientos totales de la cercha muy pequeños. En los extremos, donde la coacción es mínima, las barras estarán menos solicitadas, pero la ausencia de puntos de apoyo provoca flechas globales muy altas.



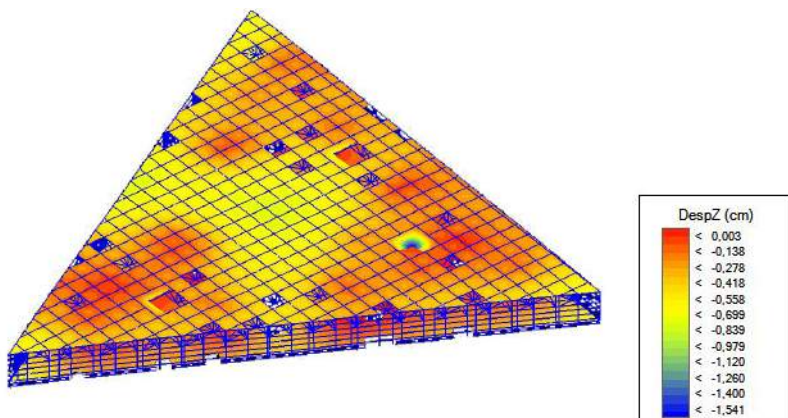
Img. 14: Desplazamientos verticales debidos al peso propio.



Img. 15: Desplazamientos verticales debidos a la sobrecarga de uso.



Img. 16: Desplazamientos verticales debidos a la carga de nieve



Img. 17: Desplazamientos verticales debidos a la carga de viento.

Un aspecto importante a destacar sería estudiar la fracción de flecha que produce aproximadamente cada tipo de carga. Para ello, se ha estudiado la deformada que produce de forma separada en el modelo global las cargas de: peso propio, sobrecarga de uso, viento y nieve. Se obtiene que.

El **peso propio** produce una flecha máxima de 10,5cm (46,2% de la flecha máxima total). Se puede observar que la distribución es muy similar en ambos forjados. [Img. 14]

La **sobrecarga de uso** produce un máximo de 9,68cm, en el forjado inferior (donde la sobrecarga es mucho mayor), con flechas sensiblemente menores en el forjado de cubierta. Representa un 42,6% de la flecha máxima total. [Img. 15]

La **nieve** es la carga que menor impacto tiene, produciendo una flecha máxima de 0,7cm (3,2% de la flecha máxima total). [Img. 16]

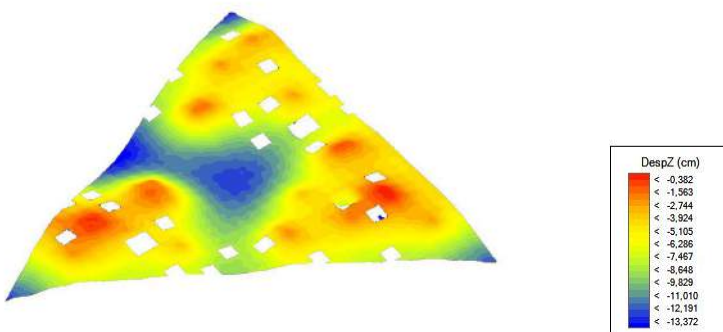
Por último, el **viento** es responsable de una flecha máxima de 1,54cm (6,9% de la flecha máxima total). [Img. 17]

Como se puede observar, el peso propio y la sobrecarga de uso son las cargas que mayores flechas verticales producen, es decir las cargas que más solicitan a la estructura. Específicamente, en los forjados superiores, la carga más importante es el peso propio. En el forjado inferior, con una sobrecarga de uso mucho mayor, el peso propio y la sobrecarga de uso se reparten la producción de flecha.

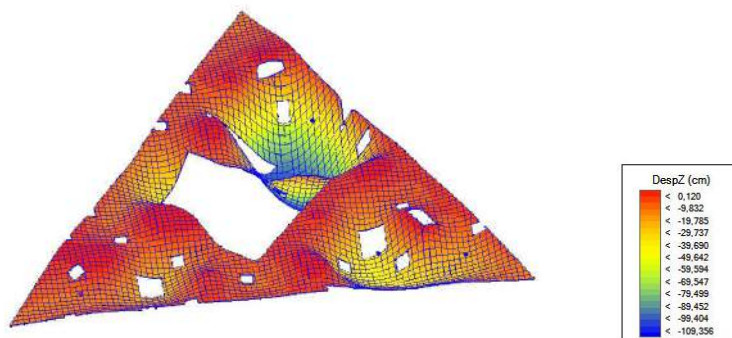
Destacar quizá que el **proceso** de creación del modelo ha ido muy a la par con los condicionantes de flecha de la estructura. En un principio [Img. 18], el modelo no abarcaba el forjado inferior, lo que producía unas flechas ligeramente menores, aunque producía unas flechas muy importantes encima del auditorio, que se explica porque la ausencia de las vigas-pared del auditorio que funcionan a tracción implicaría una menor flecha.

Los siguientes modelos tenían ya el forjado inferior, así como las vigas pared del auditorio. Así se redujo las flechas encima del auditorio. Sin embargo, los modelos tuvieron que ajustarse en varias ocasiones, ya que por problemas en el modelado de la intersección entre el forjado y elementos verticales, se producía en el forjado inferior unas flechas absurdamente grandes de en torno a los 100cm en algunos puntos. [Img. 19]

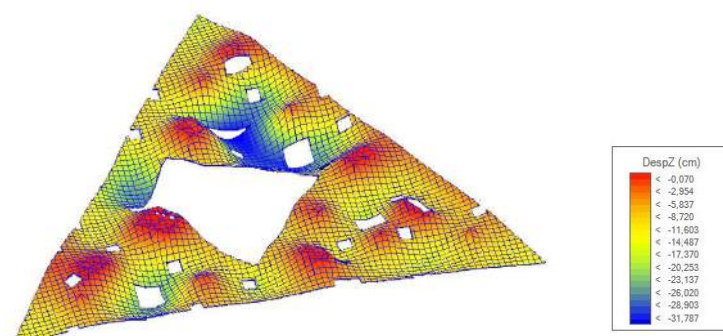
Un depurado del modelado dio lugar a un modelo más aproximado, pero que seguía teniendo flechas excesivas (32cm) en el punto del hueco de la entrada [Img. 20]. El último cambio, que ya produjo el modelo definitivo que se ha detallado anteriormente, consistió en insertar los elementos verticales de los patios, que aseguraban que los contornos de los patios en el forjado E1 no se consideraran como voladizos, si no que quedaban apoyados en un elemento atirantado que colgaba de la estructura principal.



Img. 18: Deformada escala f.50 para ELS combinación 3. Forjado superior.



Img. 19: Deformada escala f.50 para ELS combinación 3. Forjado inferior.

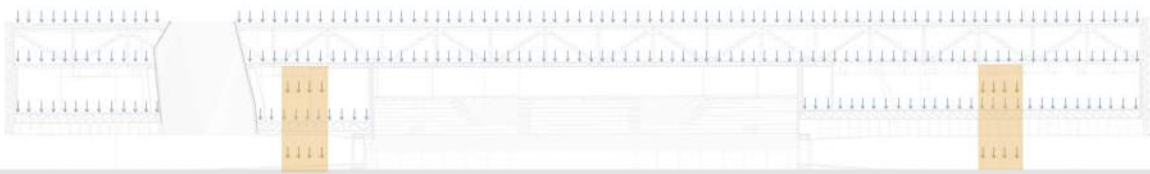


Img. 20: Deformada escala f.50 para ELS combinación 3. Forjado inferior.

6.3 Diagramas de solicitaciones. ELU combinación 3.

6.3.1 A. ELEMENTOS VERTICALES

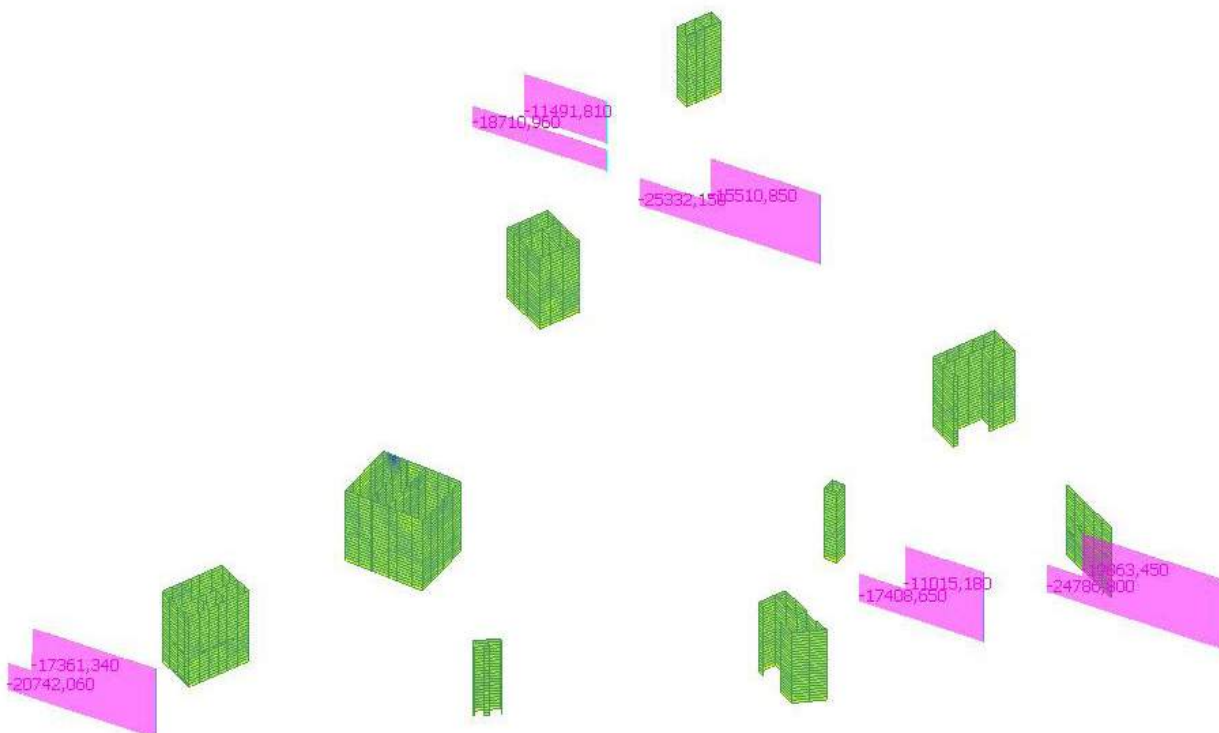
Los elementos verticales, pilares circulares de hormigón armado y núcleos de hormigón armado, trabajan principalmente a compresión, transmitiendo verticalmente los axiles que reciben de toda la estructura. [Img. 21] Todas las cargas verticales de la estructura acaban dirigiéndose hasta los apoyos, donde se produce una concentración de cargas muy importantes. Las enormes luces entre apoyos y las grandes cargas verticales provoca unos axiles bastante altos concentrados en estos puntos. Hablamos de pilares con axiles de entre 18.000kN y 25.000kN.



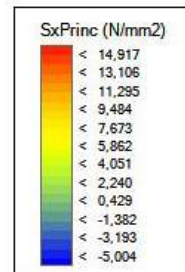
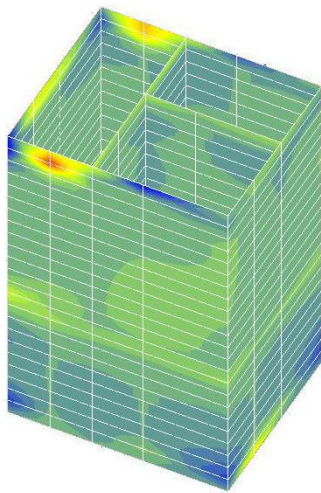
Img. 21: Esquema general funcionamiento estructural núcleos rígidos.

Al estar dispuestos los pilares y núcleos rígidos de forma variable en la planta, y por la disposición también variables de los huecos en los forjados, cada pilar recibe unas cargas distintas, aunque varían desde los 10.000kN a 20.000kN en la planta superior, y valores de 17.000kN a 25.000kN en las plantas inferiores. [Img. 22]

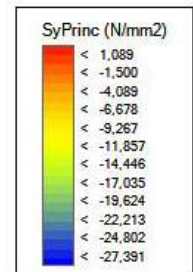
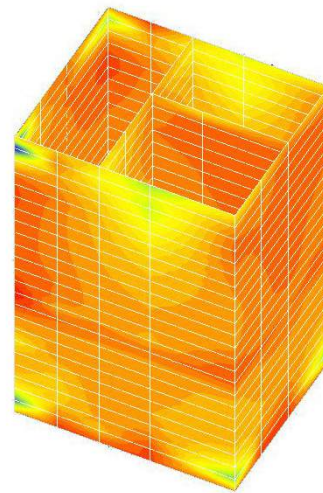
Como se puede observar en el esquema de axiles en general, los axiles son casi constantes (si despreciamos el peso propio del pilar) en cada planta, aumentando de forma considerable al recibir las cargas procedentes del forjado de planta baja. [Img. 22]



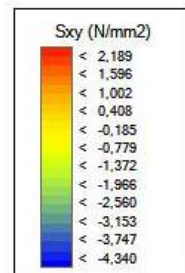
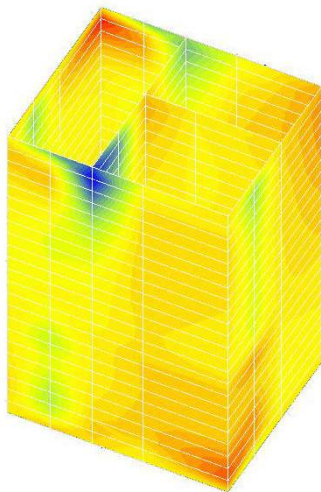
Img. 22: Elementos verticales. Solicitaciones ELU-03. Axiles.



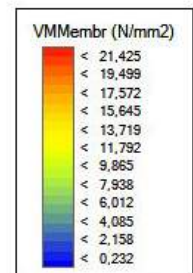
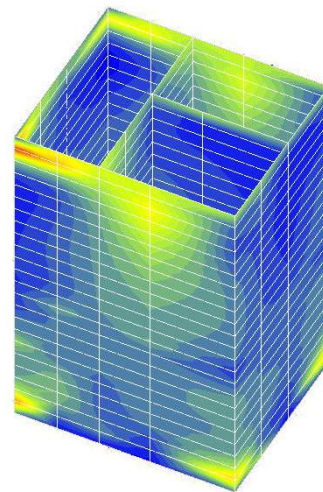
Img. 27: Detalle núcleo rígido. Solicitaciones ELU-03.
Tensiones Sx principales.



Img. 28: Detalle núcleo rígido. Solicitaciones ELU-03.
Tensiones Sy principales.



Img. 29: Detalle núcleo rígido. Solicitaciones ELU-03.
Tensiones Sxy.



Img. 30: Detalle núcleo rígido. Solicitaciones ELU-03.
Tensiones Von Mises.

El resto del núcleo presenta unas tensiones más o menos constantes, con valores de tracción de unos 4N/mm^2 y valores de compresión de unos 6N/mm^2 . Además, se pueden apreciar un aumento de tensiones localizado en el núcleo a la altura de $3,5\text{m}$, el punto donde el núcleo se encuentra con la Emparrillado de cerchas ortogonales secundario, recibiendo las solicitaciones de esta.

Por último, se aprecian unas concentraciones de tensiones importantes en la base del núcleo, específicamente en las esquinas del mismo, donde el encuentro con el terreno provoca un aumento de las solicitaciones.

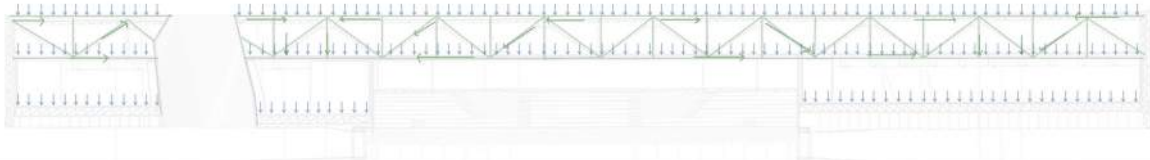
El armado de los núcleos de hormigón deberá realizarse de forma que no se produzca agotamiento del hormigón ni por tracciones excesivas, ni por compresiones excesivas. Además, se colocará de forma que los puntos de concentración de tensiones puedan repartir éstas de una forma homogénea.

Si observamos las tensiones de Von Mises [Img. 30], nos da una idea de los puntos más solicitados, teniendo en cuenta tracciones y compresiones, y que de nuevo nos señalan las esquinas inferiores, y sobre todo las superiores, como las partes más solicitadas.

6.3.2 B. EMPARRILLADO DE CELOSÍAS ORTOGONALES PRINCIPAL

Como se ha comentado, se trata de la estructura principal del proyecto, recibiendo no sólo las cargas verticales de los forjados superiores, si no también parte de las cargas verticales del forjado inferior, a través de los elementos traccionados de unión entre cerchas: las vigas colgadas de fachada, los elementos de cierre de patios y las vigas-pared de auditorio. [Img. 31]

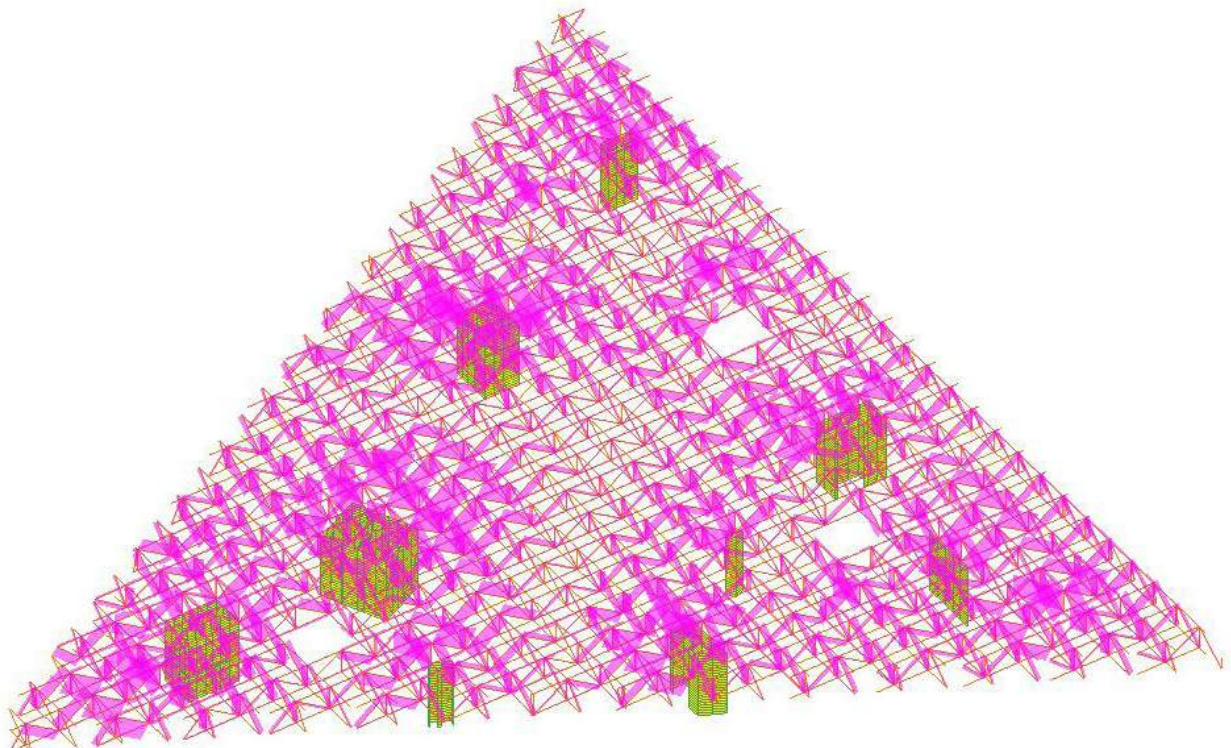
Por lo tanto, se trata de un elemento que va a recibir una parte muy importante de las cargas totales de la estructura, y tendrá por tanto, unas sollicitaciones bastante importantes.



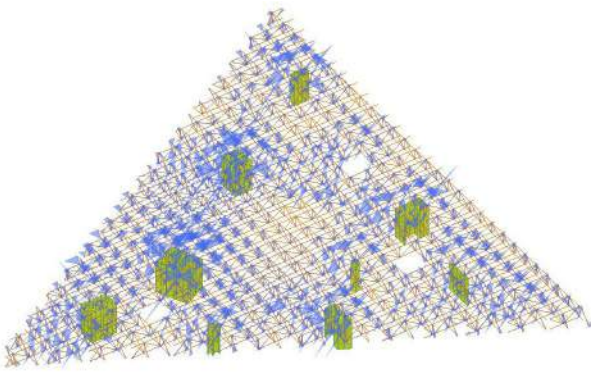
Img. 31: Esquema general funcionamiento estructural emparrillado de cerchas ortogonales principal.

En primer lugar, analizamos el comportamiento **global** de la emparrillado de celosías, atendiendo a los distintos tipos de sollicitaciones a los que está sometida.

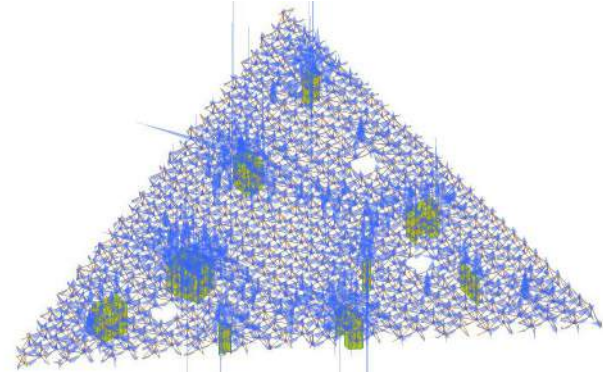
Empezamos por las leyes de **axiles**. [Img. 32] Distinguimos primero que se producen unas concentraciones de axiles importantes precisamente en las zonas de los apoyos. Estas concentraciones se encuentran precisamente en las diagonales de la cercha. Esto se debe al propio funcionamiento de la cercha, cuyas diagonales trabajan a tracción o compresión impidiendo el desplazamiento entre los nudos, son las encargadas de dotar de intraslacionalidad al conjunto. Las zonas de los apoyos, donde se produce la máxima concentración de tensiones, hace que sean los puntos más sollicitados. Estos axiles varían en las zonas de apoyo entre 3.000kN y 6.000kN, con valores de en torno a los 400-600kN en las zonas menos sollicitadas.



Img. 32: Elementos verticales. Sollicitaciones ELU-03. Axiles.



Img. 33: Elementos verticales. Solicitaciones ELU-03. Momentos M_y .



Img. 34: Elementos verticales. Solicitaciones ELU-03. Momentos M_z .

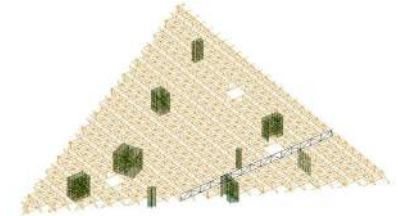
También se observan axiles importantes de compresión en las piezas verticales de la cercha encima de los apoyos, piezas que transmiten directamente a compresión las cargas verticales hasta los elementos de apoyo.

Otra sollicitación importante serán los **momentos flectores** de las piezas. [Img. 33-34] Al tratarse de una cercha formada por HEA-300 y 2UPN300, con nudos que se modelizan como rígidos, son piezas con suficiente resistencia como para poder transmitir momentos. Por lo tanto, se produce una distribución de momentos, en los dos sentidos a lo largo de toda la cercha. De nuevo, como ocurría con los axiles, las zonas de los apoyos serán las zonas más sollicitadas. En este caso, se produce unas concentraciones muy importantes de momentos negativos, sobre todo en la dirección z. Esta concentración de momentos negativos sería la similar a la que encontramos en una viga de un pórtico de nudos rígidos, que al fin y al cabo, es el comportamiento al que se asimila la estructura. Los momentos se producen en los cordones superior e inferior de las cerchas. En estos puntos se producen unos momentos negativos de entre $-1.700\text{N}\cdot\text{m}$ y $-2.500\text{kN}\cdot\text{m}$ en el punto más sollicitado.

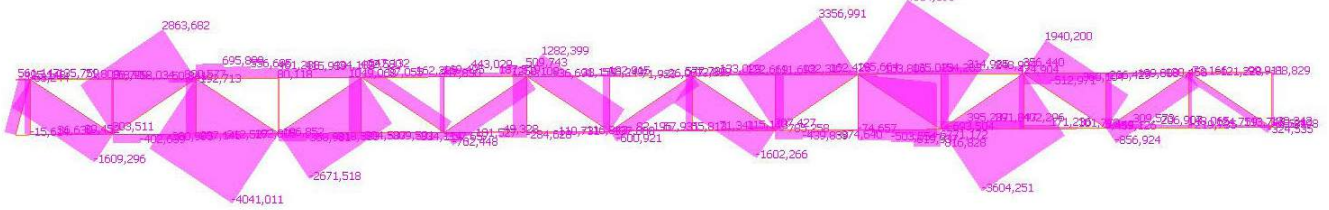
En el resto de la cercha, los momentos siguen una ley parabólica, con momentos negativos en cada uno de los nudos, similar a una viga continua sobre apoyos. En estos puntos los momentos varían entre $-80\text{kN}\cdot\text{m}$ y $40\text{kN}\cdot\text{m}$, que son sollicitaciones mucho más razonables, y que ocupan la mayor parte de la cercha en planta.

Las diagonales de la cercha también tienen sollicitaciones de momentos, aunque siguiendo leyes bitriangulares o trapezoidales. Los elementos verticales de la cercha están sollicitados, además de a esfuerzo axil como se ha comentado, a leyes bitriangulares de momentos, en este caso siendo momentos importantes en los dos sentidos.

Si observamos una sola cercha [Img. 35] de las que conforman la gran emparrillado de celosías, se pueden ver de forma detallada cada uno de los elementos de la cercha. Observando la deformada de la pieza, se puede ver que la pieza se comporta como una gran viga de canto biapoyada, donde se desarrollan momentos positivos en centro de vano, y momentos negativos en los apoyos. El cordón superior queda traccionado en centro de vano, y el inferior queda comprimido. Ocurre un proceso contrario en los apoyos. Las máximas concentraciones de axiles se producirán en las diagonales de los apoyos.



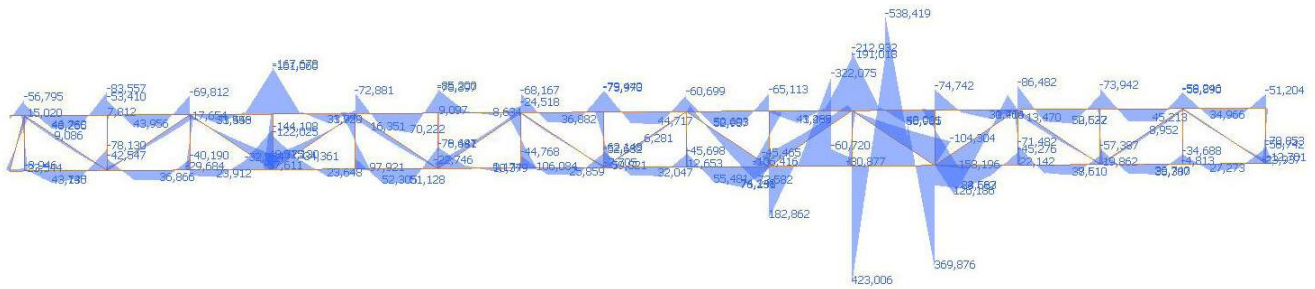
Img. 35: Posición de la cercha individual A en conjunto.



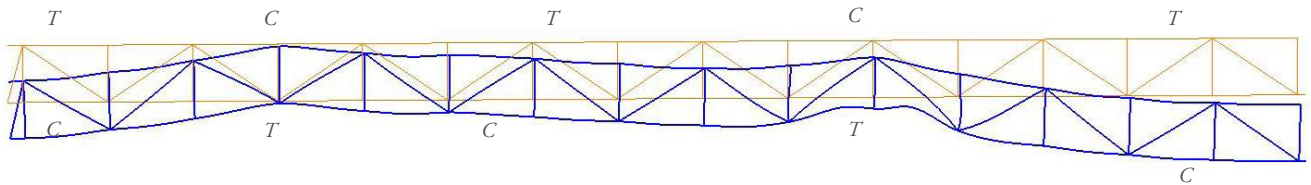
Img. 36: Cercha A. Solicitaciones ELU-03. Axiles.



Img. 37: Cercha A. Solicitaciones ELU-03. Momentos M_y .



Img. 38: Cercha A. Solicitaciones ELU-03. Momentos M_z .



Img. 13b: Deformada escala f.50 para ELS combinación 3. Cercha A

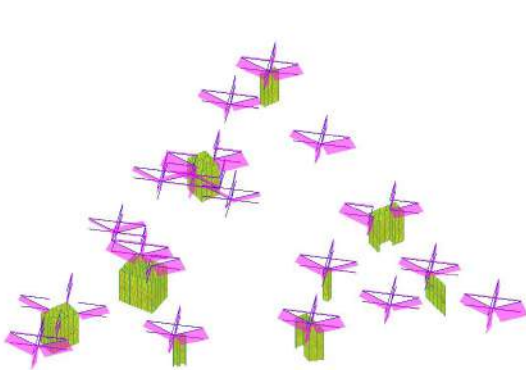
Elementos **verticales** de la cercha. Quedan sometidos a flexocompresión compuesta, actuando como pilares encima de los elementos verticales, con axiles máximos de 6.000kN, leyes bitriangulares de momentos, con valores entre -30kN·m y 50kN·m. Son de las piezas más desfavorables, pues se produce pandeo de las mismas. [Img. 36-39]

Elementos **diagonales**. Quedan sometidos principalmente a esfuerzo axil, con valores en torno a 4.000kN en los puntos más solicitados. También solicitadas a momentos, de valores máximos de 100kN·m. Serán más desfavorables aquellas diagonales comprimidas, que pueden sufrir pérdidas de resistencia debido al pandeo de las piezas. [Img. 36-39]

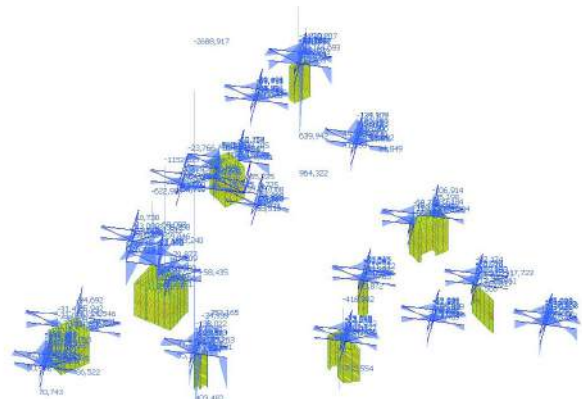
Cordón superior e inferior. Quedan sometidos a esfuerzos axiles mucho menores, de entre 100kN y 600kN, en comparación al resto de barras. Tienen leyes parabólicas de momentos en el eje z, con concentraciones de momentos negativos en los apoyos llegando a valores de entre 600kN·m y 3.000kN·m en los puntos más desfavorable. Los cordones quedan atados transversalmente por la presencia de los forjados, por lo que son piezas que no presentan problemas de pandeo lateral, existe un forjado que impide los movimientos transversales. [Img. 36-39]

6.3.3 C. CRUCES DE RIGIDIZACIÓN

En realidad estas piezas forman parte del emparrillado principal, aunque se han distinguido para enfatizar la función estructural específica que cumplen. Debido a las concentraciones importantes tanto de momentos como de axiles en los puntos de apoyo, que se han comentado en el apartado anterior, aparecen estos elementos. Su función es simplemente la de proporcionar, en estos puntos de mayor concentración de solicitaciones, más barras para que las solicitaciones que reciba cada barra sean menores. Se tratan de partes de la emparrillado de celosías que simplemente tienen una disposición en planta distinta, pero que cumplen con la misma función que la comentada en el apartado anterior.



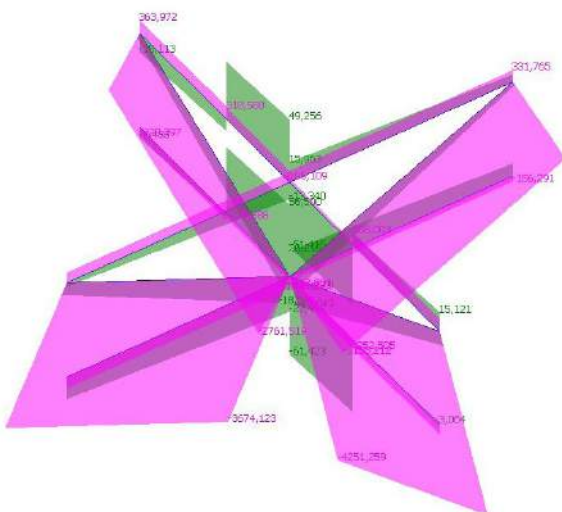
Img. 40: Cruces de rigidización. Solicitaciones ELU-03. Axiles.



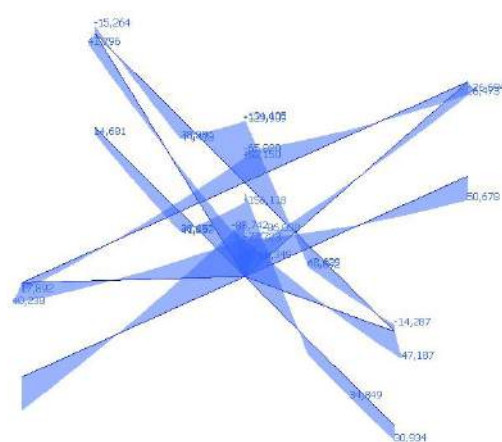
Img. 41: Cruces de rigidización. Solicitaciones ELU-03. Momentos M_z .

Como se puede observar, las concentraciones de axiles siguen siendo muy importantes en las barras diagonales, con valores de axiles en torno a 3.500kN - 4.000kN. [Img. 40] [Img. 42] Además, son casi en su totalidad axiles de tracción. Las diagonales además también están sometidas a esfuerzos de momentos flectores.

Los cordones superior e inferior trabajan bajo solicitación de axil mucho menor, en torno a valores de 300kN, y con solicitaciones de momento flector máximo de en torno a los -120kN en los vértices del apoyo. [Img. 40] [Img. 42]



Img. 42: Detalle cruz de rigidización. Solicitaciones ELU-03. Axiles y cortantes V_y .



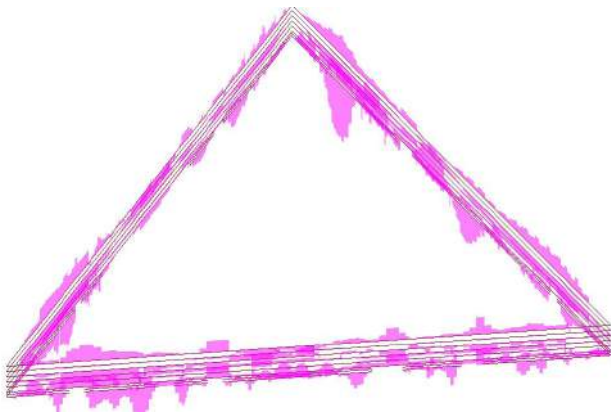
Img. 43: Detalle cruz de rigidización. Solicitaciones ELU-03. Momentos M_z .

6.3.4. D. VIGAS-FACHADA

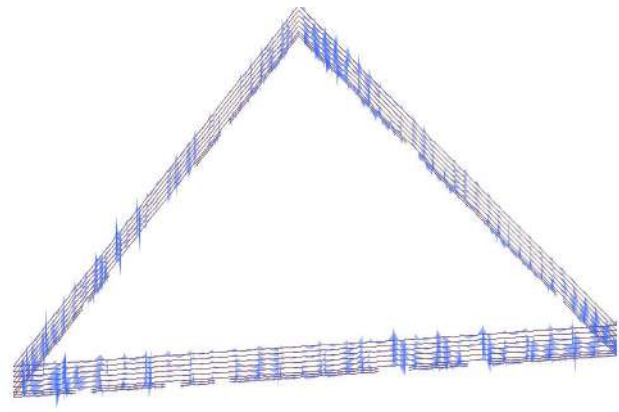
Las vigas son un elemento complejo, formadas por un entramado de barras verticales y horizontales. Principalmente su función es la de soportar su peso propio, y parte del peso propio del forjado de planta baja. Actúan como piezas colgadas, trabajando a tracción, desde la emparrillado de cerchas ortogonales principal, sirviendo de zuncho de perímetro para el forjado de planta baja.

6.3.4. D1. ELEMENTOS HORIZONTALES

Se trata de barras horizontales formadas por HEA200, que rodean todo el perímetro del edificio a distintas alturas. Su función es la de servir de perímetro de atado para los forjados y los dos emparrillados en aquellos puntos donde se encuentran. Trabajan principalmente a axil [Img. 44] y momento flector [Img. 45], produciéndose las concentraciones máximas en las esquinas del perímetro, donde los grandes voladizos provocan las máximas sollicitaciones y piezas.

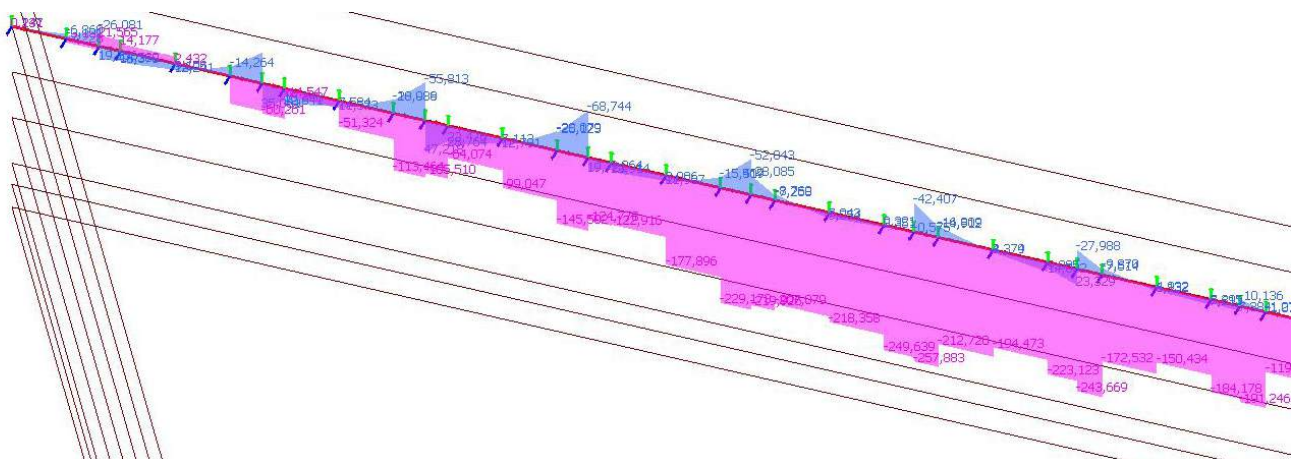


Img. 44: Elementos horizontales vigas-fachada. Sollicitaciones ELU-03. Axiles.

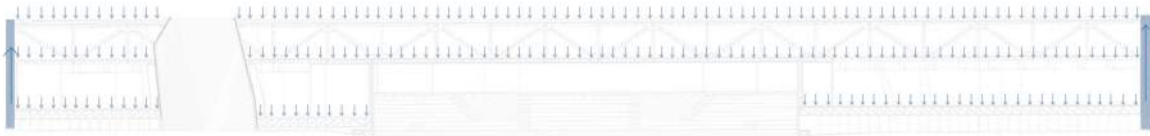


Img. 45: Elementos horizontales vigas-fachada. Sollicitaciones ELU-03. Momentos M_z .

Analizando de forma individual alguno de estos elementos vemos, por ejemplo, el punto de encuentro de una de estas piezas horizontales con la emparrillado de cerchas ortogonales principal. Se producen unos axiles de compresión con valores máximos en torno a los 200kN, y unas leyes de momentos complejas con valores positivos y negativos máximos en torno a los 50kN·m - 60kN·m. [Img. 46]



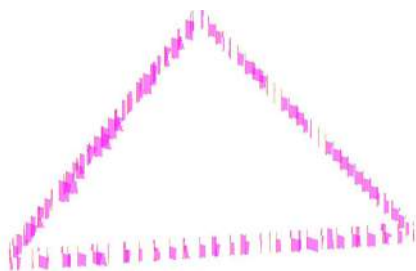
Img. 46: Elemento horizontal vigas-fachada.. Encuentro con emparrillado de celosías. Sollicitaciones ELU-03. Axiles y Momentos M_z .



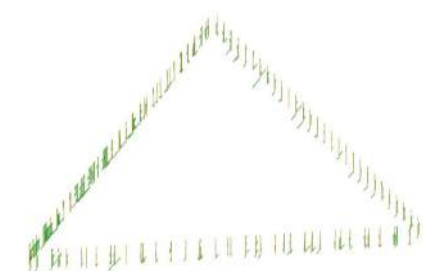
Img. 47: Esquema general funcionamiento estructural vigas-fachada.

6.3.4. D2. ELEMENTOS VERTICALES

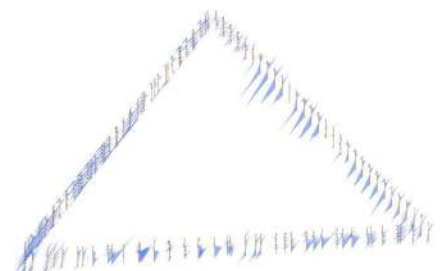
Los elementos verticales están colocados en aquellos puntos donde la emparrillado de celosías se encuentra con el perímetro de la viga. Modelizada como HEBs 300, la función de estos elementos es de atar los dos emparrillados en el perímetro de las mismas. Sirven como punto de apoyo para el forjado inferior y la Emparrillado de cerchas ortogonales secundario, trabajando a tracción y transmitiendo las cargas al emparrillado principal, de la que cuelgan. [Img. 48-50]



Img. 48: Elementos verticales vigas-fachada. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

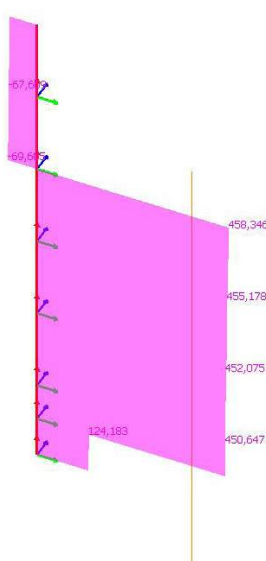


Img. 49: Elementos verticales vigas-fachada. Solicitaciones ELU-03. Cortantes Vz.

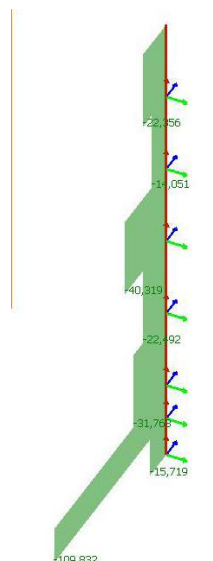


Img. 50: Elementos verticales vigas-fachada. Solicitaciones ELU-03. Momentos My.

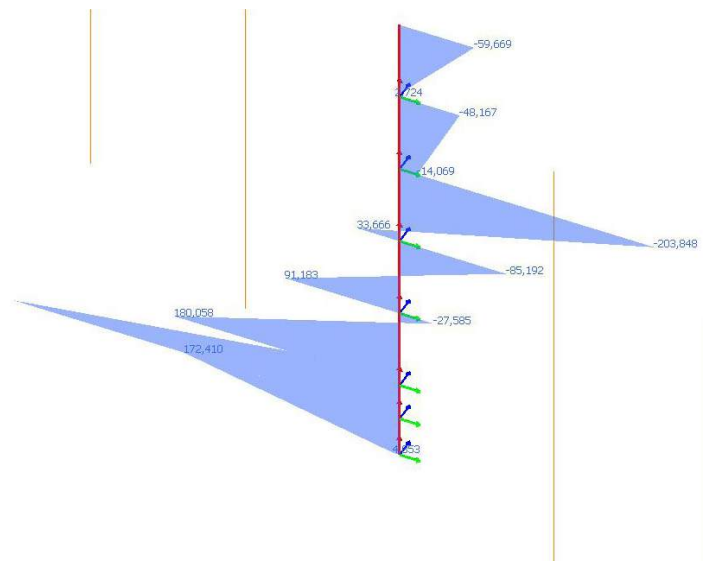
Observando en detalle una de las piezas, se observan distintas conclusiones. En primer lugar, que la ley de axiles se ajusta a la interpretación de estas piezas trabajando a tracción. El primer tramo funcionan a compresión (aún forman parte de la emparrillado de cerchas ortogonales principal) pero en el momento que desciende de este punto, la barra trabaja en toda su longitud a tracción, con valores máximos de 450kN. [Img. 51-52] Además, son piezas también solicitadas bajo momento flector, momentos que reciben tanto de los forjados y emparrillados, como de las piezas horizontales de la viga. [Img. 53]



Img. 51: Detalle elemento vertical viga-fachada. Solicitaciones ELU-03. Axiles.



Img. 52: Detalle elemento vertical viga-fachada. Solicitaciones ELU-03. Cortantes Vz.



Img. 53: Detalle elemento vertical viga-fachada. Solicitaciones ELU-03. Momentos My.

6.3.5. E. FORJADOS

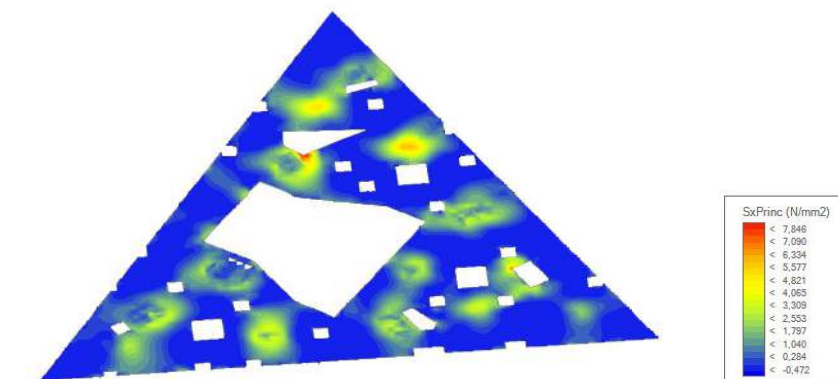
Para analizar el comportamiento estructural y las solicitaciones a las que están sometidos los distintos forjados del edificio, debemos recurrir a los elementos finitos. De nuevo, debemos observar las tensiones que se producen en los forjados, en este caso son forjados formados por una capa de 10cm de hormigón sobre chapa colaborante. Los forjados no son en este caso elementos estructurales de gran importancia para la estructura global, su función será transmitir las cargas verticales a los emparrillados. Los movimientos y tensiones de la emparrillado de celosías, provocarán una serie de solicitaciones dentro de los forjados. Serán con estas solicitaciones con las que se deberá comprobar que las tensiones de compresión que se producen puedan ser absorbidas por el propio hormigón (o mediante armaduras de compresión) y que las tensiones de tracción puedan ser absorbidas por la colocación de armadura de tracción.

6.3.5) FORJADO DE PLANTA BAJA. E1

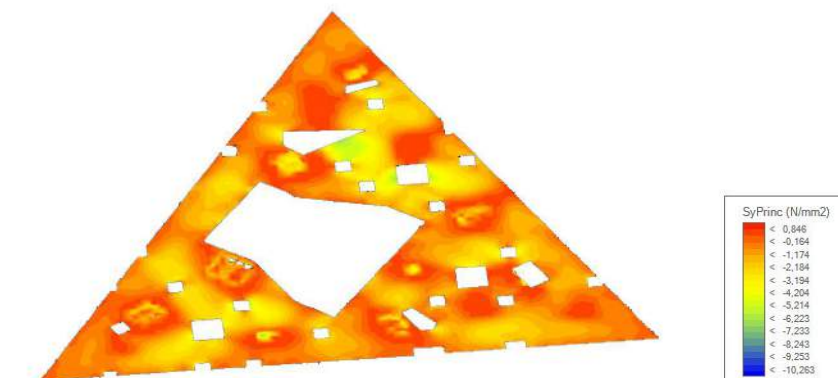
En primer lugar, observamos las tensiones S_x , tensiones principales de **tracción** [Img. 54] que señalan los puntos donde se producen

máximas concentraciones de tracción en la lámina que conforma el forjado. Se puede observar que la mayor parte del forjado de planta baja está bajo una tensión de tracción casi nula, con valores de en torno a $0,2 \text{ N/mm}^2$. Las concentraciones de tracción se producen en los puntos de contacto entre el forjado y los elementos de apoyo del mismo, los núcleos rígidos y los pilares. Es en estos puntos donde se producen concentraciones con valores entre 2 N/mm^2 y 5 N/mm^2 , con una concentración muy puntual de casi 8 N/mm^2 en el punto donde se produce máxima flecha, el hueco de acceso a la planta primera.

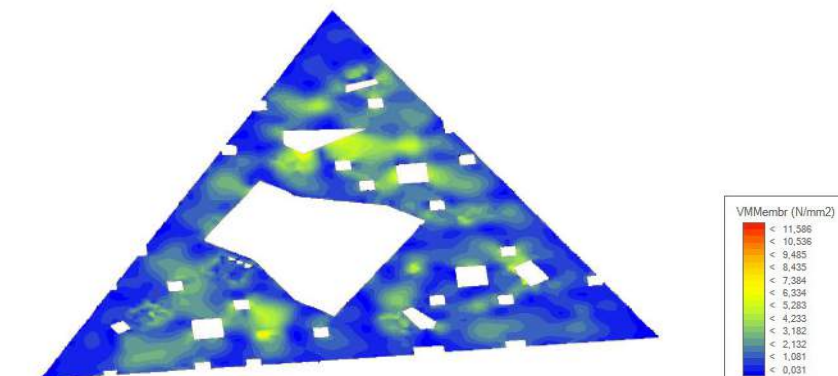
Las tensiones de **compresión**, S_y , [Img. 55] también presentan ciertos picos justo en los puntos de unión con los elementos verticales, pero la mayoría de compresiones se producen en los “centros de vano”, los puntos intermedios entre apoyos, con valores de en torno a 4 N/mm^2 de compresión, y picos en los puntos de mayor flecha, con valores de hasta 6 N/mm^2 .



Img. 54: Forjado E1. Solicitaciones ELU-03. Tensiones principales S_x .



Img. 55: Forjado E1. Solicitaciones ELU-03. Tensiones principales S_y



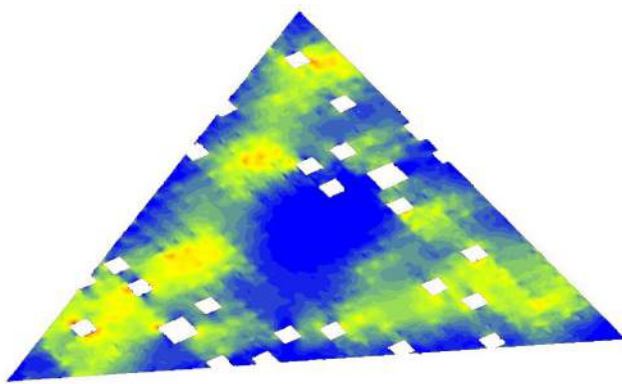
Img. 56: Forjado E1. Solicitaciones ELU-03. Tensión Von Mises.

Observando las tensiones von Mises, que se usará como criterio de rotura para el dimensionado de los elementos, se observa que la mayor parte de la lámina queda casi sin tensiones, se transmiten directamente a la cercha inferior. Tan solo se producen tensiones de en torno a 4N/mm^2 en puntos localizados.

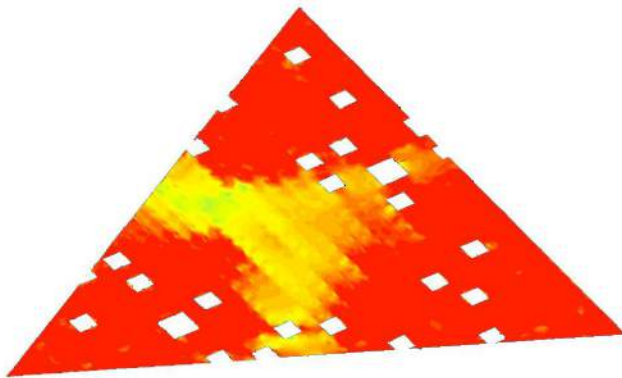
6.3.5) FORJADO DE CUBIERTA. E3

Ocurre algo similar con las solicitaciones del forjado de cubierta, aunque la diferencia radica en que este forjado cuenta con muchos menos huecos en su interior debidos a patios, o al paso del auditorio.

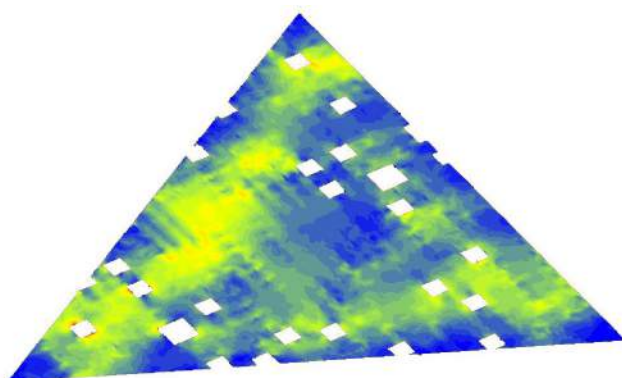
El forjado descansa sobre el emparrillado principal, estructura a la que deberá transmitir las cargas que recibe. Si observamos las tensiones principales de tracción, vemos de nuevo que la mayor parte del forjado queda sin solicitaciones de **tracción**, [Img. 57] y tan solo concentraciones en los puntos cercanos a los apoyos, con valores en torno a 7N/mm^2 , y puntos muy específicos que rozan los 14N/mm^2 .



Img. 57: Forjado E3. Solicitaciones ELU-03. Tensiones principales Sx.



Img. 58: Forjado E3. Solicitaciones ELU-03. Tensiones principales Sy.



Img. 59: Forjado E3. Solicitaciones ELU-03. Tensión Von Mises.

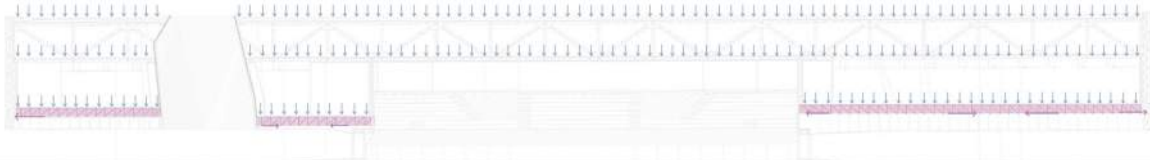
En cuanto a las **compresiones**, [Img. 58] la mayor parte del forjado vuelve a quedar casi sin cargas de compresión, tan solo produciéndose concentraciones de compresión en los puntos más alejados de los apoyos, en este caso la cubierta del auditorio, y la parte trasera del mismo. En estos puntos se producen unas tensiones de en torno a los 4N/mm^2 .

6.2.6. F. EMPARRILLADO DE CELOSÍAS ORTOGONALES SECUNDARIA

Como se ha comentado anteriormente, su función es análoga al emparrillado principal con una importante diferencia. Sigue siendo el elemento estructural encargado de

recibir las cargas del forjado que soporta, y transmitirlo a los puntos de apoyo. [Img. 60] Pero en este caso, por la propia materialización del elemento, a base de barras de muy poca sección, éstas trabajan casi exclusivamente a a axil, con nudos que se suponen articulados.

Si aislamos un tramo solo de este emparrillado, podemos obtener varias conclusiones. De nuevo, se comporta como una gran viga apoyada. Se producen unos momentos positivos máximos en los centros de vano, y unos momentos negativos máximos en los apoyos. Estos momentos se deben



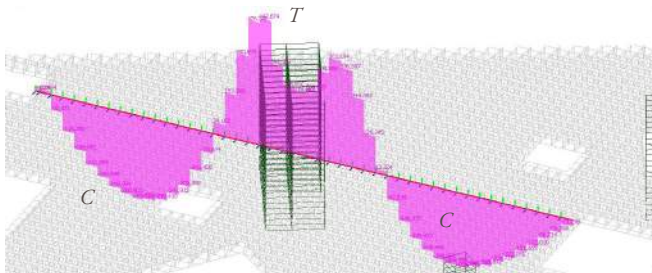
Img. 60: Esquema general funcionamiento estructural emparrillado de cerchas ortogonales secundario.

contrarrestar con un par de fuerzas que se generan en los cordones superior e inferior de la viga. Esto implica que los cordones quedarán comprimidos y traccionados bajo esfuerzo axil, para contrarrestar el momento sollicitación que las somete.

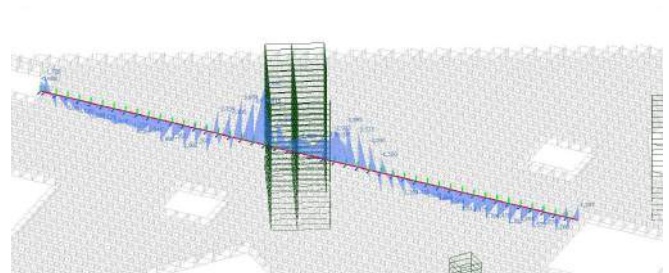
De esta forma se ve en los centro de vano, el cordón superior sometido a compresión (con valores máximos de 300kN [Img. 61]) y el cordón inferior sometido a tracción (valores máximos de 380kN [Img. 63]). Ocurre justo el proceso contrario en el apoyo, el cordón superior queda traccionado (440kN) y el cordón inferior comprimido (800kN). Como se ven en las leyes de momentos [Img. 62, 64.], las piezas están sometidos a momentos de muy poco valor (valores máximos de 8kN·m en la zona de los apoyos).

6.2.7. G. VIGAS-PARED AUDITORIO

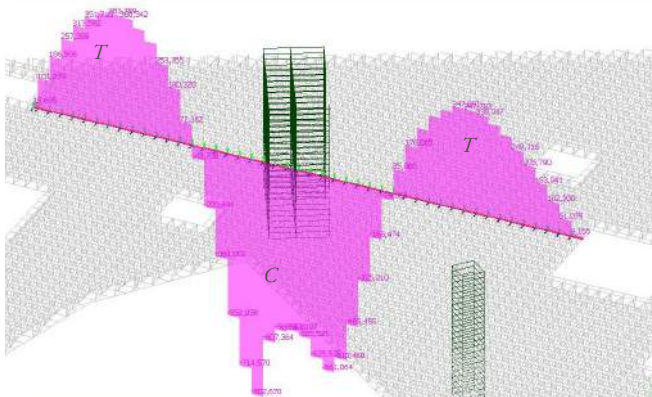
Estructuralmente actúan de forma similar a las vigas-fachada, ya que sirven de punto de apoyo



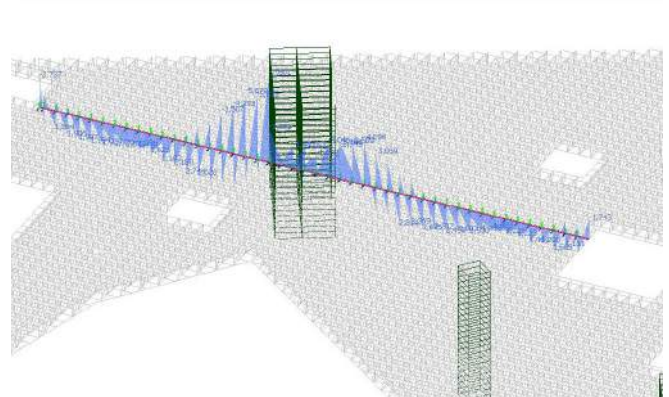
Img. 61: Emparrillado de cerchas ortogonales secundario. Cordón superior. Solicitaciones ELU-03. Axiles.



Img. 62: Emparrillado de cerchas ortogonales secundario. Cordón superior. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.



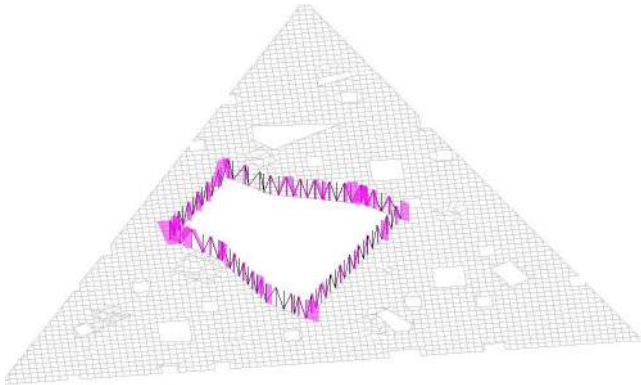
Img. 63: Emparrillado de cerchas ortogonales secundario. Cordón inferior. Solicitaciones ELU-03. Axiles.



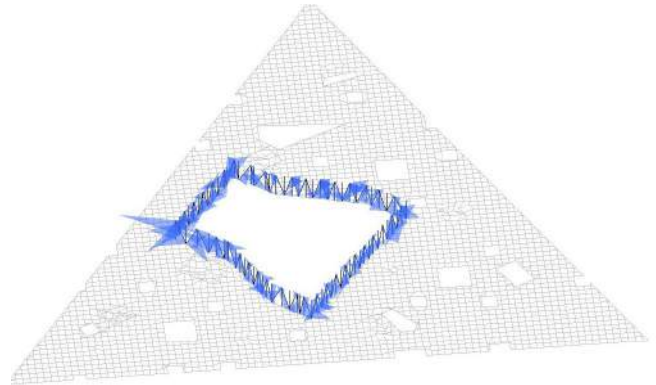
Img. 64: Emparrillado de cerchas ortogonales secundario. Cordón inferior. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

al perímetro del forjado de planta baja, trabajando a tracción y transmitiendo las cargas hasta la emparrillado de cerchas ortogonales principal.

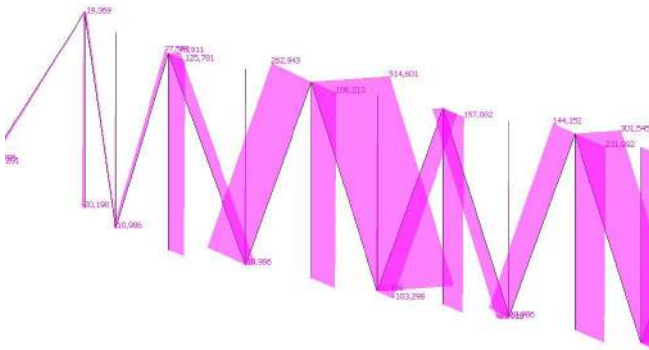
Como era de esperar, las piezas están sometidas principalmente a esfuerzo axial de tracción, siendo las diagonales las piezas más solicitadas, con valores máximos de axil de tracción de 515kN



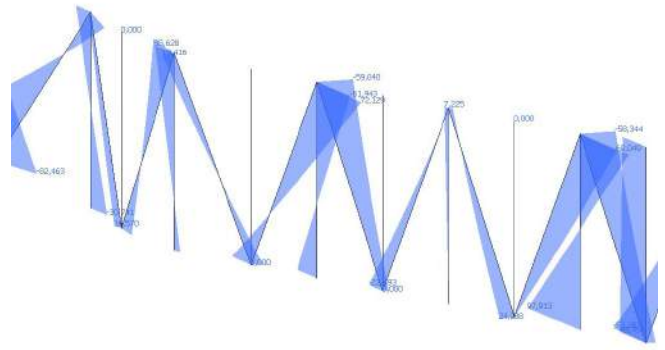
Img. 65: Vigas-pared auditorio. Solicitaciones ELU-03. Axiles.



Img. 66: Vigas-pared auditorio. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.



Img. 67: Detalle vigas-pared auditorio. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

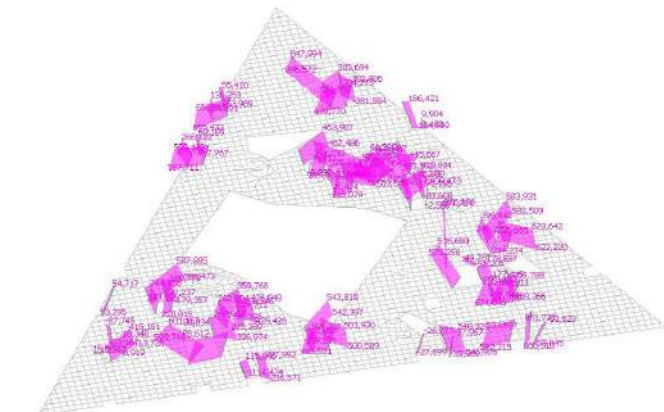


Img. 68: Detalle vigas-pared auditorio. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.

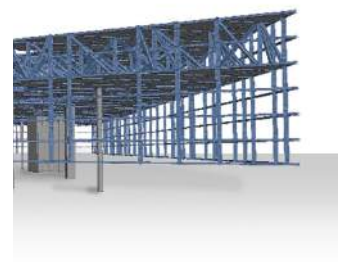
[Img. 65, 67]. También reciben parte de los momentos flectores del forjado inferior, transmitiéndolos a la emparrillado de celosías superior, por lo que están solicitados bajo momento flector. Están sometidos a leyes bitriangulares de momentos, con valores máximos de en torno a $50\text{kN}\cdot\text{m}$ - $70\text{kN}\cdot\text{m}$. [Img. 66,68] Por lo tanto, estas piezas se deberán dimensionar como barras a flexotracción. Los momentos M_y son casi despreciables.

6.2.8. G. PATIOS

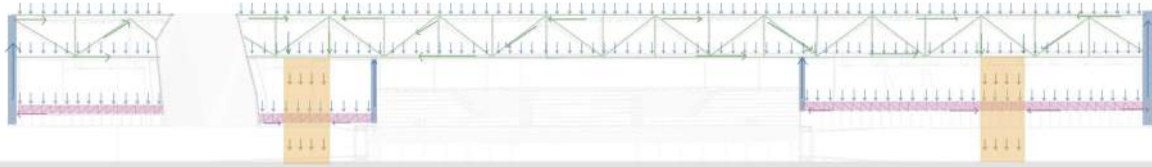
Los elementos verticales colocados en las esquinas de los patios, modelizados a través de HEB100 quedan solicitados a tracción, de nuevo con un comportamiento similar a las vigas-pared del auditorio. En este caso, con axiles máximos de en torno a los 600kN. [Img. 69]



Img. 69: Vigas-pared auditorio. Solicitaciones ELU-03. Axiles.



7_Conclusiones



Img. 5: Esquema general transmisión de cargas verticales.

7.1 Conclusiones

Recordando los **objetivos** originales, podemos dividirlos en dos grandes áreas: primero, el análisis estricto de la propia estructura, obteniendo resultados sobre el planteamiento global de la misma, así como de los elementos individuales; y segundo, la obtención de conclusiones, efectos y limitaciones que se pueden extrapolar a otros edificios que deban seguir un planteamiento estructural similar.

En primer lugar, el objetivo de conocer la **lógica** estructural subyacente del edificio. Los resultados obtenidos del modelo de cálculo muestran que la estructura sigue una lógica estructural coherente. El gran emparrillado principal actúa de estructura horizontal principal, apoyada sobre los elementos verticales, y con el resto de elementos secundarios colgando del emparrillado principal. El estudio de las solicitaciones al interior de los elementos, así como las deformadas generadas por estas solicitaciones son coherentes con este esquema de transmisión de cargas. De forma **global**, la estructura es coherente con el planteamiento estructural general.

Analizando de forma **individual** cada elemento, se han obtenido una serie de movimientos y solicitaciones al interior de cada uno. Aunque no puedan ser tomadas como valores absolutos, las flechas producidas pueden servir como una primera aproximación hacia las flechas posibles del edificio real. Estos movimientos, como se ha observado, quedarían dentro o justo en el límite que establece la norma, en torno a valores de $L/300$.

Sin embargo, es importante ser consciente del hecho de que, aún siendo admisibles, se trata de **flechas** de valores absolutos muy altos. Las grandes luces entre apoyos producen unos valores admisibles que siguen siendo muy altos, con flechas en torno a los 15cm. Esto tiene un enorme impacto en el proceso constructivo de la obra, y conlleva un cuidado especial a la hora de prever los posibles movimientos de elementos constructivos. Se deberán tener en cuenta estas flechas a la hora del diseño de elementos del interior: las carpinterías, despieces interiores, pavimentos, tabiquería... Un estudio más exhaustivo debería considerar en qué momentos se producen estas flechas para conocer el efecto real sobre el resto de elementos constructivos.

Por otro lado, se obtienen una serie de conclusiones a partir de las **solicitaciones** observadas en los resultados del modelo. Aunque puedan servir como punto de partida, las solicitaciones obtenidas son simplemente una aproximación. Los resultados obtenidos han sido especialmente útiles para conocer la forma de trabajo de cada uno de los elementos, y las relaciones entre los mismos. También valdrían como primera aproximación para conocer si los elementos están correctamente dimensionados, o si se produciría agotamiento por tensiones excesivas.

Pero para conocer con exactitud las solicitaciones al interior de las piezas, se debería llevar a cabo un estudio más exhaustivo y un modelo mucho más preciso. Sobre todo, habría que tener en cuenta en detalle los **encuentros** entre los distintos elementos de la estructura. Un apartado específico a tener muy en cuenta sería la unión entre los núcleos rígidos y el emparrillado principal, puntos

donde se producen concentraciones de tensiones con valores muy altos. En estos puntos, se deberá asegurar que las solicitaciones no producen agotamiento de las piezas, debiendo prever posibles refuerzos en algunas de las piezas con solicitaciones más conflictivas.

El edificio usa en su conjunto, una multitud de soluciones tecnológicas y constructivas mediante la combinación de acero y hormigón, para resolver el problema principal de las grandes luces. Uno de los aciertos que producen un edificio estructuralmente coherente es la correcta elección de los materiales necesarios para cada elemento.

Los elementos traccionados y flectados se proyectan con soluciones de **acero**. El emparrillado principal, por ejemplo, proyectado con una solución de acero, y con piezas que trabajan principalmente a flexión. El emparrillado es especialmente adecuado para cubrir grandes luces, pues produce una estructura de peso propio mucho menor que soluciones convencionales de hormigón armado. Como se ha observado en el análisis, el peso propio es la carga que mayor efecto tiene sobre la estructura, por lo que las soluciones con menores pesos propios producirán menores solicitaciones y desplazamientos. La elección del acero además permite, hasta cierto punto, que gran parte de las uniones se puedan realizar en taller, produciendo una obra mucho más prefabricada. Las uniones en seco, la relativa facilidad de montaje y la rapidez de puesta en obra son algunas ventajas de la elección del acero.

Por otro lado, el uso del **hormigón** se relega a los elementos que trabajan principalmente a compresión: los núcleos rígidos de hormigón y los pilares. Estos elementos trabajan con axiles de compresión altísimos, pero también en ellos se producen unos picos tensionales muy importantes, con solicitaciones muy concentradas y de valores muy altos. Intentar plantear este tipo de elementos de acero, por ejemplo, provocaría problemas graves de pandeo, cargas localizadas, alabeos, concentraciones de tensiones... que serían contraproductivas.

Por todo ello, se puede concluir que el trabajo ha arrojado luz sobre el conocimiento estructural del edificio, poniendo en evidencia su claro comportamiento estructural, y los posibles problemas que se pueden derivar del mismo.

A continuación, se intentarán obtener una serie de conclusiones que se puedan extrapolar a otro tipo de edificios que deban cubrir grandes luces con soluciones similares. Se deberán conocer las **limitaciones** y efectos que tiene una estructura de este tipo sobre el proceso de diseño arquitectónico del edificio.

En primer lugar, y como aspecto más importante, es importante tener muy claro el **esquema** de transmisión de cargas del edificio. Ser conscientes del esquema estructural a adoptar, y que éste sea lo más lógico posible.

Entre otras conclusiones, es necesario ser consciente de las grandes **dimensiones** de los elementos estructurales, tanto los verticales, como los horizontales, que ocupa una estructura de este tipo. En este caso, un emparrillado principal de 4m de altura que deja una planta inutilizada, un emparrillado secundario de 1m de altura, unos elementos verticales de hasta 10mx4m para los núcleos de mayor tamaño... Conocer todo esto limita en gran medida el proyecto, y debe ser tenido en cuenta desde un planteamiento inicial del mismo.

También es importante tener en cuenta que este tipo de soluciones, con una gran extensión horizontal y muy pocos elementos verticales, produce unas **concentraciones** altísimas de tensiones cerca de estos puntos, y el diseño deberá prever cómo afrontar estas concentraciones.

Un aspecto que ya se ha destacado, ser consciente de las grandes **flechas** que se producen, aún estando dentro de los valores permitidos por la norma, con todas las implicaciones constructivas que ello conlleva.

Además, todo ello, de una elevada **dificultad** de ejecución y puesta en obra, como resultado de las altas sollicitaciones producidas.

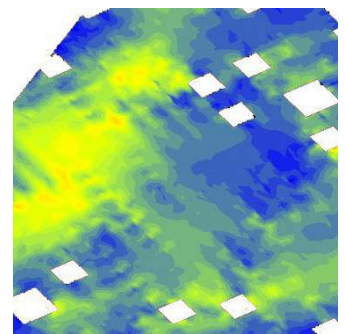
La labor del arquitecto consistirá en producir un edificio de calidad arquitectónica teniendo en cuenta estas limitaciones, e integrando la estructura dentro de el proyecto arquitectónico de forma armoniosa.

El Edificio Fórum nos muestra una de las muchas **posibilidades** para cubrir grandes luces, no la única. Pero el análisis estructural que se ha realizado, más allá de conocer con exactitud si los elementos estructurales han sido correctamente dimensionados, o si las flechas producidas son admisibles, nos sirve para conocer el comportamiento global del mismo, y poder utilizar esta comprensión para plantear esquemas estructurales de cualquier tipo para cubrir grandes luces de forma similar. Es importante ser conscientes también, de que se trata de soluciones estructurales únicamente válidas para edificios emblemáticos, de gran tamaño y dimensión.

Por último, se plantean una serie de posturas **críticas** hacia el edificio. En primer lugar, se pone en duda la necesidad brutal de establecer unas luces tan grandes. Parece al final que el diseño arquitectónico y urbano es el que predomina, por encima de la racionalidad estructural. Pero ¿son las ventajas arquitectónicas y para la ciudad mayores que los inconvenientes que puede generar un edificio de estas características? Es algo muy difícil de cuantificar, pero es algo que se debe plantear cuando uno se enfrenta a un edificio de esta clase.

En segundo lugar, asumiendo que se deben establecer unas luces entre apoyos tan grandes, ¿es ésta la solución más **eficiente**? No se puede saber con exactitud una respuesta, quizá una solución con mayor uso del hormigón podría producir menores sollicitaciones, o menores flechas, pero también podría producir mayores complejidades en la puesta en obra. Quizá una pequeña reducción de las luces entre apoyos, o un aumento del número de apoyos produce una solución mucho más eficaz y durable a largo plazo. Son simples conjeturas, que este trabajo no persigue responder, simplemente busca plantear estas preguntas, siendo conscientes de que son preguntas que el arquitecto o ingeniero deberá hacerse a lo largo del proceso de diseño.

Como conclusión final, aunque no se sabe con absoluta certeza si la solución escogida es la más eficaz, económica o racional, es una solución coherente con su propio planteamiento. Se utilizan con lógica estructural los materiales y elementos estructurales, se escogen soluciones globales coherentes, y todo ello logra integrarse de forma adecuada con el proyecto arquitectónico en su conjunto.



8_Bibliografía

LIBROS Y REVISTAS

1. FERNÁNDEZ GALIANO, L. (Ed.) *Barcelona 2004. De la trama al tótem: urbanidad y espectáculo*. Madrid, Arquitectura Viva n84; 2002. pp36-39
2. FERNÁNDEZ GALIANO, L. (Ed.) *Fórum de Barcelona. Entre la ciudad acontecimiento y el paisaje sostenible*. Madrid, Arquitectura Viva n94-95; 2004. pp54-69
3. FERNÁNDEZ GALIANO, L. (Ed.) *Arquitectura viva. Herzog & de Meuron 1978-2007*. Madrid, Arquitectura Viva n114; 2007.
4. FERNÁNDEZ GALIANO, L. (Ed.) *Arquitectura viva. Herzog & de Meuron 2005-2013*. Madrid, Arquitectura Viva n157-158; 2013.
5. GRACIA, J. RÓDENAS DE MOYA, D. *Más es Más. Sociedad y cultura en la España democrática*. Madrid: Iberoamericana, 2009. p50-53
6. HERZOG, J; MEYHÖFER, D. *Im Gespräch: Jacques Herzog und Dirk Meyhöfer. Una conversación : Jacques Herzog y Dirk Meyhöfer*. Gütersloh, Bauverlag BV GmbH, 2004.
7. MACK, G. *Herzog & De Meuron 1997-2001. Das gesamtwerk=the Complete Works. Volume 4*. Basel/Boston/Berlin, Birkhäuser. 2008. pp306-323
8. MÁRQUEZ CECICILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 1993-1997*. Vol. No. 84. Madrid, El Croquis, 1997.
9. MÁRQUEZ CECICILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 1998-2002. La Naturaleza del Artificio. The Nature of Artifice*. Vol. No. 109/110. Madrid, El Croquis, 2002. pp236-271
10. MÁRQUEZ CECICILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2002-2006. Monumento e Intimidad. The Monumental and the Intimate*. Vol. No. 129/130. Madrid, El Croquis, 2006.
11. MÁRQUEZ CECICILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape*. Vol. No. 152/153. Madrid, El Croquis, 2010.
12. MOORE, R. *Herzog & De Meuron*. Londres. The Architectural Review, Vol.227. 2010
13. POLI, M; ZARDINI, M. *Domus. Rivista mensile di Architettura, Design, Arte e Informazione*. Vol. No. 866. Milan, Domus S.p.A. 2004. pp26-47
14. SCOTT, K. *Herzog & De Meuron*. Quebec, Parachute: Contemporary Art Magazine. Issue 111. 2003
15. YOSHIDA, N (Ed.); HERZOG, J; DE MEURON, P. *Architecture and Urbanism. Herzog & De Meuron. 2002-2006*. Tokyo, A+U Publishing Co. Ltd, 2006
16. VV.AA. *Edificio Fórum de Barcelona*. Bruselas, Euro-inox. 2005.
17. VV.AA. *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico - Seguridad Estructural*. Ma-

drid. Ministerio de Fomento, Gobierno de España, abril 2009.

18. VV.AA. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico - Seguridad Estructural- Acciones en la Edificación. Madrid. Ministerio de Fomento, Gobierno de España, abril 2009.

ARTÍCULOS DE PERIÓDICO.

1. ANTÓN, J. «*La ballena hace las maletas*». El País, 10 de diciembre de 2009
2. BENVENUTY, L. «*Río nuevo*». La Vanguardia, 19 de julio de 2003
3. CIA, B. «*Barcelona cierra el restaurante del Fórum tras gastar en él tres millones*». El País, 16 de septiembre de 2009.
4. FANCELLI, A. «*Edificio Fórum tripartito*». El País, 2 de abril de 2007.
5. GARCÍA HERRERA, A. «*Barcelona 2004, las formas del Foro*». El País, 8 de junio de 2002
6. MONTANER, J.M. «*La herencia del Fórum*». El País, 20 de enero de 2011
7. MONTANER, J.M. «*Fórum 2004, un aniversario sin celebración*». El País, 8 de mayo de 2014
8. MONTAÑÉS, J.A. «*Viaje al planeta Tierra*» El País, 28 de marzo de 2011
9. SERRA, C. *Entrevista: Ferran Mascarell*. El País, 28 de marzo de 2008.
10. PEIRON, F. «*La segunda plaza del mundo*» La Vanguardia, 31 de julio de 2003
11. PEIRON, F. «*La segunda plaza del mundo*» La Vanguardia, 23 de mayo de 2004
12. VV.AA. «*What will Barcelona 2004 be like?*» La Vanguardia, 14 de marzo de 2002
13. VV.AA. «*L'edifici Fòrum obre les portes com a Museu Blau*». Ara, 12 de julio 2004
14. ZABALBEASCOA, A. «*Entrevista: Jacques Herzog*». El País, 2 de mayo de 2010

PÁGINAS WEB.

1. «190. Forum 2004 Building and plaza.» Herzog & de Meuron. Projects. <https://www.herzogdemeuron.com/index/projects/complete-works/176-200/190-forum-2004-building-and-plaza.html>
2. «190. Forum 2004 Building and plaza.» Herzog & de Meuron. Projects. <https://www.herzogdemeuron.com/index/projects/complete-works/176-200/190-2-museu-blau-barcelona.html>
3. El Museu Blau. Museu de ciències naturals de Barcelona. <http://museuciencies.cat/es/visitanos/museu-blau/>
4. «Edificio Forum – Art & Culture | Barcelona.unlike.» Barcelona.unlike. Web. 22 Sept. 2010. <http://barcelona.unlike.net/locations/301404-Edificio-Forum>
5. «Renovación Urbanística del Frente Litoral Besòs-Fòrum 2004 (Barcelona, España)» Ciu-

- dades para un Futuro más Sostenible. Web. 12 julio 2004. <http://habitat.aq.upm.es/bpes/onu04/bp1206.html>
6. “L'edifici Fòrum obre les portes com a Museu Blau”. Ara.cat. Barcelona. 27 marzo 2011. http://www.ara.cat/cultura/Museu_Blau_0_451755079.html
 7. “Edificio Fórum.” Herzog & de Meuron. <http://www.artehistoria.jcyl.es/ciudades/monumentos/2863.htm>>
 8. “Fórum de las Culturas Barcelona.” 13 abril 2015. http://es.wikiarquitectura.com/index.php/Forum_de_las_Culturas_Barcelona
 9. “Edificio Fórum de Barcelona.” Catálogo Euro-Inox. http://www.euro-inox.org/pdf/case/forumbarcelona/Forum_Barcelona_SP.pdf
 10. “Barcelona Forum : Architecture.” e-Architect. 30 enero 2015. <http://www.e-architect.co.uk/barcelona/forum-building>
 11. “Edificio Fórum.” Historia y descripción. <https://edificioforum.wordpress.com/descripcion/historia/>

PROGRAMA DE CÁLCULO

Architrave Versión 2015 Académica (v1.1).
<http://www.architrave.es/index.php>

Autores:

Grupo de Investigación en Grid y Computación de Altas Prestaciones (GRyCAP)

HERNÁNDEZ GARCÍA, Vicente.

ALONSO ÁBALOS, José Miguel.

CAMPOS BERGA, Francisco Javier.

LOZANO LLORET, Pau.

DE LA FUENTE ARAGÓN, Pedro.

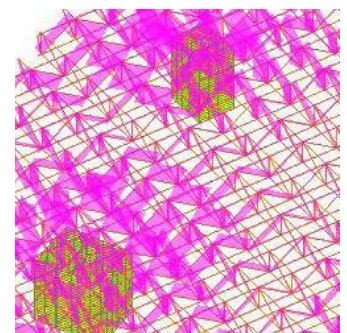
Grupo de Investigación CiD

PÉREZ GARCÍA, Agustín. Doctor Arquitecto.

ALONSO DURÁ, Adolfo. Doctor Arquitecto.

GUARDIOLA VÍLLORA, Arianna. Doctor Arquitecto.

GÓMEZ MARTÍNEZ, Fernando. Arquitecto.



9_Referencias de imágenes

9.0 Portada

Img. portada: Edificio Fórum

<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/57/94/e3/5794e390422492a186328d94cbcb5020.jpg>

9.1. Introducción

Img. 0: Edificio Fórum. Esquina noreste.

https://farm5.staticflickr.com/4051/4230281733_34fbe79883_z.jpg

9.2. Herzog & de Meuron

Img. 0: Jacques Herzog & Pierre de Meuron.

http://www.architravel.com/architravel_wp/wp-content/uploads/2013/04/Herzog-de-Meuron1.jpg

Img. 1: Casa azul en Oberwil, Suiza (1980)

http://mimoa.eu/images/19735_l.jpg

Img. 2: Casa de piedra en Tavole, Italia (1988)

http://living.corriere.it/ImgoPT/gallery/TendenzelArchitettura/2009/01/29/ville/img/03_b_ville.jpg

Img. 3: Almacén para la fábrica de Ricola, Laufen, Suiza (1987)

<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/48/f1/86/f186abdeaa8b33404a63233dc106.jpg>

Img. 4: Edificio para la colección Goetz, Múnich, Alemania (1992)

<https://classconnection.s3.amazonaws.com/48/flashcards/264048/jpg/11304877908983.jpg>

Img. 5: Bodegas Dominus, en Yountville, California (1998)

https://lamanufacturena.com/wp-content/uploads/2013/04/Napa_Valley_Dominus_Winery.jpg

Img 6: Edificio Prada Aoyama en Tokyo, Japón (2003)

https://c1.staticflickr.com/9/8144/7522601992_cd231baf6d_b.jpg

Img. 7: Nueva Biblioteca Para el BTU Cottbus, Alemania (2005)

http://pds.exblog.jp/pds/1/200710/31/51/d0079151_19574473.jpg

Img. 8: VitraHaus, en Weil am Rhein, Alemania (2010)

<http://www.designboom.com/cms/images/andrea05/vbe13.jpg>

Img. 9: Allianz Arena, en Múnich, Alemania (2005)

<https://sportlockerdotcom.files.wordpress.com/2012/04/allianz-arena-chelsea-colours-1.jpg>

Img. 10: Estadio principal para los JJ.OO. de 2008 en Beijing, China (2008)

<https://spartanandhannah.files.wordpress.com/2010/12/birds-nest-beijing.jpg>

Img. 11: Edificio Caixa Fórum, Madrid (2005)

<http://www.kalam.es/img/actividad/edificios-singulares/caixa-forum/1.jpg>

Img 12: Edificio Fórum, Barcelona (2004)

<http://81.47.175.201/project-protocol/images/Forum21.jpg>

Img. 13: Espacio de las Artes de Tenerife (TEA) (2007)

http://s3.amazonaws.com/europaconcorsi/project_images/1363757/022_5509_-446_large.jpg

Img. 14: Museo de Young, en San Francisco, EE.UU. (2005)

http://sfravelcoupons.com/wp-content/uploads/2014/12/DSC_0104.jpg

Img. 15: Tate Modern Gallery, Londres, Reino Unido (2000)

<http://www.artfund.org/assets/what-to-see/museums-and-galleries/tate-modern/TateMoern1536LS.jpg>

Img. 16: Proyecto de ampliación Tate Modern, Londres, Reino Unido (2012)

<http://images.tate.org.uk/sites/default/files/styles/grid-normal-8-cols/public/images/image/tate-modern-project-concept-view-new-building-tate-modern-south.jpg>

Img. 17: Museo de Arte Parrish, en Water Mill, Nueva York, USA (2012)

<http://ad009cdnb.archdaily.net/wp-content/uploads/2012/11/1353106576-121010-parrish-museum-shoot-2-0247-528x351.jpg>

Img. 18: Hall de la Messe Basel, Basilea, Suiza (2013)

http://c1038.r38.cf3.rackcdn.com/group5/building44977/media/nfce_213_cp_130210_1069_ib_w.jpg

Img. 19: la Elbpharmonie, en Hamburgo (2003)

<http://oi33.tinypic.com/2v9el9u.jpg>

Img. 20: 1111 Lincoln Road, Florida, EE.UU. (2010)

<http://ad009cdnb.archdaily.net/wp-content/uploads/2010/05/1273189727-herzog-meuron-1111lincoln-road-00-528x349.jpg>

Img. 21: Nueva sede para el BBVA, Madrid, España (2008)

<http://www.fmarquitectos.com/images/proyectos/592/01.jpg>

Img. 22: Pabellón para la Serpentine Gallery, en Londres, Reino Unido (2012)

<http://www2.pictures.zimbio.com/gli/Press+Preview+Serpentine+Gallery+Pavilion+2Yhbr/DJOrfl.jpg>

9.3. Proyecto arquitectónico

Img. 0: Edificio Fórum. Fachada norte.

http://farm8.static.flickr.com/7129/7568208494_e34451f6d1.jpg

Img. 1: Esquema de intervención urbana del conjunto.

Herzog & de Meuron (Equipo, de arquitectos. Herzog & De Meuron): 1998-2002 : *La Naturaleza Del Artificio = the Nature of Artifice*. Madrid: Madrid : El Croquis 109/110, 2002. p. 223

Img. 2: Esquema de intervención urbana del conjunto sobre plano de estado actual

Herzog & de Meuron (Equipo, de arquitectos. Herzog & De Meuron): 1998-2002 : *La Naturaleza Del Artificio = the Nature of Artifice*. Madrid: Madrid : El Croquis 109/110, 2002. p. 222

Img. 3: Vista aérea de estado actual del conjunto.

<http://81.47.175.201/project-protocol/images/Forum21.jpg>

Img. 4: Vista aérea. Final de la diagonal y conexión con el mar.

<http://www.google.com/url?sa=i&vrt=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0CAQQjBw&url=http%3A%2F%2Fwww.elconsorci.net%2Ffiles%2F2003&ei=bBQP-VdiHF8L4UtrOJgYgP&bvum=bu.90491159,d.d24&psig=AFQjCNH1kIEJ5RMp9cxAbU85v5ieCeAsDQ&ust=1428841944373518>

Img. 5: Parque del Fórum. Proyecto de Alejandro Zaera Polo. (2004)

<http://assets.primaverasound.com/psb/images/info/comoLlegar.jpg>

Img. 6: Imgopiano aéreo. Estado actual conjunto. Edificio Fórum.

<https://www.google.es/maps/place/Auditori+Forum/@41.411255,2.221594,681m/data=!3m2!1e3!5s0x12a4a357a05bdf4b:0xfa1811e5c45172dc!4m2!3m1!1s0x12a4a350d03b1ee7:0xca4dcb847050d7f6m1!1e1>

Img. 7: Centro de Convenciones Internacional de Barcelona. Josep Lluís Mateo, 2002

<https://m1.behance.net/rendition/modules/94185631/hd/9424373f4c5479071ae68e0bc63ef168.jpg>

Img. 8: Torre Diagonal Cero-Cero (2011)

http://esphoto980x880.mnstatic.com/torre-telefonica-diagonal-zerozero_2714361.jpg

Img. 9: Hotel Princess, Oscar Tusquets (2004)

http://www.e-architect.co.uk/images/jpgs/barcelonaforum_hotel_princess.jpg

Img.10: Esquema de intervención urbana del conjunto. Ejes principales.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis*. Herzog & de Meuron 2002-2006. *Monumento e Intimidad. The Monumental and the Intimate*. Vol. No. 129/130. Madrid, El Croquis, 2006. pp. 226-232

Img.11: Plano esquema de usos Explanada del Fórum

Euro Inox. 2005. *Catálogo Edificio Fórum Barcelona*. p.1

http://www.euro-inox.org/pdf/caselforumbarcelonal/Forum_Barcelona_SP.pdf

Img. 12: Vista aérea Edificio Fórum y entorno cercano.

<http://classes.uleth.ca/200603/mmed2005a/10/forum2.jpg>

Img. 13: Maqueta proyecto original.

<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/c2/49/d1/c249d1b2f293d14266577ea27d312d9a.jpg>

Img. 14: Edificio Fórum. Fachada norte.

http://farm8.static.flickr.com/7129/7568208494_e34451f6d1.jpg

Img. 15: Edificio Fórum. Esquina este.

<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/57/94/e3/5794e390422492a186328d94cbb5020.jpg>

Img. 16: Edificio Fórum. Esquina noroeste.

<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/57/94/e3/5794e390422492a186328d94cbb5020.jpg>

Img. 17: Esquema en maqueta.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis*. Herzog & de Meuron 2002-2006. *Monumento e Intimidad. The Monumental and the Intimate*. Vol. No. 129/130. Madrid, El Croquis, 2006. pp. 226-232

Img.18: Planta sótano.

Euro Inox. 2005. *Catálogo Edificio Fórum Barcelona*. p.3

http://www.euro-inox.org/pdf/caselforumbarcelona/Forum_Barcelona_SP.pdf

Img. 9: Planta baja.

Euro Inox. 2005. Catálogo Edificio Fórum Barcelona. p.3

http://www.euro-inox.org/pdf/caselforumbarcelona/Forum_Barcelona_SP.pdf

Img.20: Planta principal.

Euro Inox. 2005. Catálogo Edificio Fórum Barcelona. p.3

http://www.euro-inox.org/pdf/caselforumbarcelona/Forum_Barcelona_SP.pdf

Img.21: Planta cubiertas.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2002-2006. Monumento e Intimidad. The Monumental and the Intimate. Vol. No. 129/130. Madrid, El Croquis, 2006. pp. 226-232*

Img.22: Alzado sureste. Ronda Litoral

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape. Vol. No. 152/153. Madrid, El Croquis, 2010. pp.180-215*

Img.23. Alzado suroeste. Rambla Prim.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape. Vol. No. 152/153. Madrid, El Croquis, 2010. pp.180-215*

Img.24. Sección longitudinal por auditorio.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape. Vol. No. 152/153. Madrid, El Croquis, 2010. pp.180-215*

Img.25. Sección transversal por auditorio.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape. Vol. No. 152/153. Madrid, El Croquis, 2010. pp.180-215*

Img. 26: Detalle encuentro fachada y hueco

<https://www.pinterest.com/pin/400468591837506578/>

Img. 27: Detalle fachada.

Fotografía propia del autor. Octubre 2013.

Img 28. Detalle fachada. Acabado de cemento gunitado.

Fotografía propia del autor. Octubre 2013.

Img. 29: Detalle patio acristalado.

Fotografía propia del autor. Octubre 2013.

Img. 30: Detalle patio opaco con rasgaduras

<http://www.aquidos.cat/www/wp-content/uploads/2012/02/FORUM041.jpg>

Img. 31: Detalle patio de acero inoxidable reflectante.

Fotografía propia del autor. Octubre 2013.

Img. 32: Falso techo de paneles de acero inoxidable.

<http://designenaction.gatech.edu/wp-content/uploads/2011/04/forum-3.jpg>

Img. 33: Patrón estampado en los paneles de falso techo.

Euro Inox. 2005. Catálogo Edificio Fórum Barcelona. p.8-10

http://www.euro-inox.org/pdf/caselforumbarcelona/Forum_Barcelona_SP.pdf

Img. 34: Detalle encuentro continuo falso techo de acero y revestimiento de fachada.

Euro Inox. 2005. Catálogo Edificio Fórum Barcelona. p.8-10

http://www.euro-inox.org/pdf/caselforumbarcelona/Forum_Barcelona_SP.pdf

Img. 35. Auditorio. Vista desde la parte superior.

<http://www.ccib.es/uploads/s/SympalBossMediaPlugin/image/1dc456f02ea738c72d5d8a6b40836f3ea96d43a5.jpg>

Img. 36. Auditorio. Vista desde el escenario.

<http://poltronafrauseum.com/img/contract/18-pop.jpg>

Img. 37. Auditorio. Vista del techo e iluminación.

http://farm3.static.flickr.com/2084/2513539756_7a768de44c.jpg

Img. 38. Detalle nuevo cartel. Esquina noroeste.

Fotografía propia del autor. Octubre 2013.

Img. 39. Detalle nuevo cartel. Esquina noroeste.

<http://irbarcelona.com/wp-content/uploads/2013/06/museu-blau-704x300.jpg>

Img. 40: Remodelación interior. Detalle vitrinas.

http://www.detail.de/inspiration/sites/inspiration_detail_de/uploads/imagesResized/projects/560_20130131095945f516a8caefab6c26bca77964d111f107796d9424.jpg

Img. 41: Detalle vitrinas expositivas

http://www.detail.de/inspiration/sites/inspiration_detail_de/uploads/images/projects/20130131095959794ce5186f09f70eef38cbcb28c9643642fb26ac.jpg?780

Img. 42. Detalle vitrinas expositivas e iluminación del museo.

http://agenda.museuciencies.cat/imagenes/f_museuciencies170.jpg

9.4. Estructura y construcción

Img. 0. Detalle encuentro patio y fachada

<https://www.pinterest.com/pin/400468591837506578/>

Imágenes obtenidas de:

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape.* Vol. No. 152/153. Madrid, *El Croquis*, 2010. pp.180-215

con tratamiento posterior por parte del autor:

Img. 1: Sección constructiva fachada.

Img. 2: Planta de estructura y planta de techos de planta principal.

Img. 3: Sección longitudinal por auditorio.

Img. 4: Sección transversal por auditorio.

Img. 5: Planta estructura. Apoyos verticales.

Img. 7: Planta estructura. Emparrillado de cerchas ortogonales principal.

Img. 8: Planta estructura. Cruces de rigidización.

Img. 10: Planta estructura. Vigas-fachada.

Img. 12: Alzado norte con montantes verticales y horizontales de la viga fachada.

Img. 13: Alzado sureste con montantes verticales y horizontales de la viga-fachada.

Img. 14: Alzado suroeste con montantes verticales y horizontales de la viga-fachada.

Img. 15: Planta estructura. Forjado cubierta.

Img. 17: Planta estructura. Emparrillado de cerchas ortogonales secundario.

Img. 18: Sección transversal por auditorio.

Img. 19: Planta baja. Trama de la Diagonal.

Img. 20. Planta cubiertas. Trama de la Rambla de Prim.

Img. 21: Planta cubiertas. Patios.

Img. 22: Maqueta con los patios de geometrías facetadas.

Img. 23: Planta estructura. Viga-pared perímetro del auditorio.

Img. 24. Sección transversal por auditorio.

Img. 25: Sección longitudinal por auditorio.

Img. 26: Sótano -1. Elementos estructurales verticales.

Img. 27: Sótano -2. Elementos estructurales verticales.

Img. 28: Detalle patio llegando hasta el sótano.

Img. 29: Sótano -1. Espacio interior.

Img. 30. Detalle fachada. Encuentro acristalamiento.

Img. 31. Detalles fachada. Encuentro acristalamiento.

Img. 32: Detalle alzado fachada. Encuentro acristalamiento-fachada.

Imágenes propias desarrolladas por el autor:

Img. 6: Perspectiva. Apoyos verticales.

Img. 8: Perspectiva. Emparrillado de cerchas ortogonales principal.

Img. 9: Perspectiva. Cruces de rigidización.

Img. 11: Perspectiva. Vigas-fachada.

Img. 16: Perspectiva. Forjados planta cubierta.

Img. 33: Proceso de construcción. Montaje emparrillado de celosías. I

https://farm4.staticflickr.com/3217/2512702651_03588bb624_b.jpg

Img. 34: Proceso de construcción. Montaje emparrillado de celosías. II

<https://www.flickr.com/photos/detlefschobert/2551899082/in/set-72157605188580082>

Img. 35: Proceso de construcción. Andamiaje para la construcción de fachadas.

<https://www.flickr.com/photos/detlefschobert/2568860932/in/set-72157605188580082>

9.5. Modelo estructural

Img. 0: Maqueta proyecto original.

<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/c2/49/d1/c249d1b2f293d14266577ea27d312d9a.jpg>

Imágenes propias desarrolladas por el autor:

Tab. 5a. Información del modelo estructural.

Img. 1: Perspectiva modelo. Alzado noreste.

Img. 2: Perspectiva modelo. Alzado sureste.

Img. 3: Perspectiva modelo. Esquina norte.

Img. 4: Perspectiva modelo. Despiece vertical de los componentes estructurales.

Img. 5: Elementos estructurales verticales.

Img. 6: Detalle modelado elementos estructurales verticales.

Img. 7: Emparrillado de celosías ortogonales principal y cruces de rigidización

Img. 8: Detalle interior emparrillado principal

Img. 9: Perspectiva modelo. Vigas-fachada.

Img. 10: Perspectiva modelo. Detalle vigas-fachada.

Img. 11: Perspectiva modelo. Forjado planta cubiertas.

Img. 12: Perspectiva modelo. Detalle encuentro elementos verticales - forjado.

Img. 13: Perspectiva modelo. Estructura emparrillado secundario.

Img. 14: Perspectiva modelo. Detalle encuentro emparrillado secundario.

Img. 15: Perspectiva modelo. Patios

Img. 18: Perspectiva modelo. Vigas-pared del auditorio.

Img. 16: Planta cubiertas. Patios.

Img. 17: Maqueta con los patios de geometrías facetadas.

Img. 19: Sección longitudinal por auditorio.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape.

Vol. No. 152/153. Madrid, El Croquis, 2010. pp.180-215

con tratamiento posterior por parte del autor:

Código Técnico de la Edificación. Documento Básico - Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación. CTE DB-SE-AE. Ministerio de Fomento. Gobierno de España.

Abril 2009.

http://www.codigotecnico.org/ctel/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_SE-AE_abril_2009.pdf

Tabla 5a: Peso específico de materiales de construcción.

Tabla 5b: Valores característicos de sobrecargas de uso.

Tabla 5c. Carga de nieve.

Tabla 5d. Carga de nieve.

Tabla 5e. Carga de nieve.

Tabla 5f. Acción del viento.

Tabla 5g. Acción del viento.

Tabla 5h. Acción del viento.

Código Técnico de la Edificación. Documento Básico - Seguridad Estructural. Bases de Cálculo. CTE DB-SE. Ministerio de Fomento. Gobierno de España. Abril 2009:
http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_SE_abril_2009.pdf

Tabla 5i: Combinación de acciones.

Tabla 5j: Coeficientes parciales de seguridad para las acciones.

Tabla 5k: Peso específico de materiales de construcción.

Tabla 5o: Combinación característica de acciones para E.L.S

Tabla 5s: Combinación frecuente y casi permanente de acciones para E.L.S

Imágenes propias desarrolladas por el autor:

Tabla 5l: Combinación 03-ELU.

Tabla 5m: Combinación 04-ELU.

Tabla 5n: Combinación 05-ELU.

Tabla 5p: Combinación 03-ELS

Tabla 5q: Combinación 04-ELS

Tabla 5r: Combinación 05-ELS.

Tabla 5t: Combinación 06-ELS

Tabla 5u: Combinación 07-ELS

Tabla 5v: Combinación 08-ELS

Tabla 5w: Combinación 09-ELS.

Tabla 5x: Características hormigón armado.

Tabla 5y: Características acero

9.6 Análisis estructural

Img. 0: Detalle emparrillado de celosías.

Imagen propia del autor.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape. Vol. No. 152/153. Madrid, El Croquis, 2010. pp.180-215

Img. 1: Esquema general transmisión de cargas verticales. Forjados

Img. 2: Esquema general transmisión de cargas verticales. Emparrillado de celosías.

Img. 3: Esquema general transmisión de cargas verticales. Emparrillado de cerchas ortogonales secundario.

Img. 4: Esquema general transmisión de cargas verticales. Elementos atirantados.

Img. 5: Esquema general transmisión de cargas verticales.

Imagen propia del autor obtenida con el programa de cálculo.

Img. 6: Acción horizontal del viento y transmisión de esfuerzos a núcleos rígidos.

Img. 7: Desplazamientos verticales debidos al peso propio.

Img. 8: Desplazamientos verticales debidos a la sobrecarga de uso.

Img. 9: Desplazamientos verticales debidos a la carga de nieve

Img. 10: Desplazamientos verticales debidos a la carga de viento.

Img. 11: Deformada escala f.50 para ELS combinación 3. Forjado superior y emparrillado de cerchas ortogonales principal.

Img. 12a: Deformada escala f.50 para ELS combinación 3. Forjado inferior.

Img. 12b: Deformada escala f.50 para ELS combinación 3. Forjado inferior.

Img. 13a: Posición de la cercha individual A en conjunto.

Img. 13b: Deformada escala f.15 para ELS combinación 3. Cercha A

Img. 13c: Posición de la cercha individual B en conjunto.

Img. 13d: Deformada escala f.15 para ELS combinación 3. Cercha B

Img. 13e: Posición de la cercha individual C en conjunto.

Img. 13f: Deformada escala f.15 para ELS combinación 3. Cercha C

Img. 14: Desplazamientos verticales debidos al peso propio.

Img. 15: Desplazamientos verticales debidos a la sobrecarga de uso.

Img. 16: Desplazamientos verticales debidos a la carga de nieve

Img. 17: Desplazamientos verticales debidos a la carga de viento.

Img. 18: Deformada escala f.50 para ELS combinación 3. Forjado superior.

Img. 19: Deformada escala f.50 para ELS combinación 3. Forjado inferior.

Img. 20: Deformada escala f.50 para ELS combinación 3. Forjado inferior.

Img. 21: Esquema general funcionamiento estructural núcleos rígidos.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape.* Vol. No. 152/153. Madrid, El Croquis, 2010. pp.180-215

Imagen propia del autor obtenida con el programa de cálculo.

Img. 22: Elementos verticales. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

Img. 23: Elementos verticales. Solicitaciones ELU-03. Momentos My.

Img. 24: Elementos verticales. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.

Img. 25: Detalle pilar individual. Solicitaciones ELU-03. Axiles y cortantes

Img. 26: Elementos verticales. Solicitaciones ELU-03. Axiles y momentos.

Img. 27: Detalle núcleo rígido. Solicitaciones ELU-03. Tensiones Sx principales.

Img. 28: Detalle núcleo rígido. Solicitaciones ELU-03. Tensiones Sy principales.

Img. 29: Detalle núcleo rígido. Solicitaciones ELU-03. Tensiones Sxy.

Img. 30: Detalle núcleo rígido. Solicitaciones ELU-03. Tensiones Von Mises.

Img. 31: Esquema general funcionamiento estructural emparrillado de cerchas ortogonales principal.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape.* Vol. No. 152/153. Madrid, El Croquis, 2010. pp.180-215

Imagen propia del autor obtenida con el programa de cálculo.

Img. 32: Elementos verticales. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

Img. 33: Elementos verticales. Solicitaciones ELU-03. Momentos My.

Img. 34: Elementos verticales. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.

Img. 35: Posición de la cercha individual A en conjunto.

Img. 36: Cercha A. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

Img. 37: Cercha A. Solicitaciones ELU-03. Momentos My.

Img. 38: Cercha A. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.

Img. 39: Deformada escala f.50 para ELS combinación 3. Cercha principal. Cercha individual A.

Img. 40: Cruces de rigidización. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

Img. 41: Cruces de rigidización. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.

Img. 42: Detalle cruz de rigidización. Solicitaciones ELU-03. Axiles y cortantes Vy.

Img. 43: Detalle cruz de rigidización. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.

Img. 44: Elementos horizontales vigas-fachada. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

Img. 45: Elementos horizontales vigas-fachada. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.

Img. 46: Elemento horizontal vigas-fachada.. Encuentro con emparrillado de celosías. Solicitaciones ELU-03. Axiles y Momentos Mz.

Img. 47: Esquema general funcionamiento estructural vigas-fachada.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape.* Vol. No. 152/153. Madrid, El Croquis, 2010. pp.180-215

Imagen propia del autor obtenida con el programa de cálculo.

Img. 47: Esquema general funcionamiento estructural vigas-fachada.

Img. 48: Elementos verticales vigas-fachada. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

Img. 49: Elementos verticales vigas-fachada. Solicitaciones ELU-03. Cortantes Vz

Img. 50: Elementos verticales vigas-fachada. Solicitaciones ELU-03. Momentos My.

Img. 51: Detalle elemento vertical viga-fachada. Solicitaciones ELU-03. Axiles

Img. 52: Detalle elemento vertical viga-fachada. Solicitaciones ELU-03. Cortantes Vz.

Img. 53: Detalle elemento vertical viga-fachada. Solicitaciones ELU-03. Momentos My.

Img. 54: Forjado E1. Solicitaciones ELU-03. Tensiones principales Sx.

Img. 55: Forjado E1. Solicitaciones ELU-03. Tensiones principales Sy

Img. 56: Forjado E1. Solicitaciones ELU-03. Tensión Von Mises.

Img. 57: Forjado E3. Solicitaciones ELU-03. Tensiones principales Sx.

Img. 58: Forjado E3. Solicitaciones ELU-03. Tensiones principales Sy.

Img. 59: Forjado E3. Solicitaciones ELU-03. Tensión Von Mises.

Img. 60: Esquema general funcionamiento estructural Emparrillado de cerchas ortogonales secundario.

MÁRQUEZ CECILIA, F; LEVENE, R. (Eds.) *El Croquis. Herzog & de Meuron 2005-2010. Programa, monumento, paisaje. Programme, monument, landscape.* Vol. No. 152/153. Madrid, *El Croquis*, 2010. pp.180-215

Imagen propia del autor obtenida con el programa de cálculo.

Img. 61: Emparrillado de cerchas ortogonales secundario. Cordón superior. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

Img. 62: Emparrillado de cerchas ortogonales secundario. Cordón superior. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.

Img. 63: Emparrillado de cerchas ortogonales secundario. Cordón inferior. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

Img. 64: Emparrillado de cerchas ortogonales secundario. Cordón inferior. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

Img. 65: Vigas-pared auditorio. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

Img. 66: Vigas-pared auditorio. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.

Img. 67: Detalle vigas-pared auditorio. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

Img. 68: Detalle vigas-pared auditorio. Solicitaciones ELU-03. Momentos Mz.

Img. 69: Vigas-pared auditorio. Solicitaciones ELU-03. Axiles.

9.7 Conclusiones

Imagen propia del autor obtenida con el programa de cálculo.

Img. 0: Modelo de cálculo.

9.8 Bibliografía

Imagen propia del autor obtenida con el programa de cálculo.

Img. 0: Perspectiva modelo. Tensiones Sx en forjado superior.

9.9 Referencias de imágenes

Imagen propia del autor obtenida con el programa de cálculo.

Img. 0: Perspectiva modelo. Momentos Mz sobre emparrillado de celosías.