



ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL CENTRO DE CONVENCIONES DE BARCELONA

ARQUITECTO: JOSEP LLUIS MATEO

AUTORA: MARÍA DE LOS ÁNGELES HERNÁNDEZ ARÉVALO

TUTOR: ERNESTO JESUS FENOLLOSA FORNER
COTUTORA: ANA ISABEL ALMERICH CHULIA

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL CENTRO DE CONVENCIONES DE BARCELONA (Josep Lluís Mateo)

El estilo arquitectónico de los centros de convenciones es uno de los menos agradables que han sido producidos por la economía mundial y la cultura. Lugares grandes, retirados de la ciudad con el riesgo de convertirse en una “caverna”, sin ventanas y diferentes al contexto. (1)

El centro de convenciones internacionales de Barcelona (CCIB) parece un edificio típico del lugar, delante de la orilla sur del río Besós. Hasta la mitad del siglo XX esta área era un espacio casi sin forma, casi primitivo: “las barracas del Somorrostro”. Varias décadas más tarde, el mismo lugar era uno de los distritos residenciales más populares de Barcelona.

Se trata de un conjunto de objetos para diferentes usuarios y programas, que se caracteriza por un patrón predefinido de “bandas funcionales” necesarias para albergar un área de 67.000m². El Centro de Convenciones es una plaza cubierta: las fachadas de metal forman un frente orgánico, ondulado y continuo. El interior de “la casa” es un gran salón, un área de exposición de usos múltiples que puede contener hasta 15.000 personas.

Los grandes espacios podrían haber destruido el valor del CCIB, pero la calidad tectónica y tecnológica lo han convertido en uno de los mejores edificios integrados en el paisaje de Barcelona. (2)



La estructura es una partitura musical de referencia. El clima, la luz (y lo contrario, la sombra) y el sonido (y su silencio frente), han dado forma a la trama.



ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL CENTRO DE CONVENCIONES DE BARCELONA (Josep Lluís Mateo)

RESUMEN

El centro de convenciones de Barcelona proyectado por Josep Lluís Mateo, es una obra vinculada al Forum Universal de las Culturas.

El CCIB se trata de un edificio que en planta que se asemeja al cuadrado (130x165m). Se compone de una gran sala de 15.000 m², el resto de superficie se divide en 45 salas de reuniones de entre 30 y 2.500m² totalmente modulables, así como dos patios abiertos y una sala de banquetes con terraza abierta al mar.

Uno de los atractivos del centro de convenciones es la estructura, la cual tiene una luz de 80 metros. Por este motivo tiene espacios sin elementos verticales (pilares) que se pueden llegar a asumir mediante estructuras metálicas.

El análisis detallado de las tensiones y deformaciones obtenidas mediante un modelo informático nos demostrará la idoneidad de la estructura propuesta por Mateo.

Palabras clave: Barcelona, centro de convenciones, análisis estructural, cercha, estructura metálica.

RESUM

El centre de convencions de Barcelona projectat per Josep Lluís Mateo, és una obra vinculada al Forum Universal de les Cultures. El CCIB es tracta d'un edifici que en planta que s'assembla al quadrat (130x165m). Es compon d'una gran sala de 15.000 m², la resta de superfície es dividix en 45 sales de reunions d'entre 30 i 2.500m² totalment modulables, així com dos patis oberts i una sala de banquetes amb terrassa oberta al mar. Un dels atractius del centre de convencions és l'estructura, la qual té una llum de 80 metres. Per este motiu té espais sense elements verticals (pilars) que es poden arribar a assumir per mitjà d'estructures metàl·liques. L'anàlisi detallat de les tensions i deformacions obtingudes per mitjà d'un model informàtic ens demostrarà la idoneïtat de l'estructura proposada per Mateo. Paraules clau: Barcelona, centre de convencions, anàlisi estructural, cintra, estructura metàl·lica.

Palabras clavo: Barcelona, centro de convenciones, análisis estructural, cercha, estructura metálica

ABSTRACT

The Barcelona Convention Center, designed by Josep Lluís Mateo, is linked to Universal Forum of Cultures.

The CCIB is a building with a rectangular plan (130x165m). It consists of a large room of 15,000 m², the rest of the area is divided into 45 meeting rooms in from 30 to 2,500m², fully modular, the same as two opened spaces and a big banquet hall opened to the sea.

One of the attractions of the convention center is the structure, which has more or less 80 meters without any vertical structural element that can be only assumed with steel structures.

The detailed analysis of the stresses and strains obtained by means of a computer model will show the suitability of the structure proposed by Mateo.

Keywords: Barcelona, convention center, structural analysis, truss, metal structure.

OBJETO

En este trabajo se estudiará el Centro de Convenciones de Barcelona. Proyectado en 2004 por Josep Lluís Mateo, representa una obra de arquitectura contemporánea. Volumen, estructura y espacio se funden en una obra singular en un entorno único.

En primer lugar, se realizará una breve introducción que nos permita entender el contexto histórico, político y social del lugar y del arquitecto. Se pretende establecer las bases y entender las motivaciones que desembocaron en el centro de convenciones.

En el siguiente apartado se describirá el museo desde el punto de vista funcional, espacial, de inserción en el lugar, etc. Proporcionando la documentación gráfica necesaria para entender el proyecto, también se profundizará en la materialidad y la ejecución de la obra.

Se pondrá especial atención al aspecto estructural, con una detallada descripción que compondrá el tercer capítulo del trabajo. En este apartado, se explicará el funcionamiento de cada uno de los elementos estructurales y su modelización informática.

En el bloque más importante del trabajo, se analizarán los resultados obtenidos mediante el modelo estructural de elementos finitos realizado mediante ordenador. Se estudiará detalladamente cada uno de los elementos estructurales, lo cual nos permitirá conocer el comportamiento de esta obra de ingeniería estructural.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
 - 1.1- Contexto histórico: Barcelona
 - 1.2- Contexto histórico, el arquitecto: Josep Lluís Mateo
2. PROYECTO ARQUITECTÓNICO: CENTRO DE CONVENCIONES INTERNACIONALES
 - 2.1- Entorno e idea
 - 2.2- Forma, volumen e implantación
 - 2.3- Organización: plantas y secciones
 - 2.4- Materialidad y construcción
3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y SU MODELIZACIÓN
 - 3.1- Descripción general de la estructura
 - 3.2- Elementos estructurales y su modelización
 - 3.3- Asignación de cargas
 - 3.4- Combinación de cargas
4. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL: ANÁLISIS DE RESULTADOS
 - 4.1- Comportamiento general de la estructura
 - 4.2- Análisis detallado por elementos
 - 4.3- Efectos de cargas asimétricas
5. CONCLUSIONES
 - 5.1- Proyecto
 - 5.2- Estructura
 - 5.3- Análisis
6. BIBLIOGRAFÍA
 - 6.1- Bibliografía documental
 - 6.2- Bibliografía fotográfica

1. INTRODUCCIÓN

1.1- CONTEXTO HISTÓRICO: BARCELONA

Barcelona es una ciudad y municipio de España. Con una población de 1.608.746 habitantes en 2016, es la segunda ciudad más poblada de España después de Madrid, y la undécima de la Unión Europea. El área metropolitana de Barcelona, incluida en la Región urbana de Barcelona, cuenta con 5.029.181 habitantes (2011), siendo así la sexta ciudad de mayor población de la Unión Europea. (3) (Imagen 1.1)



Imagen 1.1. Fotografía de la ciudad de Barcelona (14)

Se ubica a orillas del mar Mediterráneo, a unos 120 km al sur de la cadena montañosa de los Pirineos y de la frontera con Francia, en un pequeño llano litoral limitado por el mar al este, la sierra de Collserola al

oeste, el río Llobregat al sur y el río Besós al norte.

Barcelona ha sido escenario de diversos acontecimientos internacionales que han contribuido a consolidarla, desarrollarla y darle proyección mundial. Los más relevantes han sido la Exposición Universal de 1888, la Exposición Internacional de 1929, los Juegos Olímpicos de 1992 y el Fórum Universal de las Culturas 2004. (1) Es también sede del secretariado de la Unión para el Mediterráneo. En la actualidad, Barcelona está reconocida como una ciudad global por su importancia cultural, financiera, comercial y turística. Posee uno de los puertos más importantes del Mediterráneo. (4)

La Barcelona del siglo XXI es una ciudad próspera y con proyección internacional. Al inicio del siglo, la economía experimentó una cierta desindustrialización, al tiempo que apostaba por nuevos sectores, como el de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación. En 2004 se celebró el Fórum Universal de las Culturas, que conllevó diversos cambios urbanísticos para la ciudad. Entre ellos, la recuperación de toda la zona del Besós, hasta entonces poblada de antiguas fábricas en desuso, lo que permitió regenerar todo el barrio del Pueblo Nuevo y construir el nuevo barrio de Diagonal Mar, así como hacer llegar la avenida Diagonal hasta el mar.

La Diagonal, es una de las principales avenidas de Barcelona. Cruza la ciudad en diagonal, comenzando desde el barrio de Sant Martí, hasta pasado el barrio de Les Corts. Su longitud es de aproximadamente 11 kilómetros. En este último medio siglo, la zona de Besos y Maresme está sufriendo una transformación, un cambio urbano, social y político. (Imagen 1.2).



Imagen 1.2. Diagonal del ensanche de Barcelona (15)

El barrio se extiende a lo largo de la Rambla de Prim, por el lado de levante, mientras que a poniente de este gran eje cívico se dispone el grupo de viviendas del Maresme. Este grupo, nació entre los años 1954 y 1964, fruto de la iniciativa privada. Los primeros bloques se empezaron a construir en medio de los campos de cultivo, sin urbanización ni dotación de servicios o de equipamientos públicos, que se tuvieron que ganar con largas y duras luchas vecinales. (5)

Ahora el barrio del Besòs - Maresme tiene nuevas transformaciones, derivadas de la revitalización de todo el entorno del Fórum de las Culturas 2004 y la vecindad de uno de los dos grandes sectores de 22 @ (22@es el distrito en el que se encuentra ubicado el CCIB). (Imagen 1.3). Esta zona acogerá en los próximos años nuevas implantaciones residenciales y de equipamientos, entre las que destaca la prevista localización de un campus de la Universidad Politécnica, que aportará una importante vitalidad

cotidiana.

En la zona de su litoral, se construyó el parque del Fórum sobre terrenos ganados al mar, en espacios compartidos con el vecino municipio de San Adrián de Besòs, creándose un gran espacio cívico en el que tuvo lugar el Fórum Universal de las Culturas 2004 de Barcelona.(1) En el mismo lugar se edificó el nuevo Centro de Convenciones Internacional de Barcelona y el Edificio Fórum que desde el mes de marzo de 2011 acoge el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Cataluña. Posteriormente se construyó la Torre Diagonal Zero Zero en la que tiene su sede la compañía Telefónica, y también se encuentran algunos hoteles de gran categoría.



Imagen 1.3. Fotografía del Forum Universal de las Culturas (6)

1.2- CONTEXTO HISTÓRICO, EL ARQUITECTO: JOSEP LLUIS MATEO

Josep Lluís Mateo nació en abril de 1949, en Barcelona. Estudió en la Escuela de Arquitectura de Barcelona, donde es profesor desde 1984. Su obra se enmarca en un cierto racionalismo ecléctico, heredero de la arquitectura racionalista, un estilo que defiende la relación entre construcción y arquitectura, con especial énfasis en la composición, destacando el compromiso entre tradición y modernidad, así como el carácter urbano de la arquitectura. (6) (Imagen 1.4)



Imagen 1.4. Arquitecto Josep Lluís Mateo Blog: (23)

Mateo hace un tratamiento conceptual de la arquitectura, cuestionando la idea de belleza tradicional y asumiendo la fealdad de la arquitectura de periferia, como se advierte en la reconversión de la fábrica Can Felipa en Centro Cívico del Poblenou (1984-1991) y en el complejo multifuncional de la calle de Joan Güell (1989-1993), ambos en Barcelona. (6)

Para el Fórum Universal de las Culturas de 2004 proyectó el Centro de Convenciones Internacionales de Barcelona (2000-2004), con una estructura metálica de trazado irregular y formas ondulantes que oculta los elementos sustentantes, generando en el interior unos grandes espacios diáfanos de disposición flexible. (6).

Otras obras suyas son el polideportivo Pla d'en Boet en Mataró (1982-1985), el instituto de formación profesional La Bastida, en Santa Coloma de Gramanet (1985-89, con Eduard Bru), la sede de los nuevos juzgados de Badalona (1986-1990), las piscinas y el edificio central de servicios deportivos de la Universidad Autónoma de Barcelona en Bellaterra (1986-1993), las naves industriales del polígono de la estación de Puigcerdá (1988-91), diversos edificios de viviendas en La Haya (1990-93) y Torelló (1992-95), la residencia de ancianos de Campdevàno (1992-95), el edificio Las Palmeras en Tarrasa (1998), las viviendas Borneo en Amsterdam (2000), el Hotel AC en Barcelona (2004), la sede del Landeszentralbank en Chemnitz (2004), el Colegio Mayor Sant Jordi en Barcelona (2006), el edificio de oficinas del World Trade Center Almeda Park en Cornellà de Llobregat (2008). (6) (Imagen 1.5, 1.6 y 1.7)



Imagen 1.5. Edificio de viviendas en Lugo (17)



Imagen 1.7. Ampliación de la asesoría PGGM (19)



Imagen 1.6. Sede del banco federal Alemán Revista: (18)

2. PROYECTO ARQUITECTÓNICO

2.1- ENTORNO E IDEA

Barcelona desde algún punto de vista abstracto pero real, tiene tres bandas de colores: el azul del mar, la mancha marrón de la ciudad y el verde de las montañas. Entre montañas y mar se desliza la ciudad. Hacia el CCIB las montañas se acercan al mar más de lo normal. Atender a esta interacción no era irrelevante para Josep Lluís Mateo en el proyecto. (Imagen 2.1)



Imagen 2.1. Vistas desde las montañas de Barcelona (20)

El lugar es el típico momento de articulación entre realidades yuxtapuestas característico de la ciudad contemporánea. Límite entre ciudad y naturaleza; donde coexisten trazas históricas (al final de la diagonal y el

antiguo camino paralelo al mar), el barrio de viviendas sociales del Polígono de Besós de los años cincuenta de trazado geométrico abstracto, los nuevos desarrollos urbanos a la americana de torres de viviendas en medio del parque de Diagonal Mar de los años noventa, las grandes infraestructuras técnicas y, dominándolo todo, el mar hacia la cara sur y las montañas de la cordillera prelitoral hacia el norte, no muy frecuentes de encontrar en la ciudad. La diagonal no acaba en el mar, la diagonal se transforma en una línea muy larga; el antiguo camino a Francia paralelo al mar. Todo el proyecto debe basar su geometría en esta dirección. (Imagen 2.2) (5)



Imagen 2.2. La diagonal no acaba en el mar (21)

Estudiando el entorno, el edificio debe de cumplir con tres características según Josep Lluís Mateo que son: (Imagen 2.3)

- A. La Diagonal no acaba, se transforma y se convierte en la calle Taulat. Todo el proyecto se adapta geométricamente a esta nueva plaza.

- B. Una gran plaza articula los diferentes edificios previstos al final de la rambla Prim. Esta plaza penetra en el interior de nuestro edificio. Nuestras grandes salas de exposiciones son una parte cubierta y protegida de este espacio público, que esperamos que continúe en las parcelas vecinas.
- C. La vía rápida del Cinturón formaliza el límite sur. Un jardín establece el contrato autopista/edificio.

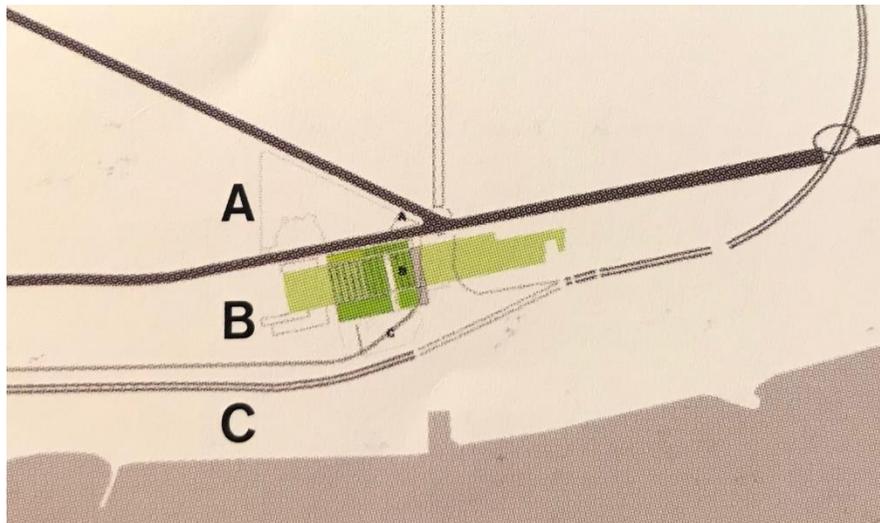


Imagen 2.3. Lectura urbana (7)

Las primeras ideas e imágenes eran que las salas de reuniones acentuaran el papel exterior como naturaleza salvaje. (Imagen 2.4)



Imagen 2.4. Idea del bloque sur (7)

La imagen de la cubierta de la gran sala la hacía ser paisaje artificial y también momento técnico de conexión entre estructura e instalaciones. (Imagen 2.5) (7)

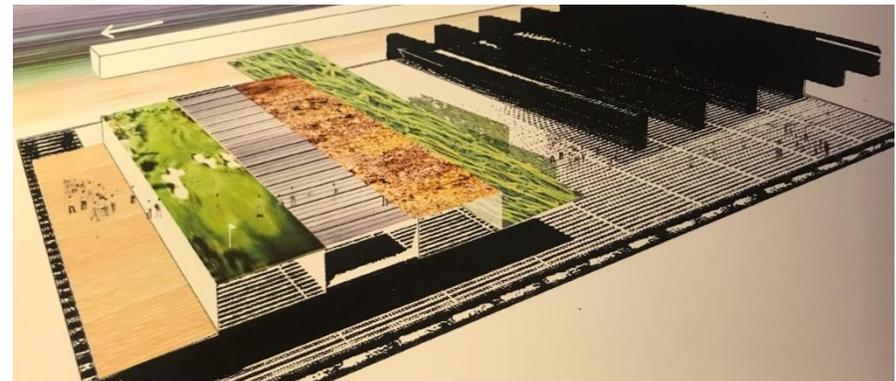


Imagen 2.5. Idea de la cubierta (7)

La primera visión del edificio exterior hacia la plaza de acceso introduce la gran pantalla digital, momento comunicativo del entonces gran contenedor inexpresivo. (Imagen 2.6)

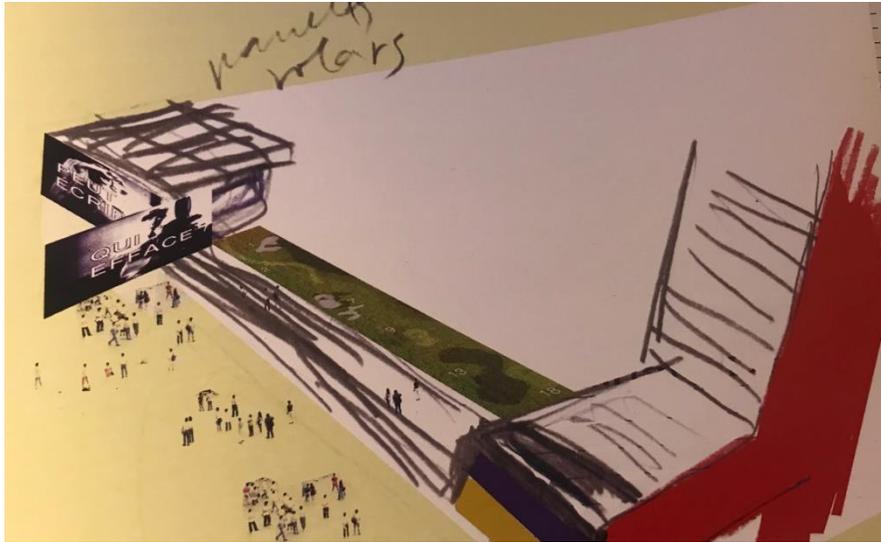


Imagen 2.6. Primera visión exterior (7)

2.2- FORMA, VOLUMEN E IMPLANTACIÓN

El centro de convenciones de Josep Lluís Mateo tiene una clara influencia en el fórum cultural de Barcelona. Como se observa en la imagen 2.7, en este proyecto destaca la gran luz de 80 metros.

El espacio interior puede imaginarse como un gran espacio homogéneo, dividido, clasificado, estructurado a través de unas fisuras horizontales y verticales. Imaginando el espacio como lleno, aparecerían unas vetas de otras densidades que cuartearían la masa. Estas vetas son de dos tipos: verticales (pozos) y horizontales (galerías). (7)



Imagen 2.7. Espacio sin elementos estructurales. (7)

La mayoría de los pozos son elementos de comunicación: escaleras, ascensores... Otros son conductos de fluidos, energías, instalaciones... Buena parte de ellos son privados, sin repercusión, pero algunos son públicos, estructurales, centrales.

En la parte más interior de la masa, las escaleras mecánicas habilitan un espacio iluminado superiormente, espacio que se desarrolla básicamente en horizontal. Para no generar obstáculos al paso de la luz, se elige el vidrio como el material apropiado para construir los suelos. (Imagen 2.8)

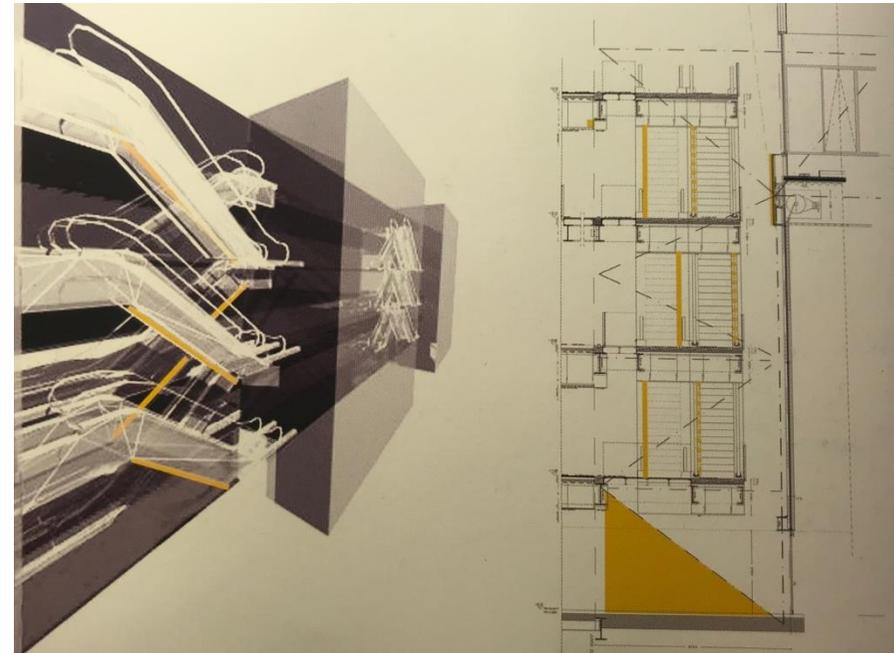


Imagen 2.8. Pozos: comunicación vertical. (7)

Las galerías fueron excavadas en horizontal, unas son oscuras, turbias y negras. En otras, si el suelo era constante, el techo es el que varía, comprimiendo y descomprimiendo el flujo. (Imagen 2.9)

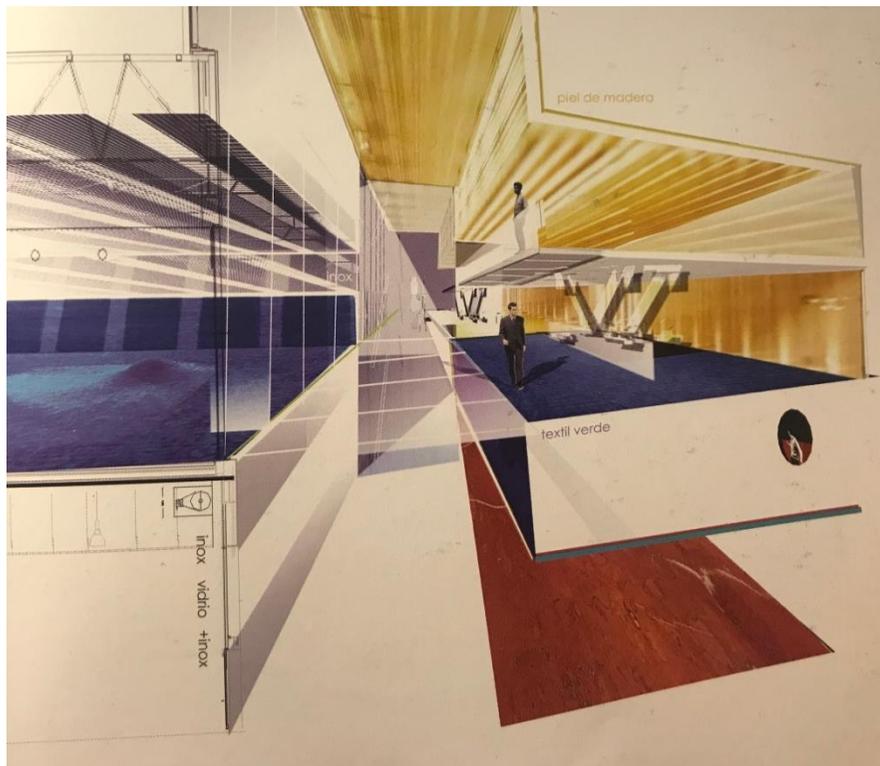


Imagen 2.9. Pozos: comunicación horizontal. (7)

Las fachadas tuvieron diferentes propuestas, la primera idea era disponer unas piezas prefabricadas de hormigón, de secciones plegadas para aumentar su inercia. Pero para una pieza tan grande las piezas prefabricadas daban una visión muy rígida y pesada del edificio, que no tenía sentido con la estructura metálica.

Por ese motivo la idea de piezas ligera cogió fuerza y finalmente fue así como se construyó. El prefabricado de bandejas verticales con los cantos doblados, apoyados en el forjado y trasdosados in situ. Las cuales permitían perforar o repujar controlando la transparencia u opacidad dependiendo de las necesidades. (Imagen 2.10)

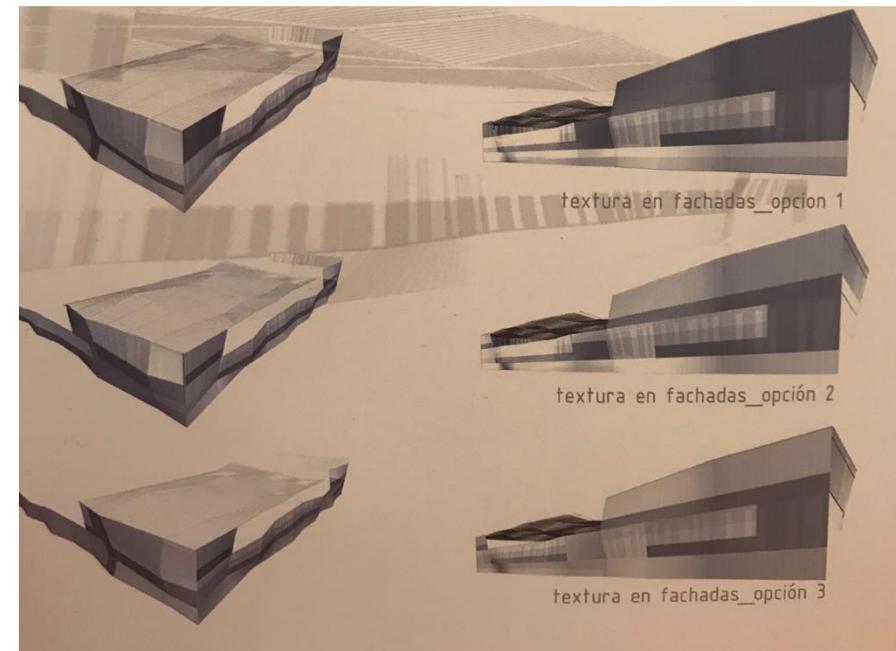


Imagen 2.10. Texturas en fachada. (7)

2.3- ORGANIZACIÓN

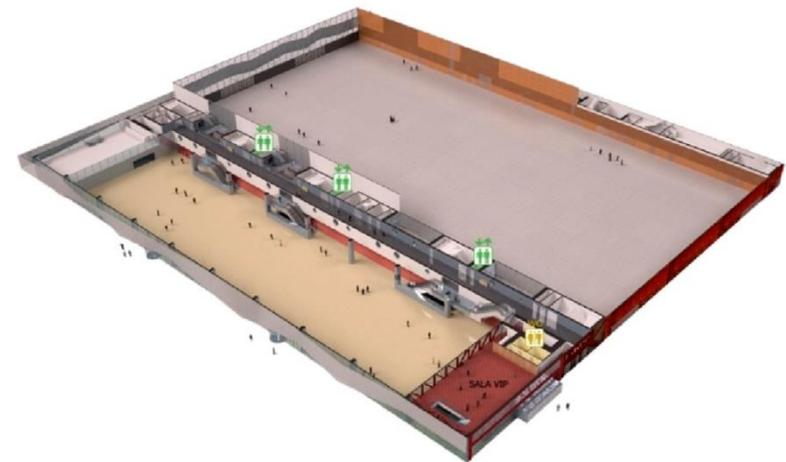
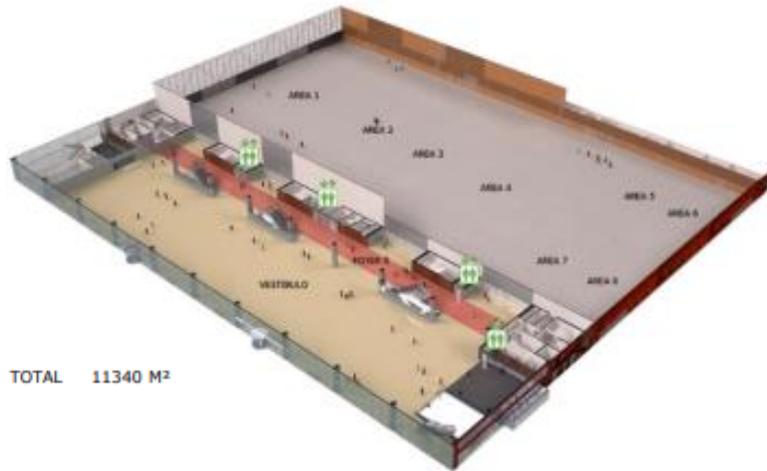
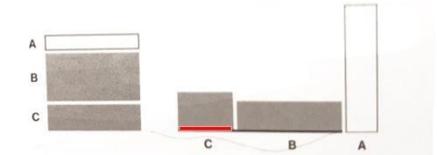
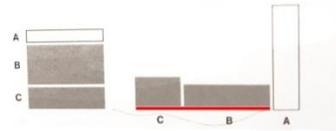
PLANTA BAJA

El vestíbulo es la entrada principal al centro de convenciones y cuenta con 4 puertas de entrada y 3 bloques de escalera de acceso a las diferentes plantas.

El área polivalente es un espacio diáfano de 11.340 m² libre de columnas, con luz natural, divisible en 8 áreas desde 568 m² a 3.476 m² y con techos de una altura hasta 12m.

PLANTA M1

El entresuelo M1 está formado por el vestíbulo M1 y la sala VIP que cuenta con luz natural y acceso directo desde el vestíbulo.



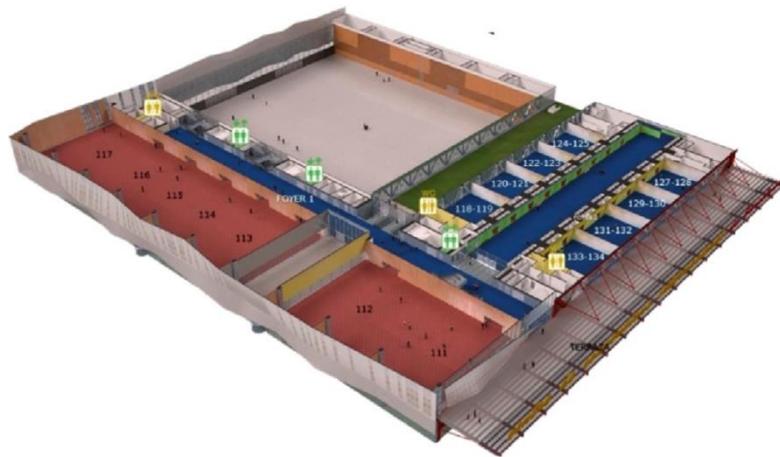
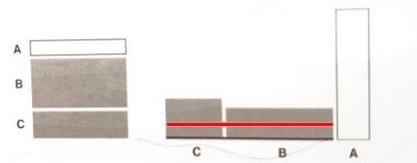
■	SALA POLIVALENTE TOTAL	11340 M ²
	AREA 1	3476 M ²
	AREA 2	1130 M ²
	AREA 3	2175 M ²
	AREA 4	1130 M ²
	AREA 5	1133 M ²
	AREA 6	568 M ²
	AREA 7	1133 M ²
	AREA 8	568 M ²

■	VESTIBULO	3760 M ²
■	FOYER 0	790 M ²

■	SALA VIP	320 M ²
---	----------	--------------------

PLANTA PRIMERA

La planta P1 es la planta de las salas de reunión por excelencia. Cuenta con 7 salas cuyas dimensiones varían desde 420 a 878 m² con posibilidad de combinación entre ellas y 16 salas de 95 m² convertibles en 8 de 193m², todas con luz natural y acceso directo al exterior, así como 2 vestíbulos.



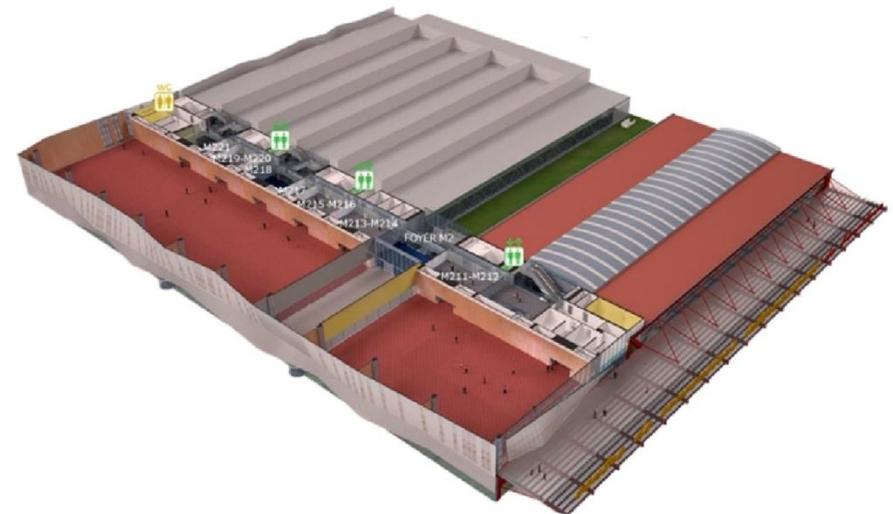
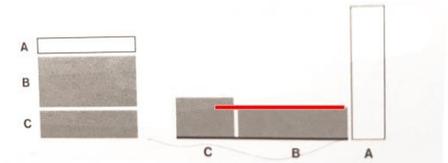
- SALA 111
- SALA 112
- SALA 113
- SALA 114
- SALA 115
- SALA 116 420 M²
- SALA 117 878 M²

- SALA 118-134 16 SALAS x 96 M²
- FOYER 1 1295 M²
- FOYER 2 1008 M²

- TERRAZA 1198 M²

PLANTA M2

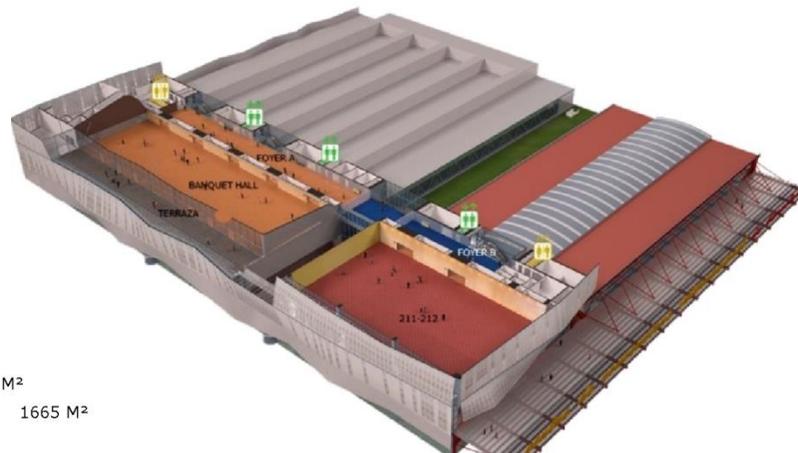
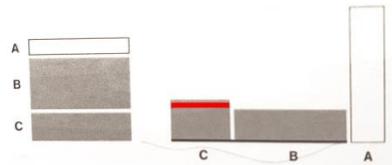
En la entreplanta M2 se disponen 11 pequeñas salas de reuniones, preferiblemente utilizables como secretarías técnicas o despachos. De éstas, 5 tienen 58 m² y 6 tienen 34 m².



- SALAS M211-M215 5 SALAS x 58 M²
- SALAS M216-M221 6 SALAS x 34M²

PLANTA SEGUNDA

La sala 211+212 tiene una superficie total de 1.284 m² con luz natural y acceso directo a una pequeña terraza. La sala de banquetes es un gran salón de características únicas y singulares. Con suelo de parqué y un espectacular techo de madera que simula al casco de un barco invertido, es un salón multifuncional con luz natural dotado de una gran terraza de 420 m² a primera línea de mar. Dispone también de su propio vestíbulo delante de la sala. (8)



 FOYER A	790 M ²
 BANQUET HALL	1665 M ²
 TERRAZA	447 M ²
 FOYER B	354 M ²
 SALA 211-212	1284 M ²





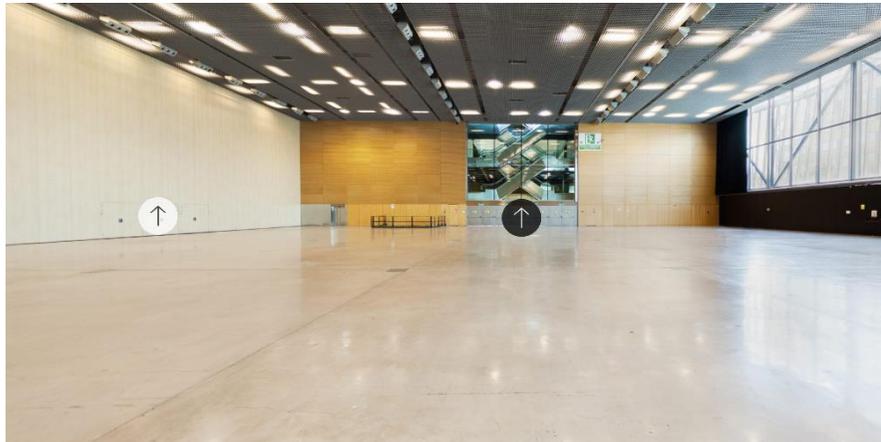




Sala polivalente, planta 0.



Sala VIP, planta M1.



Vestíbulo, planta 0.



Vestíbulo, planta M1.



Patio, planta 1.



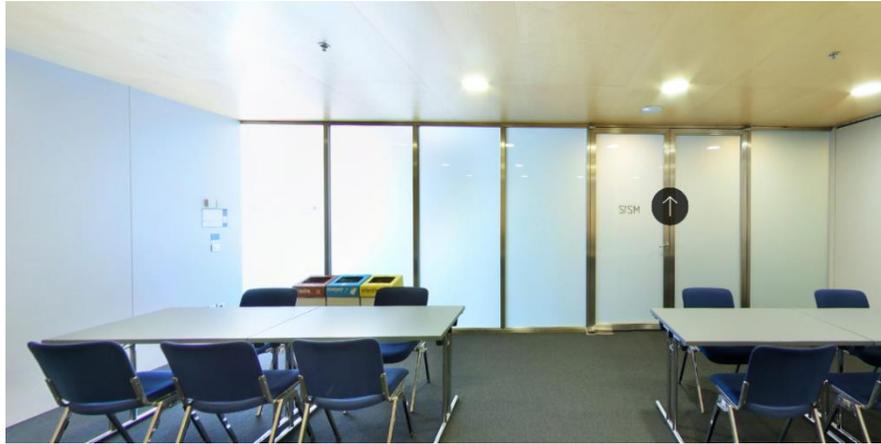
Sala polivalente 117, planta 1.



Vestíbulo, planta 1.



Vestíbulo, planta M2.



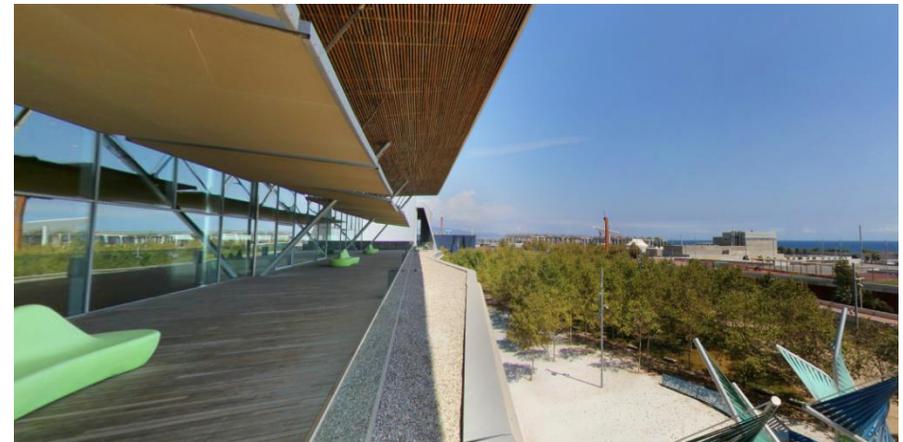
Sala polivalente, planta M2.



Sala polivalente, planta 2.



Vestíbulo, planta 2.



Terraza, planta 2.

2.4- MATERIALIDAD Y CONSTRUCCIÓN

La primera propuesta de la fachada del cuerpo que da a Sur (y luego por extensión a Oeste), que se relaciona con un jardín cercano y con el mar, suponía utilizar mecanismos orgánicos, geometrías no estrictamente cartesianas. (7)

Relacionando estructura y cerramiento, la primera idea fue disponer unas piezas prefabricadas de hormigón, de secciones plegadas para aumentar su inercia apoyadas en las horizontales de los forjados. (Imagen 2.11)

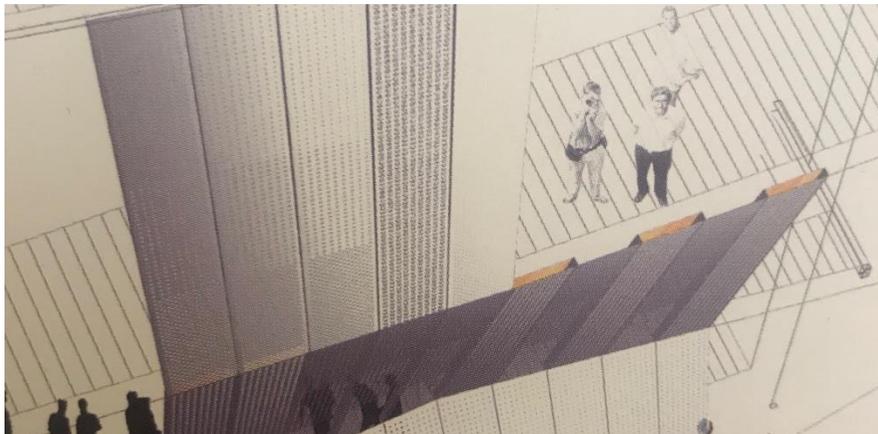


Imagen 2.11. Piezas prefabricadas. (7)

Utilizar sistemas prefabricados fue una necesidad evidente, dada la escala del edificio y la rapidez con la que debía terminarse. El resultado sería una especie de cortina con pequeños pliegues que no ofrecía composición a mayor escala que la repetición de piezas.

Sin embargo, el prefabricado de hormigón era demasiado pesado y rígido, y no tenía sentido en relación con la estructura metálica que estaban construyendo. A través de la producción de imágenes digitales les pareció que el argumento de la organicidad era claramente pertinente. (7)

La segunda versión avanzó a partir de considerar como pieza constituyente de la fachada la formada por materiales ligeros. El prefabricado era una bandeja vertical con los cantos doblados, apoyada en los forjados y trasdosada posteriormente in situ.



Imagen 2.12. Diferentes perforados en la pieza prefabricada ligera. (7)

La geometría del panel podía manipularse de dos maneras: perforando con dimensiones variables o repujándolo, es decir produciendo incisiones sin llegar a perforar la pieza. Esta doble posibilidad de acabado permitía tener una superficie continua en la que dependiendo de las necesidades funcionales podía variar la opacidad y transparencia. (Imagen 2.12)

La dificultad eran las grandes dimensiones geométricas, por lo que se construyó una maqueta con elementos articulados que permitió variar la geometría y estudiar la forma. Con la maqueta, se definió el ritmo del movimiento general de la piel a la que en paralelo se le añadió la textura.

En la fachada Oeste la piel perforada se separa del cerramiento interior de vidrio. Las perforaciones, con un ritmo de abertura creciente hacia la parte superior, permiten ver el exterior distorsionado. Los edificios de la ciudad son borrosos, sin embargo, el cielo es claro, real y dominante. (Imagen 2.13)



Imagen 2.13. Fachada Oeste. (7)

Al acceder por la fachada Este, el CCIB muestra su estructura, para acentuarla los cerramientos son rotos, fragmentarios, apedazados. La gran terraza superior es una superficie mixta de madera y vidrio que se deshace. La fachada de la sala es una gran puerta corredera oxidada de acero corten ametrallada irregularmente. (Imagen 2.14)



Imagen 2.14. Puerta corredera fachada Este. (7)

El edificio en esta zona no muestra su forma artística, sino su consistencia material, no comunica nada, pero muestra la construcción. La actividad y los mensajes lanzados al exterior se disponen en una gran pantalla led, sus luces, sus imágenes y textos son los protagonistas. (Imagen 2.15)



Imagen 2.15. Pantalla led. (7)

El CCIB es un edificio bajo, está rodeado de edificios mucho más altos, su cubierta es un paisaje, una topografía, una geografía. La gran sala es un paisaje metálico, geométrico, algunas partes son jardines, piedras o tierras. La cubierta del bloque Sur, a la que Josep Lluís Mateo llama la haima (dado que sigue el modelo de las tiendas nómadas que inició su diseño). (Imagen 2.16)

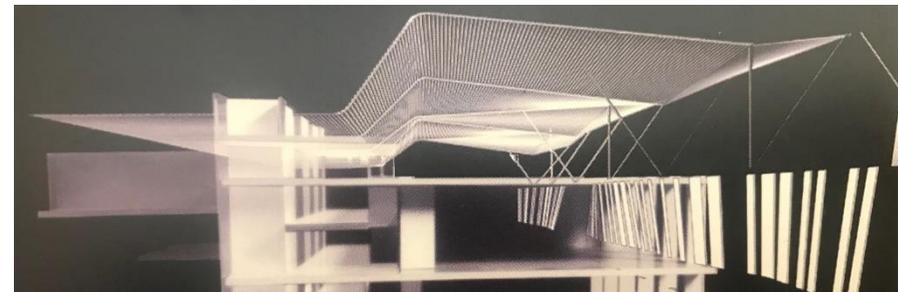


Imagen 2.16. Cubierta del bloque Sur. (7)

De las envolventes más importantes podemos distinguir cinco tipologías constructivas diferentes:

1. Los revestimientos metálicos se realizan con soluciones constructivas tradicionales. Una misma estructura de soporte formada por un entramado de perfiles metálicos genera marcos que soportan los diferentes tipos de aplacado. De esta forma se combinan chapas de aluminio ondulado, algunas de ellas perforadas o bien paneles composite de láminas de aluminio y polietileno, reduciéndose el número de soluciones constructivas. Este tipo de revestimiento se ha utilizado en las zonas de cubierta. Ha permitido ermite la formación de placas de grandes dimensiones, hasta 8 metros de longitud, lo que tolera reducir las juntas y se adecua con la escala del edificio. (Imagen 2.17)



Imagen 2.17. Revestimiento metálico. (8)

2. Los muros cortina situados en el restaurante, salas multifuncionales y vestíbulos. Josep Lluís Mateo vuelve a tener la necesidad de mantener la escala acorde con los grandes espacios interiores, llevando a los materiales hasta el límite de sus posibilidades, con acristalamientos laminados de gran formato, hasta 600 kg de peso y estructuras de soporte de aluminio extrusionado y con refuerzos para resistir la carga del viento. También se tiene en cuenta las exigencias acústicas que deben cumplir. Se alcanzan los límites de prestaciones de los acristalamientos con aislamientos de hasta 43 dBa, conseguidos mediante butyrales acústicos e inserción de gas inerte en la cámara de doble acristalamientos. (Imagen 2.18)



Imagen 2.18. Muro cortina (8)

3. En las salas de uso múltiple dispuestas sobre la gran sala del CCIB, se han proyectado cerramientos acristalados de una planta de altura combinados con los revestimientos metálicos ya descritos.

Estos cerramientos incorporan puertas pivotantes de hasta 300 kg que permiten la formación de grandes huecos y el acceso a las terrazas. Las soluciones constructivas han sido las tradicionales de montante y travesaño, pero llevadas hasta los límites de prestación de herrajes y estanqueidad acústica. (Imagen 2.19)



Imagen 2.19. Cerramiento acristalado. (8)

4. En la fachada Este se proyecta una fachada móvil que permite abrir completamente el espacio de la Gran Sala hacia el exterior. La solución constructiva se basa en una adecuación de los sistemas de particiones móviles, diseñados originalmente para espacios interiores, que se modifican para uno en cerramientos de exterior, con las necesidades de estanqueidad y movilidad que ello implica. (Imagen 2.20)

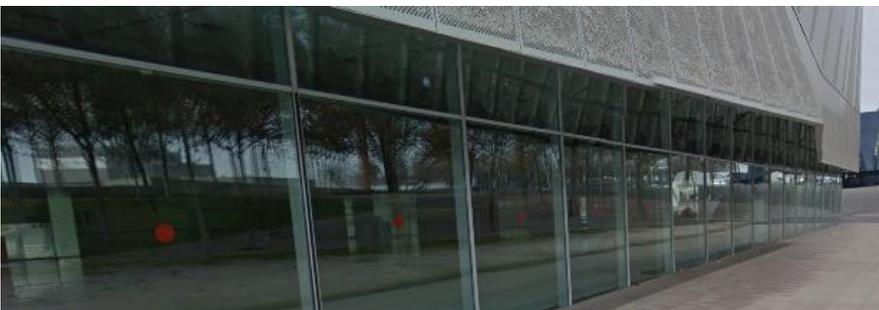


Imagen 2.20. Fachada móvil. (8)

La modulación de paneles verticales de hasta 6.5m de altura se integra con la modulación de la fachada envolvente del resto del edificio. Para el acabado exterior se emplea acero corten previamente envejecido y barnizado al agua para estabilizar el proceso de oxidación.

5. La solución más innovadora de las utilizadas, es la de la piel exterior alabeada con la que se trata la mayor parte de las fachadas este, sur y oeste. Se le denomina fachada multifuncional polivalente debido a la variedad de prestaciones y composición del elemento. La voluntad era crear una piel exterior alabeada que cubriese y unificase el aspecto exterior de espacios con usos y necesidades diferentes. Por ello, se emplea una solución constructiva modular en la que la capa exterior es común en todas las situaciones a la que se adicionan ventanas o paneles aislantes según las necesidades. (Imagen 2.21)



Imagen 2.21. Fachada multifuncional polivalente. (8)

3. DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURA

3.1- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

Josep Lluís Mateo define el centro de convenciones como un espacio de grandes dimensiones, pensados para ser usados efímeramente y fugazmente, en donde la flexibilidad es coartada por la no expresividad arquitectónica.

El objetivo principal del proyecto es captar a la ciudad de Barcelona, en forma sostenida eventos que pueden requerir concentraciones de gran número de personas con necesidad de servicios propios y próximos, pero también pueda admitir ferias, actos políticos, sociales o deportivos de diferentes dimensiones en cuanto al número de participantes. Todo esto en un entorno con facilidades y confortable. Para conseguirlo se marcan algunos objetivos como controlar el coste, que sea funcional, seguro, con calidad constructiva, flexible, mínimo impacto ambiental... (7)

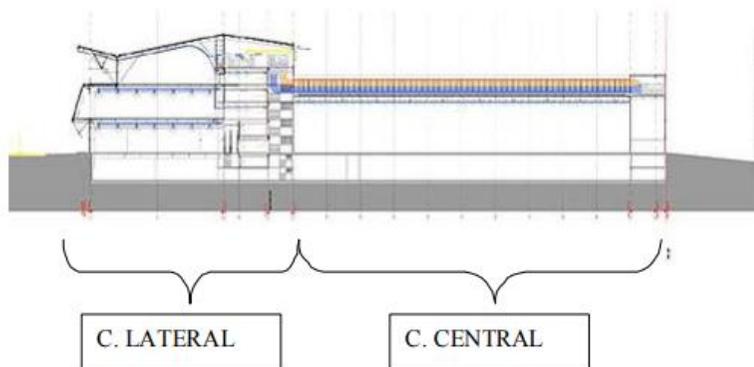


Imagen 3.1. Alzado visto desde el acceso principal. (22)

En el diseño del centro de convenciones de Barcelona, Josep Lluís Mateo se enfrenta a tener que dar una solución constructiva y estructural a ese espacio de 76 metros de luz. Se trata de un edificio en planta que se asemeja a un cuadrado (130x165m) y en el que pueden diferenciarse en dos cuerpos: (Imagen 3.1. e Imagen 3.2)



Imagen 3.2. Planta total acotada. (7)

- **Cuerpo Lateral:** Edificación de planta rectangular de 84x165m. que se puede subdividir en dos secciones diferentes entre sí tanto por su uso como por su geometría. Dicho cuerpo se encuentra formado por grandes cerchas que salvan toda la luz y se encargan de soportar los correspondientes forjados formados, en general, por entramados de vigas metálicas. (Imagen 3.3)

El pórtico central está formado principalmente por pórticos que se encuentran dispuestos entre tres alineaciones de pilares que salvan luces de 30 y 10 metros, aproximadamente. Dichos pórticos son los encargados de soportar tres niveles de forjado que a continuación se detallan:

- El forjado de planta primera, que soporta espacios dedicados a salas de reuniones.
- El forjado de planta segunda que corresponde a un espacio diáfano.
- El forjado de cubierta, sobre el que descarga toda la estructura formando la cubierta singular del CCIB.

Esta sucesión de niveles puede verse alterada por el hecho de que en determinados pórticos desaparece el nivel de cubierta y la planta segunda se convierte en una terraza. También es necesario comentar la aparición, en algunos de los pórticos laterales, de un nivel intermedio entre la planta baja y primera. Este hecho hace que varíe el diseño estructural de dichos pórticos, apareciendo una cercha por debajo de la primera planta.

Cabe comentar de dicha cercha la mención que sus diagonales son de mayor longitud que los montantes.

Todos los pórticos se ven condicionados por las grandes luces que tienen que cubrir y es por éste motivo que se recurre, en los niveles donde no existe la cercha comentada anteriormente, a la utilización de perfiles armados. Para poder resolver correctamente la estructura, el perfil armado resultante del cálculo de la viga será el mismo que el pilar que la soporta.

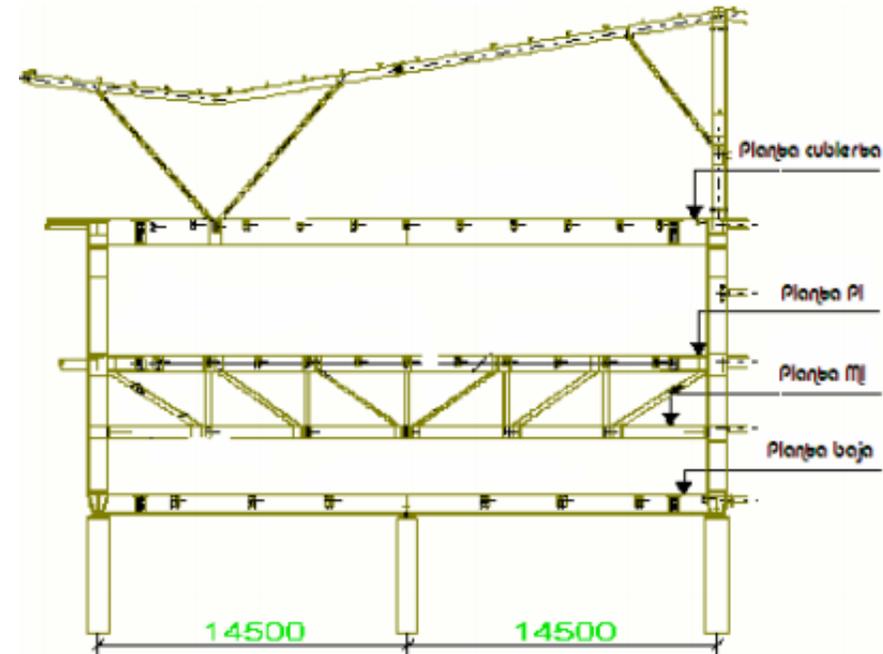


Imagen 3.3. Alzado de un pórtico tipo. (7)

- **Cuerpo Central:** También de planta rectangular (45x165m) formado por alineaciones de pórticos que soportan los tres niveles de forjados, así como los dos altillos situados entre plantas. (Imagen 3.4)

Esta parte de la estructura es la que presenta el rasgo más característico y singular del CCIB debido a que salva unos 80 metros libres de luz entre soportes, ofreciendo así un gran espacio destinado a usos de exposición. Se distinguen dos tipologías poco diferenciadas consistentes en dos tipos de cerchas que a continuación se detallan:

- La cercha tipo 1 se encuentra situada en la zona donde la planta baja dispone de mayor altura libre. En ésta se dispone de una doble celosía con una separación de 3 metros aproximadamente. El canto de dicha estructura es de 4,5 metros dejando espacio suficiente para el paso de instalaciones y el personal de mantenimiento.

El cordón inferior recibe el forjado de cubierta y el superior permanece arriostrado transversalmente cubriendo el paso de instalaciones, lo que ayuda a evitar los problemas de pandeo lateral de dicho cordón comprimido.

- La cercha tipo 2 se sitúa en la zona donde la altura libre del forjado de planta baja es de 7,5 metros y mantiene también un canto de 4,5 metros. En éste caso, el cordón inferior es el que recibe el forjado de la planta primera, donde se encuentran numerosas salas de reunión. Es por tanto, en el cordón superior sobre el que descarga la cubierta de dicho cuerpo.

El comportamiento típico de una celosía comporta el peligro de pandeo lateral del cordón superior. Es por este motivo que las de tipo 1 están formadas por dos celosías conectadas entre sí. Las de tipo 2, por el hecho de estar a una cota más baja, se encuentran conectadas a las correas que unen dichos pórticos en celosía.

Por último comentar que las uniones rígidas también presentan dos tipologías coincidiendo con cada uno de los tipos de cerchas. En cuanto a las uniones de las cerchas tipo 1 se plantean soldadas con rigidizadores y las de las de tipo 2 son uniones atornilladas.

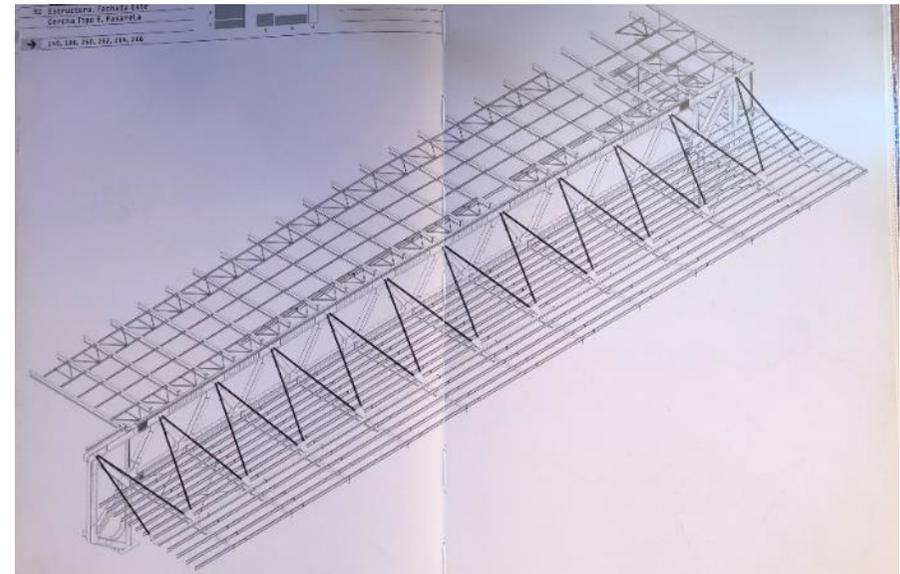


Imagen 3.4. Alzado de la celosía tipo. (7)

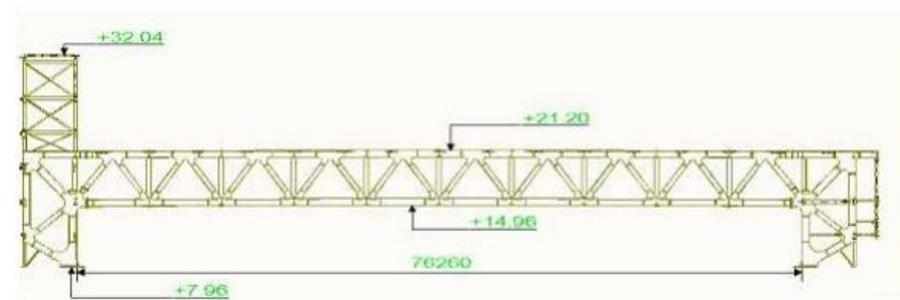


Imagen 3.5. Alzado de la celosía tipo 2. (7)

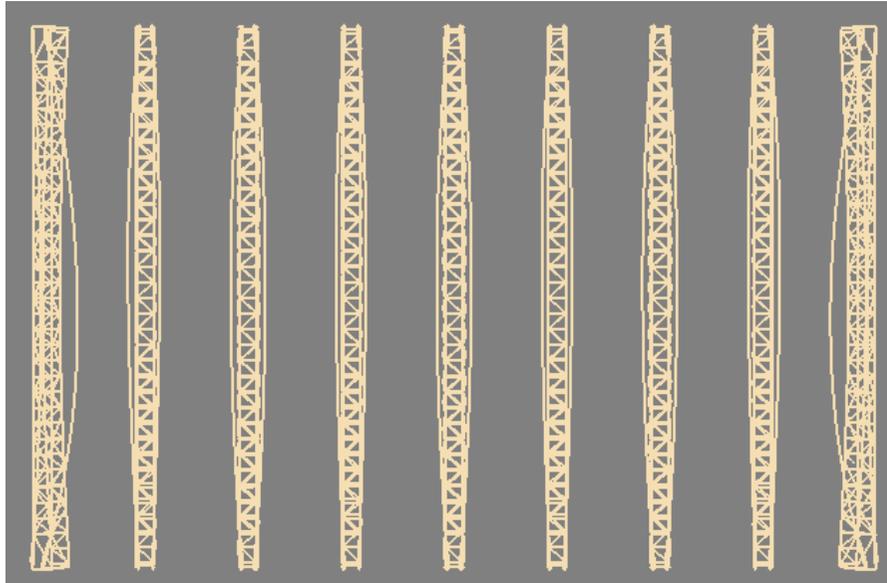


Imagen 3.6. Pandeo lateral del CCIB.

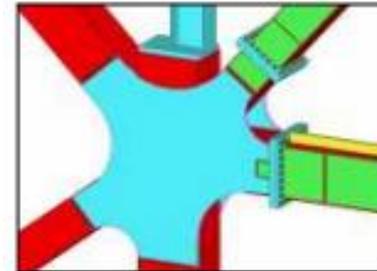


Imagen 3.8.a. Uniones de las cerchas tipo 1, soldadas con rigidizadores.

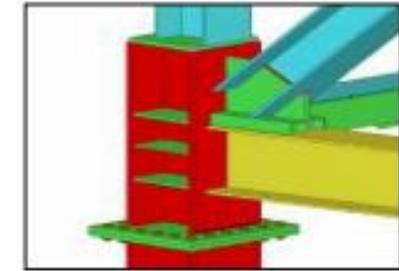


Imagen 3.8.b. Uniones de las cerchas tipo 2, uniones atornilladas.

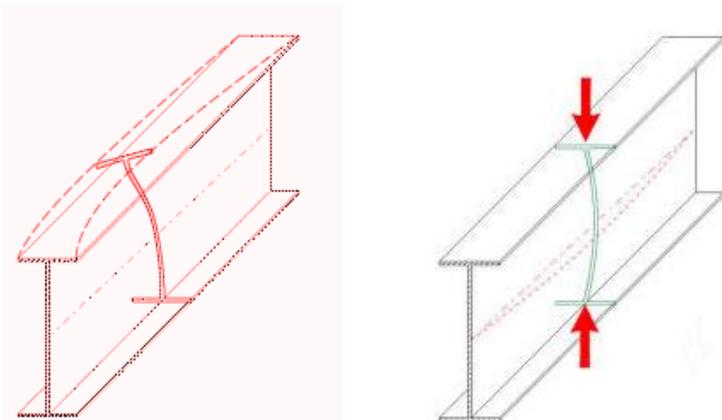


Imagen 3.7. Fenómeno de pandeo lateral.

3.2- ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y SU MODELIZACIÓN

Para estudiar el comportamiento de la estructura del Centro de Convenciones internacionales de Barcelona de Josep Lluís Mateo se realiza una modelización virtual con la ayuda del programa informático Architrave. El modelado se centra en la parte de la estructura aérea, obviando la estructura convencional de los espacios enterrados ya que es independiente de la estructura singular del centro de convenciones. En el modelo realizado del CCIB no se han tenido en cuenta ni los huecos en los forjados, ni las escaleras.

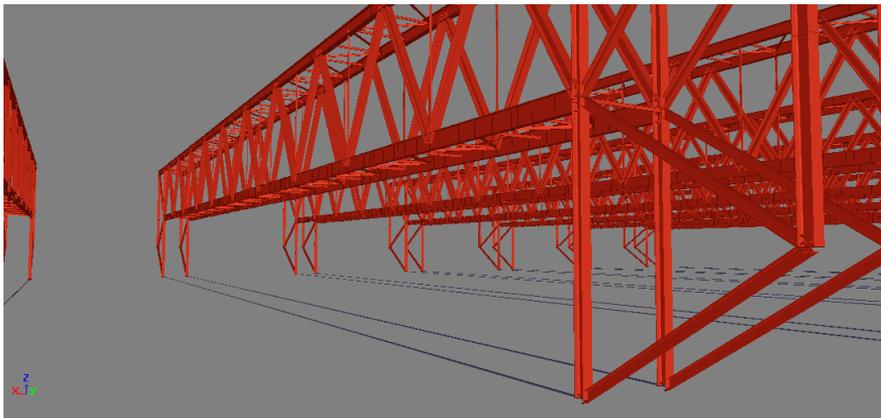


Imagen 3.9. Modelización celosías tipo 2. Elaboración propia

Debido a las grandes dimensiones y geometrías complejas de todos los elementos que componen la estructura, estos no se pueden modelizar como elementos lineales, barras, sino que se deben tratar como elementos superficiales que se calculan mediante el método de elementos finitos. De este modo, la semejanza del modelo con la realidad es mayor.

El método de los elementos finitos es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales. Este método consiste en dividir un elemento superficial en muchos elementos más pequeños que están interconectados. Cada una de estas subdivisiones es un elemento finito al que se les asignan unas condiciones de contorno, ecuaciones de equilibrio y ecuaciones constitutivas (tensión-deformación).



Imagen 3.10. Obra en construcción.

El software informático se encarga de resolver el sistema de ecuaciones para cada uno de los elementos, mostrando los resultados globales de la estructura.

El cálculo mediante elementos finitos permite un estudio detallado sobre las solicitaciones, tensiones y deformaciones de cada punto dentro de una gran malla superficial, lo que hace especialmente adecuado para edificios con gran presencia de elementos estructurales superficiales como el CCIB de Josep Lluís Mateo.

Para obtener unos buenos resultados que se aproximen a la realidad se debe realizar una correcta modelización (condiciones de contorno, tipo de uniones, etc). Además, cuantos más pequeños sean los elementos superficiales mayor será la precisión, tanto para el cálculo de solicitaciones, deformaciones y esfuerzos, como para adaptarse a la geometría real del elemento estructural.

Para la modelización del centro de convenciones internacionales se han utilizado unos 3000 elementos superficiales que componen una celosía tipo 2. Todos ellos apoyados en el terreno por 12 apoyos. Se les ha asignado acero S-275, con un módulo de elasticidad de 210.000 N/mm^2 , y un coeficiente de Poisson de 0.3. (Imagen 3.8)

Dicha estructura está formada tanto en su cordón superior e inferior como en sus diagonales y montantes por perfiles normativos del tipo H o I (normalmente). El cordón superior e inferior está dimensionado con HEA y el cordón inferior y montantes con IPE. Sin embargo las diagonales están formadas con perfiles tipo IPE y HEB. Sin embargo tanto las correas paralelas a la celosía como las perpendiculares están predimensionadas con IPE.

El forjado se modeliza como elementos finitos 2D.

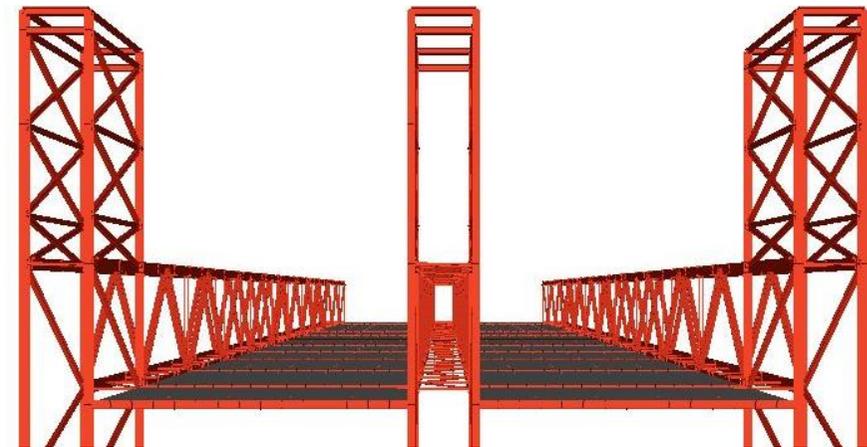


Imagen 3.11. Modelización de elementos finitos. Elaboración propia

Comentar también que los nudos de la estructura no son objeto de análisis en el presente proyecto están formados, en el caso particular de la cercha de estudio, por uniones rígidas atornilladas.

Se han realizado diversos modelos de la estructura, el primero de los modelos es con dos apoyos fijos, lo cual implica que los apoyos están sobredimensionados.

El segundo de los modelos se modeliza con un apoyo fijo y otro deslizante, pero al aplicar las cargas de peso propio el apoyo deslizante se desplaza. Para corregir este desplazamiento se coloca un tirante el cual está pretensado.

A continuación se aplican las cargas permanentes y el apoyo deslizante vuelve a desplazarse por lo tanto el tirante vuelve a pretensarse para que el

apoyo vuelva a su coordenada inicial.

Finalmente cuando se aplican las cargas variables dicho apoyo se deslizará pero este deslizamiento es mucho interior al que se produciría sin el cable. Por lo tanto la función del tirante es disminuir las dimensiones de los apoyos y también reducir los desplazamientos del apoyo deslizante. De este modo hay menos fisuras y grietas.

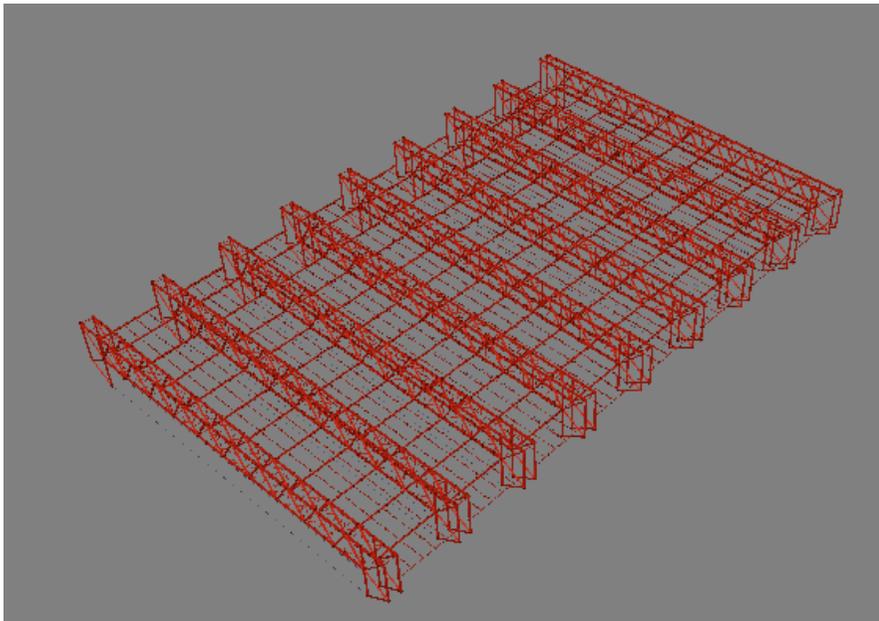


Imagen 3.12. Modelización estructura completa. Elaboración propia

3.3- ASIGNACIÓN DE CARGAS

Para la asignación de cargas sobre la estructura del Centro de Convenciones internacionales de Barcelona se sigue lo establecido con el CTE, con concreto en el Documento Básico de Seguridad Estructuras-Acciones en la edificación. Se establecen 3 tipos de cargas distintas: permanentes, variables y accidentales. Para el análisis del CCIB se tendrán en cuenta las cargas permanentes, las variables de uso, nieve y viento y la fuerza del tesado de los cables. Dada la complejidad del modelo informático y la gran envergadura del trabajo, no se aplican las acciones accidentales como el sismo y el incendio. Se sugiere, como otro futuro trabajo de grado, el estudio de esta interesante estructura bajo el efecto de estas acciones.

CARGAS PERMANENTES

Las cargas permanentes son básicamente las formadas por el peso propio de la estructura y de los elementos constructivos como pavimentos, tabiquería, cerramientos, falsos techos etc. Además del posible mobiliario o maquinaria fija.

En lo referentes al CCIB, se considera que el peso propio de la estructura supone un porcentaje muy elevado de las cargas gravitatorias permanentes totales, ya que se trata de una estructura pesada de acero.

El software informático Architrave utilizado para el análisis calcula el peso del material al indicar que es acero S-275 y el espesor en cada tramo. Por este motivo, no es necesario introducir de manera externa las cargas correspondientes al peso propio de la estructura.

Forjado mixto de chapa grecada 6+8 cm

pp: $3+0.4=3.4$ kN/m² (peso propio)

cp: 0.6 kN/m² (cargas permanentes)

su + n= $5+0.4= 5.4$ kN/m² (sobrecarga de uso y nieve)

Cubierta de vidrio

pp: 0.3 kN/m² (peso propio)

cp: 0.55 kN/m² (cargas permanentes)

su + n= 0.4 kN/m² (sobrecarga de uso y nieve)

El peso propio a tener en cuenta es el de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, la tabiquería, todo tipo de carpinterías, revestimientos, rellenos y equipo fijo.

A continuación, detallamos en las figuras adjuntas los valores considerados por el Código Técnico con respecto al peso propio tanto de los forjados, como de los demás elementos estructurales

Tabla C.5 Peso propio de elementos constructivos

Elemento	Peso	
Forjados	kN / m ²	
	Chapa grecada con capa de hormigón; grueso total < 0,12 m	2
	Forjado unidireccional, luces de hasta 5 m; grueso total < 0,28 m	3
	Forjado uni o bidireccional; grueso total < 0,30 m	4
	Forjado bidireccional, grueso total < 0,35 m	5
Losa maciza de hormigón, grueso total 0,20 m	5	
Cerramientos y particiones (para una altura libre del orden de 3,0 m) incluso enlucido	kN / m	
	Tablero o tabique simple; grueso total < 0,09 m	3
	Tabicón u hoja simple de albañilería; grueso total < 0,14 m	5
	Hoja de albañilería exterior y tabique interior; grueso total < 0,25 m	7
Solados (incluyendo material de agarre)	kN / m ²	
	Lámina pegada o moqueta; grueso total < 0,03 m	0,5
	Pavimento de madera, cerámico o hidráulico sobre plastón; grueso total < 0,08 m	1,0
	Placas de piedra, o peldañado; grueso total < 0,15 m	1,5
Cubierta, sobre forjado (peso en proyección horizontal)	kN / m ²	
	Faldones de chapa, tablero o paneles ligeros	1,0
	Faldones de placas, teja o pizarra	2,0
	Faldones de teja sobre tableros y tabiques palmeros	3,0
	Cubierta plana, recrecido, con impermeabilización vista protegida	1,5
	Cubierta plana, a la catalana o invertida con acabado de grava	2,5
Rellenos	kN / m ³	
	Agua en aljibes o piscinas	10
	Terreno, como en jardineras, incluyendo material de drenaje ⁽¹⁾	20

⁽¹⁾ El peso total debe tener en cuenta la posible desviación de grueso respecto a lo indicado en planos.

En el CCIB el forjado es chapa grecada y la cubierta es plana con impermeabilización vista protegida. Los pavimentos son de madera, cerámicos o hidráulicos con espesor menor a 8 cm y los cerramientos son tabiques simples con espesor menos a 9 cm o hoja simple de albañilería con espesor inferior a 14 cm. En los cerramientos exteriores se han empleado hojas de albañilería con espesor inferior a 25 cm así como muros cortinas o cerramientos acristalados.

CARGA VARIABLE

Se entiende por cargas variables aquellas que no tienen un carácter permanente, es decir, que actúan únicamente durante un intervalo de tiempo. Además el valor de la carga en el momento que actúa no es constante. Las cargas variables más significativas son la sobrecarga de uso, el viento y la sobrecarga de nieve.

En cuanto a la sobrecarga de uso, se establece lo recogido en la tabla “3.1 Valores característicos de las sobrecargas de uso” del DB SE-Acciones en la edificación del CTE (Imagen 3.9). Se estima una sobrecarga de uso de 5 kN/m² en todos los forjados excepto en el de cubierta donde es de 1 kN/m² debido a que es una cubierta con inclinación inferior a 20°.

Tabla 3.1 Valores característicos de las sobrecargas de uso

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

Imagen 3.13. Valores característicos de sobrecargas de uso. (CTE-DB-SE)

CARGA DE NIEVE

Respecto a la carga de nieve, solo se tiene en cuenta en el forjado superior. De acuerdo con el apartado 3.5 del CTE-DB-SE-AE Nieve, el valor de la carga se obtiene a partir de la expresión $q = u \cdot s_k$, donde u es el coeficiente de forma de la cubierta y s_k el valor característico de la carga de nieve sobre el terreno horizontal. Al tratarse de una cubierta plana (inferior a 20°) $u = 1$, para la provincia de Barcelona, estableciéndose por tanto un valor de 0.4 kN/m². (Imagen 3.10)

$$q = u \cdot s_k = 1 \cdot 0.4 = 0.4 \text{ kN/m}^2$$

Tabla 3.7 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	690	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	SanSebastián/Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	10	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	1.090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia/València	0	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	690	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	520	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	650	0,4
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	210	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Imagen 3.14. Carga de nieve. (CTE-DB-SE)

CARGA DE VIENTO

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

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

q_b : la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0.5 kN/m².

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. (Imagen 3.11)

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

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

Imagen 3.15. Coeficiente de exposición. Acción de viento. (CTE-DB-SE).

c_p : el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma de la cubierta, en este caso se considerará cubierta plana, por lo tanto el valor de succión será de -0.2 y el de presión de 0.2. Se emplea la tabla D.4 del Anejo D2 del DB-AE del CTE.

h _p /h	A (m ²)	Zona (según figura), -45° < θ < 45°			
		F	G	H	I
Bordes con aristas	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-0,2
0,025	≥ 10	-1,6	-1,1	-0,7	0,2
	≤ 1	-2,2	-1,8	-1,2	-0,2
Con parapetos	≥ 10	-1,4	-0,9	-0,7	0,2
	≤ 1	-2,0	-1,6	-1,2	-0,2
0,05	≥ 10	-1,2	-0,8	-0,7	0,2
	≤ 1	-1,8	-1,4	-1,2	-0,2

Imagen 3.16. Anejo D2 del DB-AE del CTE.. Acción de viento.

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \text{ kN/m}^2 \times 3.5 \times (-0.2) = -0.35 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \text{ kN/m}^2 \times 3.5 \times 0.2 = 0.35 \text{ kN/m}^2$$

CARGA DE TESADO

El modelo se encuentra pretesado, técnica que hace la obra un proyecto de interesante análisis de estudio. El efecto del tesado de los tirantes sobre la

estructura se ha modelizado como una carga puntual sobre cada apoyo.

Para conocer el valor de esa carga puntual se supone una carga de 100kN en el modelo realizado en Autocad. A continuación en Architrave se calcula el desplazamiento en los apoyos con la combinación de peso propio + tesado, sabiendo que el desplazamiento en el apoyo deslizante tiene que ser de 0 cm. Para obtener un desplazamiento de 0 cm se va variando el factor por el que se multiplica el tesado hasta conseguir que el desplazamiento sea 0 cm.

En el caso del CCIB se obtiene que se multiplica el tesado por un factor igual a 7,4. Por lo tanto la fuerza puntual es igual a 100kN x 7,4 = 740 kN.

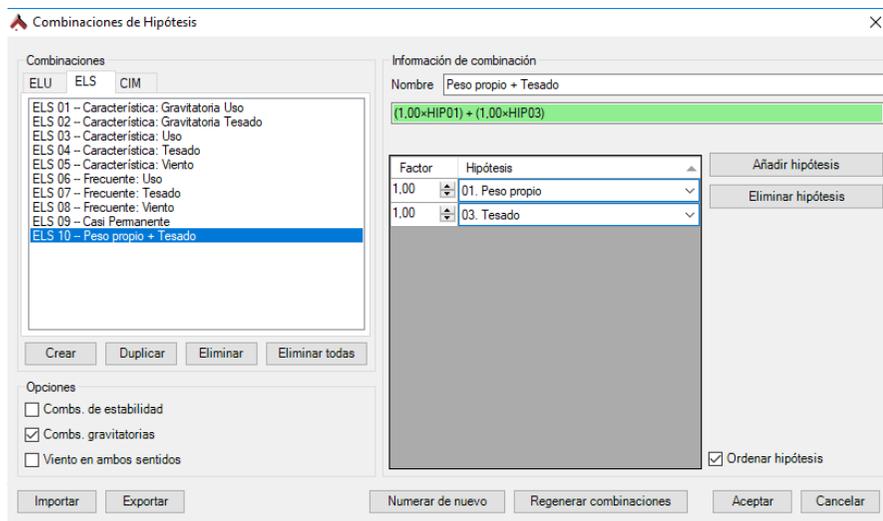


Imagen 3.18. Captura Architrave, combinación ELS peso propio + tesado.

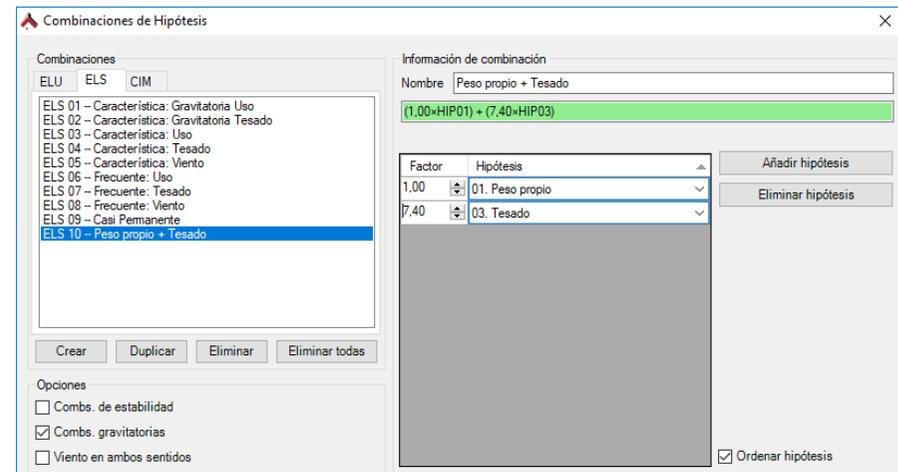


Imagen 3.17. Captura Architrave, combinación ELS peso propio + tesado.

A continuación se vuelve al modelo de Autocad donde se cambia el valor de 100kN que había supuesto por el valor real de 740 kN. De este modo, la

combinación de peso propio + tesado va multiplicada por un factor de 1 y el desplazamiento es de 0cm en esta combinación.

Por lo tanto en las celosías centrales la fuerza de tesado es de 740 kN y en las celosías laterales la fuerza de tesado será 370 kN, o lo que es lo mismo, la mitad.

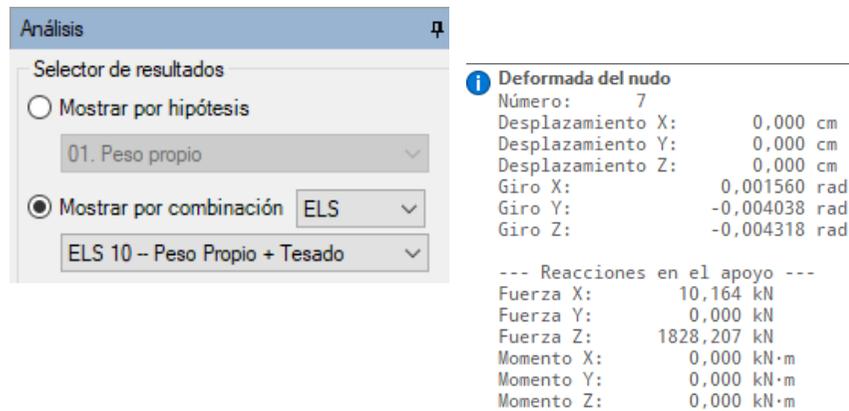


Imagen 3.19.a. Captura Architrave, deformada del nudo.

Imagen 3.19.b. Captura Architrave, análisis de resultados.

El tesado se considera una carga de efecto favorable, entonces en todas las combinaciones el tesado irá multiplicado por 0.9.

Este valor es debido a que las cargas permanentes tienen un coeficiente de ponderación γ_{fg} y

cuando el efecto es favorable $\gamma_{fg}=0,9$.

CARGAS ACCIDENTALES

Según la norma del NCSE-02, se especifica que ésta no es de aplicación obligatoria en los casos de edificación de importancia espacial o normal cuando la aceleración sísmica básica sea inferior a 0.04g, siendo g la aceleración de la gravedad

La norma establece que un edificio de importancia normal es aquel cuya destrucción por el terremoto, pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos, siendo estos últimos los edificios englobados en la categoría de importancia especial.(NCSE-02, 2002)

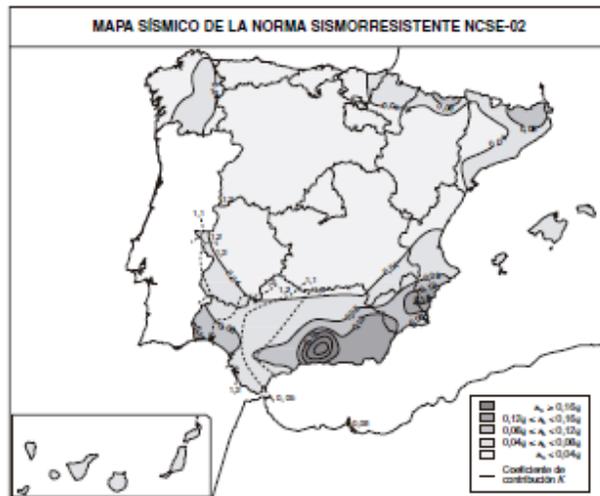


Imagen3.20. Plano de peligrosidad sísmica.

En la imagen correspondiente al mapa de peligrosidad sísmica, en Barcelona donde la aceleración básica es $0,04g$.

Debido a la complejidad y extensión de este trabajo, no aplicarán las cargas derivadas del efecto sísmico, quedando abierta la posibilidad de realizar un estudio sobre el efecto de sismo como ampliación a este trabajo.

3.4- COMBINACIÓN DE CARGAS

La combinación de cargas la realiza el programa Architrave una vez asignados los valores de ponderación de cada acción extraídos del DB SE.

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

Siendo:

- $G_{k,j}$ Valor característico de las acciones permanentes.
- $G_{k,j}$ Valor característico de las acciones permanentes de valor no constante.
- P Valor característico de la acción del pretensado.
- $Q_{k,1}$ Valor característico de la acción variable determinante.
- $\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$ Valor representativo de combinación de las acciones variables concomitantes.
- $\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$ Valor representativo frecuente de la acción variable determinante.
- $\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$ Valores representativos cuasipermanentes de las acciones variables con la acción determinante o con la acción accidental.
- A_k Valor característico de la acción accidental.
- $A_{E,s}$ Valor característico de la acción sísmica.

Los coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones en ELU son:

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

Imagen 3.21. Coeficientes parciales de seguridad ELU. (CTE-DB-SE).

Los coeficientes de simultaneidad a aplicar en ELU y ELS son:

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 F)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría G)	⁽¹⁾		
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	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

⁽¹⁾ En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Imagen 3.22. Coeficientes de simultaneidad ELU y ELS. (CTE-DB-SE).

En base a lo extraído del documento se establecen diferentes combinaciones de cargas en función de si se analizan los Estados Límites Últimos (ELU) o los Estados Límites de Servicio (ELS), estudiando en cada caso una acción variable como principal, quedando de la siguiente manera:

Estados Limites Últimos (Criterios resistentes).

Carga Gravitatoria de Uso como hipótesis variable principal:

$$(C1): 1.35 \times H1 + 1.5 \times H2 + (1.5 \times 0.5) \times H3 + 0.9 \times H5$$

Carga Gravitatoria de Nieve como hipótesis variable principal:

$$(C2): 1.35 \times H1 + (1.5 \times 0.7) \times H2 + 1.5 \times H3 + 0.9 \times H5$$

Carga de Uso como hipótesis variable principal:

$$(C3): 1.35 \times H1 + 1.5 \times H2 + (1.5 \times 0.5) \times H3 + (1.5 \times 0.6) \times H4 + 0.9 \times H5$$

Carga de Nieve como hipótesis variable principal:

$$(C4): 1.35 \times H1 + (1.5 \times 0.7) \times H2 + 1.5 \times H3 + (1.5 \times 0.6) \times H4 + 0.9 \times H5$$

Carga de Viento como hipótesis variable principal:

$$(C5): 1.35 \times H1 + (1.5 \times 0.7) \times H2 + (1.5 \times 0.5) \times H3 + 1.5 \times H4 + 0.9 \times H5$$

Hipótesis:

H1: Peso propio

H2: Uso

H3: Nieve

H4: Viento

H5: Tesado

Para simplificar los cálculos el viento (H4) será el más restrictivo, en este caso es el viento de presión.

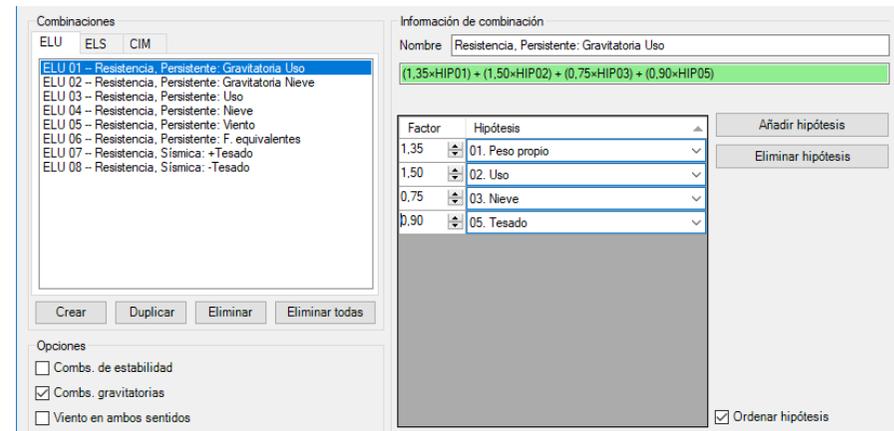


Imagen 3.23. Captura Architrave, combinación gravitatoria ELU Uso.

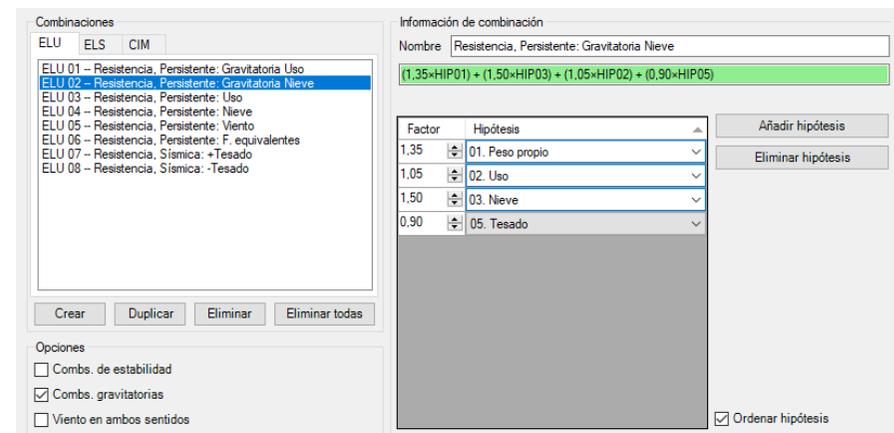


Imagen 3.24. Captura Architrave, combinación gravitatoria ELU Nieve.

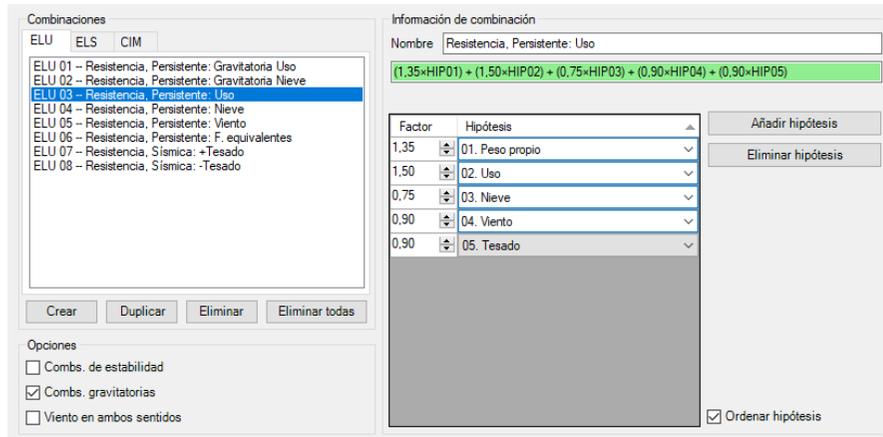


Imagen 3.25. Captura Architrave, combinación ELU Uso.

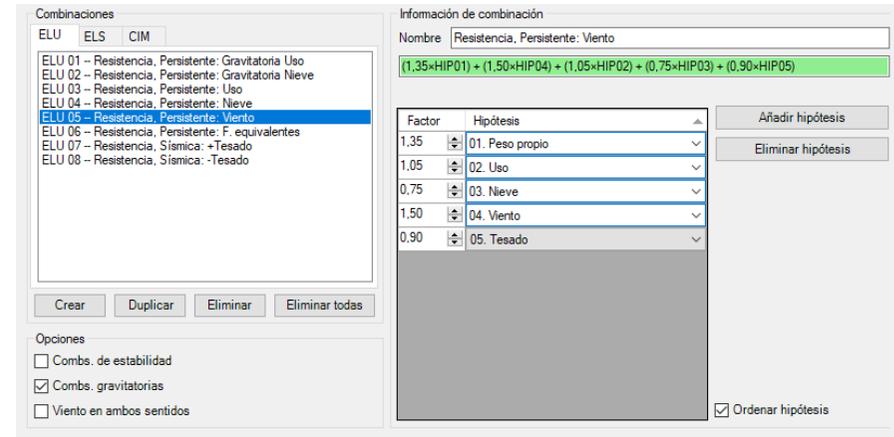


Imagen 3.27. Captura Architrave, combinación ELU Viento.

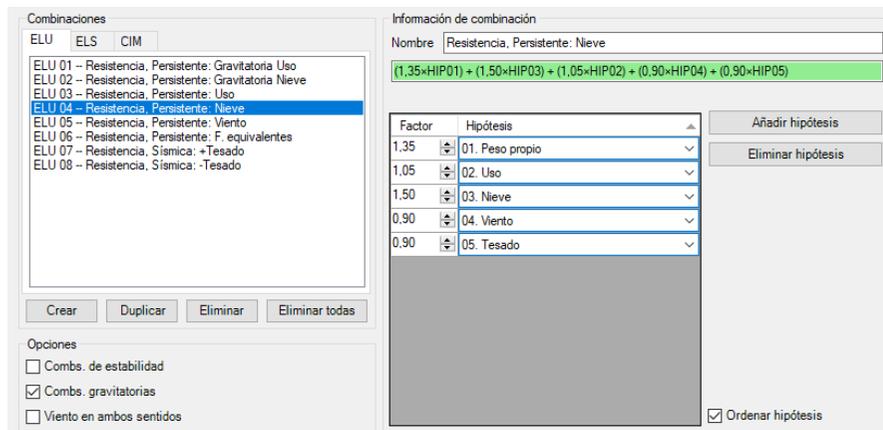


Imagen 3.26. Captura Architrave, combinación ELU Nieve.

Estados Límites de Servicio (Criterios de desplazamiento y deformación)

Carga Gravitatoria de Uso como hipótesis variable principal:

$$(C1): 1 \times H1 + 1 \times H2 + 0.5 \times H3 + 0.9 \times H5$$

Carga Gravitatoria de Nieve como hipótesis variable principal:

$$(C2): 1 \times H1 + 0.7 \times H2 + 1 \times H3 + 0.9 \times H5$$

Carga de Uso como hipótesis variable principal:

$$(C3): 1 \times H1 + 1 \times H2 + 0.5 \times H3 + 0.6 \times H4 + 0.9 \times H5$$

Carga de Nieve como hipótesis variable principal:

$$(C4): 1 \times H1 + 0.7 \times H2 + 1 \times H3 + 0.6 \times H4 + 0.9 \times H5$$

Carga de Viento como hipótesis variable principal:

$$(C5): 1 \times H1 + 0.7 \times H2 + 0.5 \times H3 + 1 \times H4 + 0.9 \times H5$$

H1: Peso propio

H2: Uso

H3: Nieve

H4: Viento

H5: Tesado

Para simplificar los cálculos el viento (H4) será el más restrictivo, en este caso es el viento de presión.

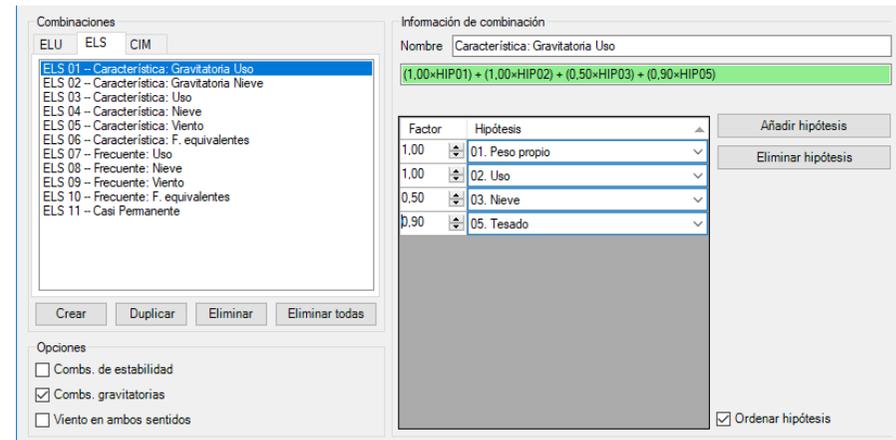


Imagen 3.28. Captura Architrave, combinación gravitatoria ELS Uso.

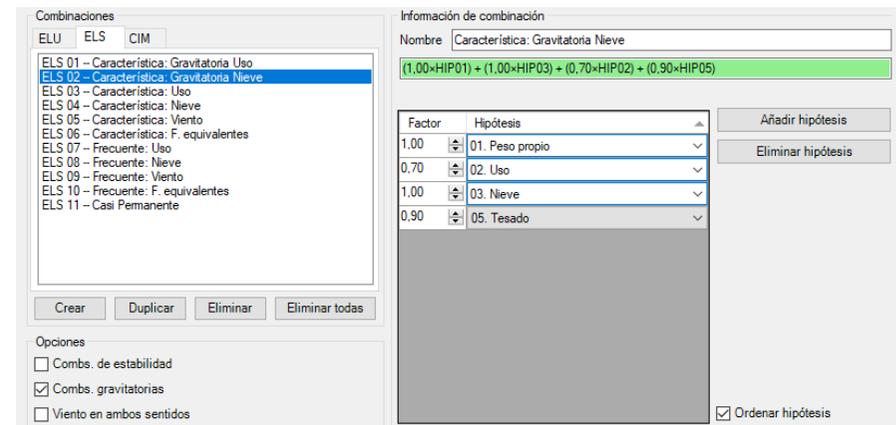


Imagen 3.29. Captura Architrave, combinación gravitatoria ELS Nieve.

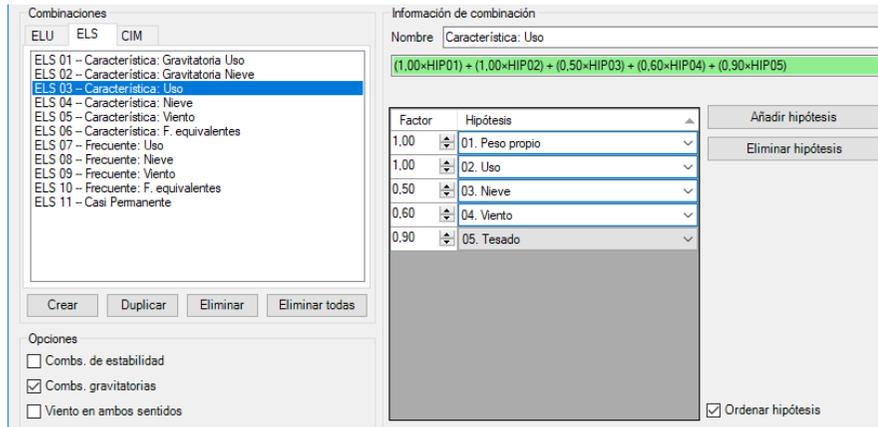


Imagen 3.30. Captura Architrave, combinación ELS Uso.

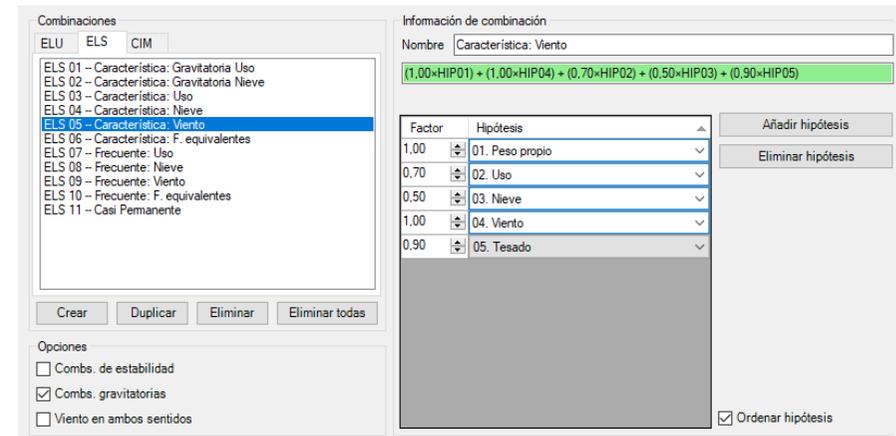


Imagen 3.32. Captura Architrave, combinación ELS Viento.

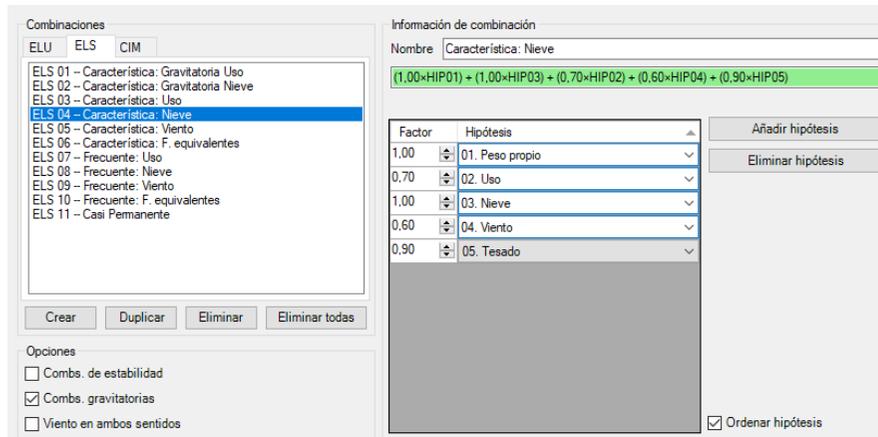


Imagen 3.31. Captura Architrave, combinación ELS Nieve.

Debido a la complejidad y extensión de este trabajo no se tendrá en cuenta la estabilidad lateral, las acciones equivalentes a las imperfecciones ni el efecto del sismo.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1- COMPORTAMIENTO GENERAL DE LA ESTRUCTURA

4.1-1. PESO PROPIO

Una vez realizado el modelo informático con las simplificaciones correspondientes y con las cargas aplicadas, se procede a obtener resultados mediante el programa informático Architrave. Con esta aplicación informática obtenemos los valores de las tensiones, de los momentos flectores, axiles y cortantes, así como la deformación que se produce en la estructura.

En la imagen 4.1 se muestra la forma en la que deforma la estructura, distinguiendo cuáles son los puntos de mayor deformación. Se observa como en el centro de la cercha la estructura deforma más que en los extremos. Esto se debe fundamentalmente a que las luces y distancias son mayores.

Se observa también, mediante la representación de la deformada, cual es el funcionamiento de la estructura. Se distingue claramente como el forjado estira las cerchas hacia abajo. También se deduce el funcionamiento de cada una de las cerchas gracias a la deformación mostrada en la imagen 4.1.

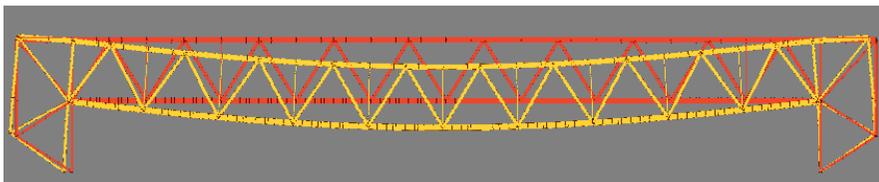


Imagen 4.1. Representación de la deformada general del CCIB. Elaboración propia.

Conviene destacar la importancia de las cerchas intermedias. Estas cerchas intermedias proporcionan gran estabilidad al conjunto, produciéndose una menor deformación en esta zona, tal y como se aprecia en las imágenes anteriormente comentadas.

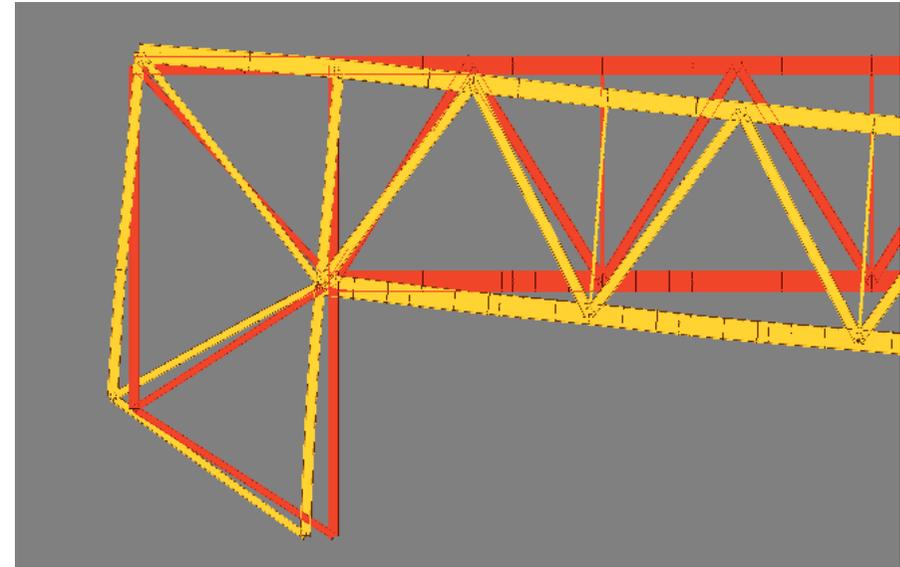


Imagen 4.2. Deformada en el apoyo deslizante con HIP-01. Elaboración propia.

En la imagen 4.2 se muestra la deformada en el apoyo deslizante. En él la estructura deforma -4.06 cm, lo cual indica que la estructura se mueve hacia el lado izquierdo.

4.1-2. TESADO

A continuación, analizan los esfuerzos y desplazamientos a los que se encuentra sometido el modelo debido al tesado, técnica que hace de la obra un proyecto de interesante análisis y estudio.

En la imagen 4.3 se muestra la deformada en el apoyo deslizante con la hipótesis de tesado. En el apoyo deslizante la deformada es de -4.06 cm. Por lo tanto el deslizamiento del tesado es igual pero de signo contrario al deslizamiento de la hipótesis de peso propio.

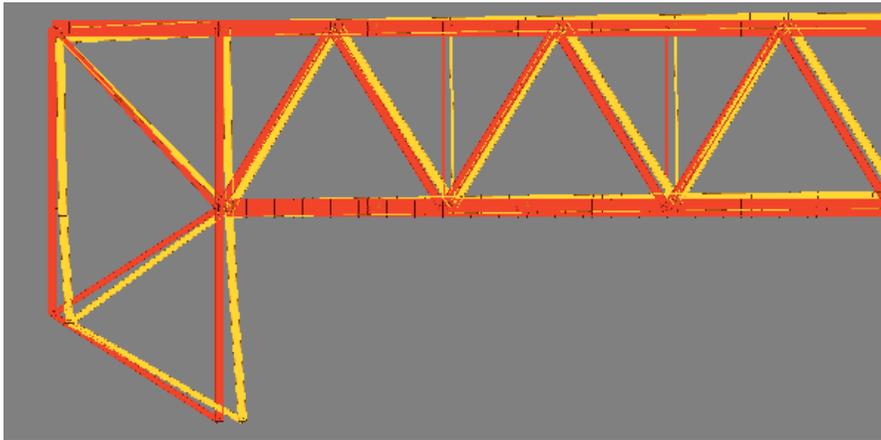


Imagen 4.3. Deformada en el apoyo deslizante con HIP-05. Elaboración propia.

Por lo tanto la fuerza calculada para el tesado es correcta ya que la deformada del peso propio se igual con la deformada del tesado. Entonces,

la deformada de la hipótesis peso propio + tesado es igual a 0 cm.

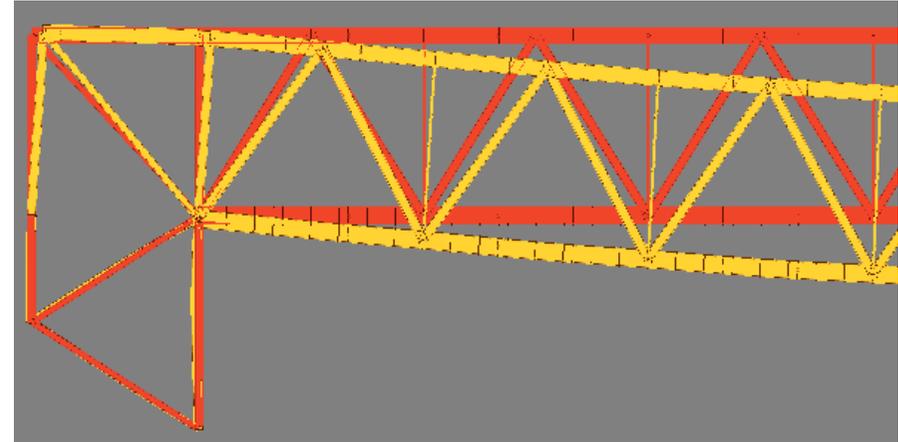


Imagen 4.4. Deformada en el apoyo deslizante con hipótesis PP + Tesado. Elaboración propia.

4.1-3. CARGAS GRAVITATORIAS

La siguiente hipótesis que se estudia es la debida a las cargas gravitatorias. Como lo que nos interesa es la deformada se calcula la deformada con la hipótesis más desfavorable de ELS.

La hipótesis más desfavorable es la carga gravitatoria de uso como hipótesis variable principal: (C1): $1 \times H1 + 1 \times H2 + 0.5 \times H3 + 0.9 \times H5$

En el centro de vano es el punto donde más deformación hay. En dicho punto la estructura deforma -15.72 cm. Es una deformación muy grande pero es debida a que la luz del CCIB es de 80 metros. (Imagen4.5)

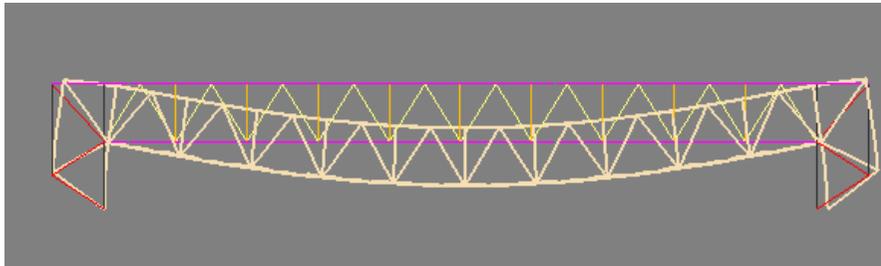


Imagen 4.5.b. Deformada de la estructura con la HIP-01 ELS. Elaboración propia

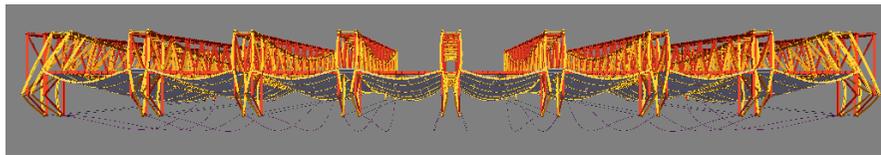


Imagen 4.5.a. Deformación estructural, alzado a. Elaboración propia.

Según el CTE La limitación de flecha activa establecida en general es de $1/500$ con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) pero cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura horizontal o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que $1/300$, en el caso del CCIB $80000\text{mm}/500 = 160 \text{ mm} = 16\text{cm}$ y $80000\text{mm}/300 = 266 \text{ mm} = 26.6\text{cm}$ por lo tanto la flecha obtenida en Architrave es válida.

En cuanto a los desplazamientos que experimenta la estructura bajo cargas gravitatorias, son los desplazamientos verticales los de mayor interés.

En la Imagen 4.6 se observa como la mayor deformación se produce en el centro de la cubierta. La deformación de los extremos de la celosía es de 1.55 cm a continuación la deformación en el punto medio de la celosía es de -12.64 cm, restando a esta última la semisuma de la anteriores se obtiene la flecha relativa que es -11.09 que al compararlo con la limitación, se observa que cumple.

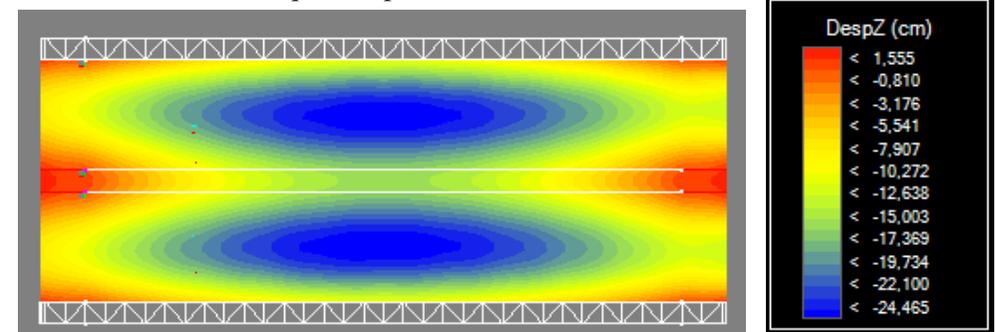


Imagen 4.6. Valores de los desplazamientos en Z. Elaboración propia.

A pesar de dicha luz y sección, los desplazamientos no son excesivos pues la estructura tiene menos desplazamientos verticales en las zonas próximas a las celosías. Pero en la zona central se pueden ocasionar fisuras o grietas en la tabiquería.

A continuación se compara la deformada de la estructura con la HIP-1 con la deformada de la estructura si no estuviese el tirante del tesado. (Imagen 4.7).

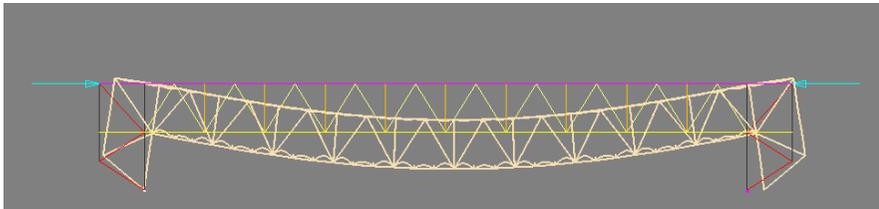


Imagen 4.7. Deformada de la estructura sin tesado. Elaboración propia

En el supuesto de que la estructura no tuviera el cable de tesado la deformada en el centro de la celosía aumentaría hasta -12.7 cm.

4.1-4. SOLO VIENTO

Para la hipótesis de viento, únicamente se analizan los desplazamientos horizontales en la dirección paralela a las fachadas. Como se aprecia en los diagramas, debido a la rigidez de la estructura, los desplazamientos crecen a medida que los puntos evaluados se alejan de los testeros, resultando 0 en estos. Los valores alcanzados en el centro son de -0.161 cm.

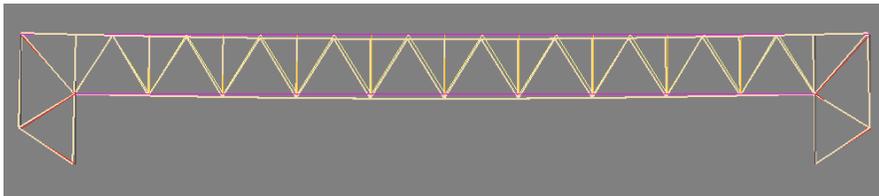


Imagen 4.8. Deformada de la estructura con la HIP-04. Elaboración propia

Como se puede observar los desplazamientos horizontales, los cuales alcanzan el valor de -0.161 cm son mucho menores que los desplazamientos verticales. Por este motivo se puede considerar que la fuerza de viento no afecta al CCIB.

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

4.1-5. SITUACIÓN MAS DESFAVORABLE

Para intentar explicar el comportamiento de la estructura de una forma más sencilla por analizar el comportamiento a resistencia de algunos de los elementos más característicos de esta, como los distintos tipos de barras de la celosía. En primer lugar para la hipótesis más desfavorable de ELU.

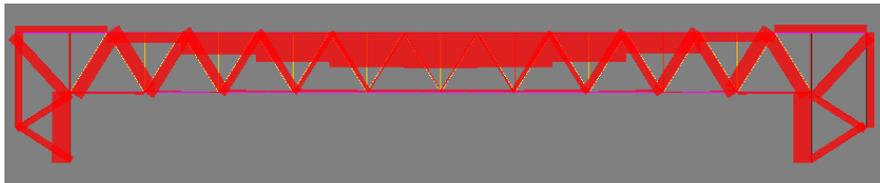


Imagen 4.9. Axiles celosía ELU. Elaboración propia.

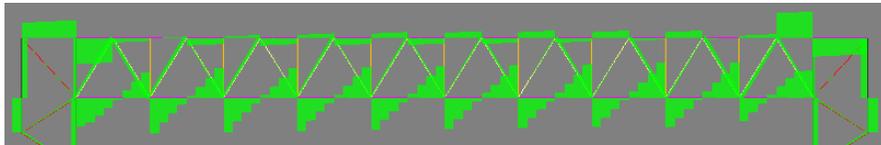


Imagen 4.10. Cortantes celosía ELU. Elaboración propia.

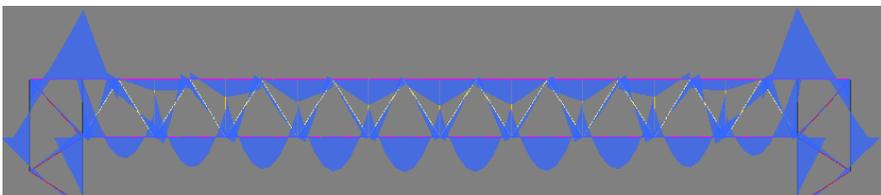


Imagen 4.11. Momentos celosía ELU. Elaboración propia.

Como se puede observar en todos los diagramas las sollicitaciones más grandes se concentran en el centro de vano en el cordón superior en el caso de los axiles. Los cortantes mayores se encuentran en el cordón inferior y los momentos máximos en los extremos de la celosía.

En el **cordón superior** se producen los axiles máximos, con los valores de 7401kN a compresión en el centro de vano y 1401kN a tracción en los extremos. En dicho cordón hay cortantes muy pequeños comparados con los del cordón inferior, los valores del cortante en el cordón superior varían entre 91.13kN en el extremo y -35.85kN en el centro. Los momentos máximos en el cordón superior se localizan en los extremos, siendo de -378.88 y en el centro de vano son de 138.67kN/m.

El **cordón inferior** se encuentra sollicitado a cortante y momento, debido a que los esfuerzos axiales son muy pequeños y pueden despreciarse. En el cordón inferior es donde se producen los máximos momentos, teniendo estos unos valores entre -171.8kN y 180.98kN. Las barras inferiores presentan momentos positivos menores a 186.03kN/m y negativos menores a -219.04kN/m.

En las **diagonales** también aparecen axiles de casi 2900kN, alternando barras traccionadas con barras comprimidas y aumentando el esfuerzo según se acercan al extremo. También se encuentran sollicitadas a momentos M_z con valores máximos de 65 kN/m y esfuerzos cortantes de máximo 60 kN.

Los montantes verticales prácticamente no se encuentran sollicitados a esfuerzos salvo a momentos con valores de hasta 55 kN/m.

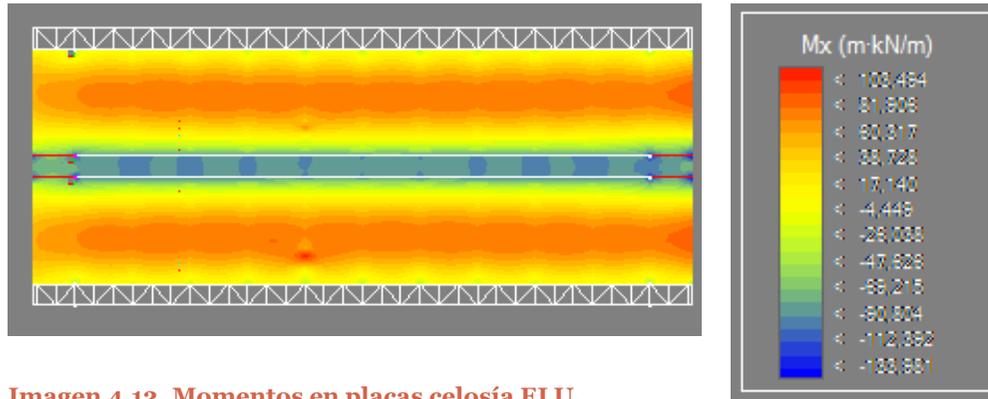


Imagen 4.12. Momentos en placas celosía ELU. Elaboración propia.

En la imagen 4.8 se muestran los valores de flexión en placa (M_x), los valores máximos se encuentran en el centro, en los puntos más alejados de la celosía. El valor máximo es de 103.48 kN/m pero en la mayoría de la superficie los valores oscilan entre 81.90 kN/m y -4.44 kN/m.

Como podemos observar en el mapa de colores cerca de la celosía los momentos en placa son negativos y pueden alcanzar los -133.98 kN/m en el punto con momento mínimo.

Finalmente realizo la deformada para la hipótesis más desfavorable de ELS.

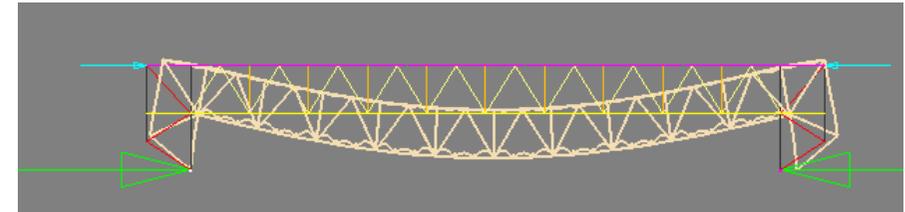


Imagen 4.13. Deformación HIP más desfavorable ELS. Elaboración propia.

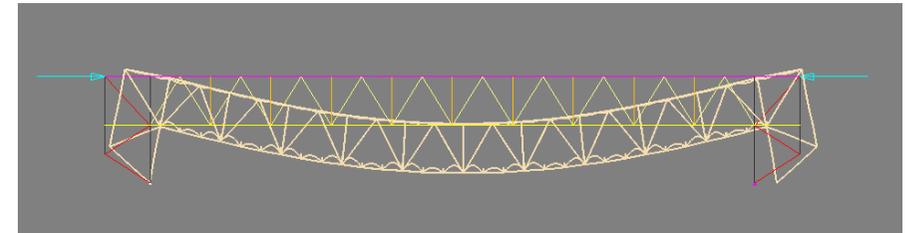


Imagen 4.14. Deformación HIP más desfavorable ELS.sin cable. Elaboración propia.

La hipótesis más desfavorable de ELS es la HIP-01 debido a que presenta una deformada de 1.5 cm en el extremo del cordón superior y de -13.45 cm en el centro del cordón, por lo tanto la flecha es de -11.95 cm. Se observa como el cordón superior esta comprimido y el inferior tracionada. En la deformada se puede observar como si no existiera el cable de tesado la deformada aumentaría hasta 13 cm.

4.2- DIMENSIONADO DE ELEMENTOS

Mediante este apartado se pretende profundizar en las distintas causas de fallo por resistencia de los perfiles. Para ello se selecciona una de las barras de la celosía que fallan a resistencia, la más representativa, para analizar en profundidad.

Se selecciona para el análisis la gran celosía y las correas que unen una celosía con la contigua y se peritan en detalle los diferentes tipos de barras (montantes, correas, cordón inferior, cordón superior...)

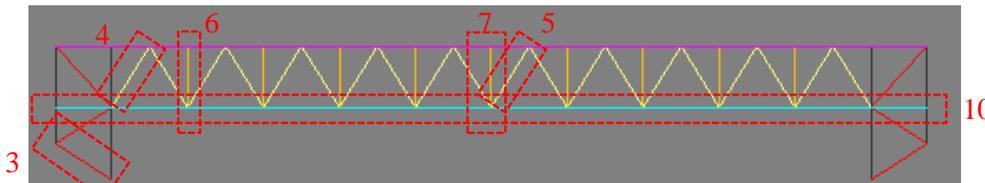


Imagen 4.15. Barras analizadas, alzado. Elaboración propia.

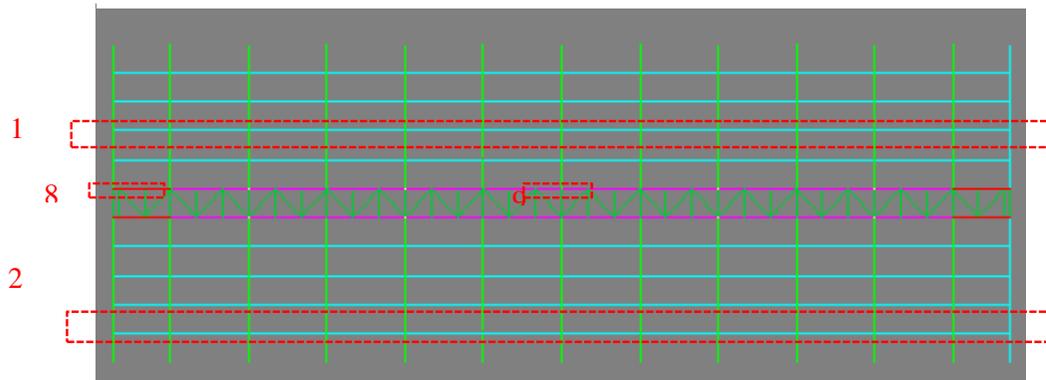


Imagen 4.16. Barras analizadas, planta. Elaboración propia.

BARRA 1: CORREA

Así analizando la correa obtenemos el peritaje que nos aporta Architrave sobre ella (Imagen 4.18) observando que cumple a resistencia, pandeo y flecha. Pero no se podría optimizar y colocar un IPE-80, debido a que entonces no cumpliría a pandeo ni flecha (Imagen 4.19). Por lo tanto el perfil metálico válido es un IPE-100.

Sección: IPE 100

Propiedades:

- Base: 5,51 cm
- Altura: 10,00 cm
- Área: 10,36 cm²
- Ix: 1,11 cm⁴
- Iy: 15,93 cm⁴
- Iz: 171,69 cm⁴

Material: ACERO_S275

Propiedades de acero: S275, Fyk: 275.000, Fu: 410.000

Pórtico de vigas:

- Nombre del pórtico: 82.2
- Nº de vigas: 1
- Viga actual: 82.2.1
- Longitud viga (m): 87.66

Comprobaciones: Cumple normativa

Resistencia:

- ELU desfavorable: 1
- Coefficiente Resistencia: 0.16
- Ten. Von Mises (N/mm²): 42.42
- Comprobaciones: Cumple

Pandeo:

- ELU desfavorable: 2
- Coefficiente Pandeo: 0.93
- β Pandeo plano XY local: 0.50
- β Pandeo plano XZ local: 0.50
- Chi Z: 0.01
- Chi Y: 0.00
- Comprobaciones: Cumple

Pandeo lateral:

- ELU desfavorable:
- Coefficiente Pandeo lateral: 0.00
- Chi lateral: 1.00
- Comprobaciones: Cumple

Flecha:

- ELS desfavorable: 3
- Coefficiente Flecha activa: 0.44
- Coefficiente Flecha instantánea: 0.35
- Coefficiente Flecha casi-permanente: 0.47
- Flecha relativa (elástica) (cm): -17.336
- Flecha activa (cm): 9.535
- Flecha instant. (cm): 8.668
- Flecha casi-perm (cm): 13.869
- Tipo de vano: Interior
- Flecha activa/L: 1/ 919
- Límite Flecha activa: 1/ 400
- Flecha instant./L: 1/ 1.011
- Límite Flecha instantánea: 1/ 350
- Flecha casi-perm/L: 1/ 632
- Límite Flecha casi-permanente: 1/ 300
- Comprobaciones: Cumple

Imagen 4.17. Peritaje barra 1. Captura architrave.

BARRA 2: CORREA

A continuación, se realiza el mismo proceso para la barra 2 que también corresponde a una correa. En el peritaje (Imagen 4.20) se observa que falla a pandeo por lo que será necesario disponer un perfil superior.

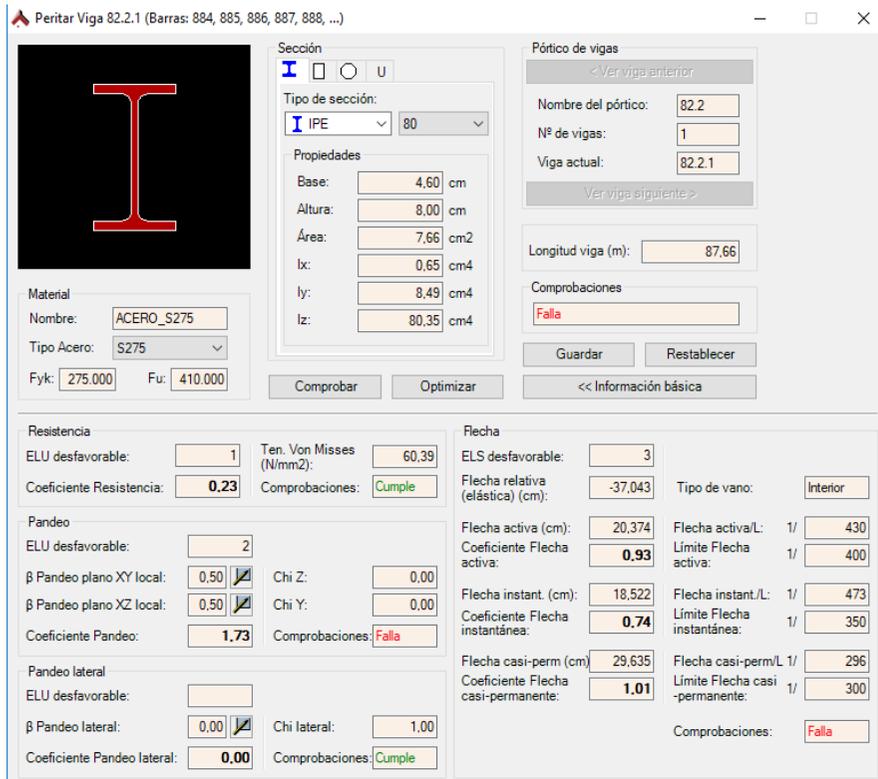


Imagen 4.18. Comprobación barra 1. Captura architrave.

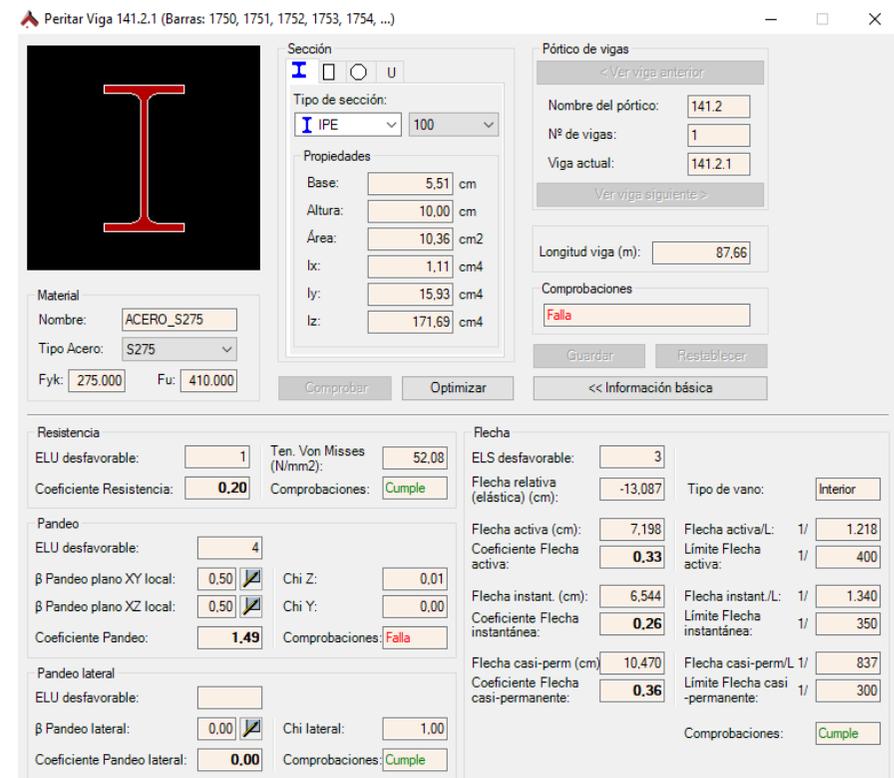


Imagen 4.19. Peritaje barra 2. Captura architrave.

Optimizando la barra se obtiene que esta cumpliría con un IPE-120. Como los cambios realizados en Architrave no consideran el peso propio, se decide sustituir la barra en el modelo de Autocad, volviendo a calcular la estructura y comprobando que efectivamente con el cambio realizado ahora la barra es capaz de resistir los esfuerzos que la solicitan. (Imagen 4.21)

BARRA 3: DIAGONAL APOYO

Posteriormente, se analiza una de las diagonales de los soportes. La barra cumple con un HEB-220 tanto a resistencia, pandeo y flecha, por lo tanto el perfil es válido. La diagonal del apoyo cumple justamente ya que está trabajando al 95% de su resistencia.

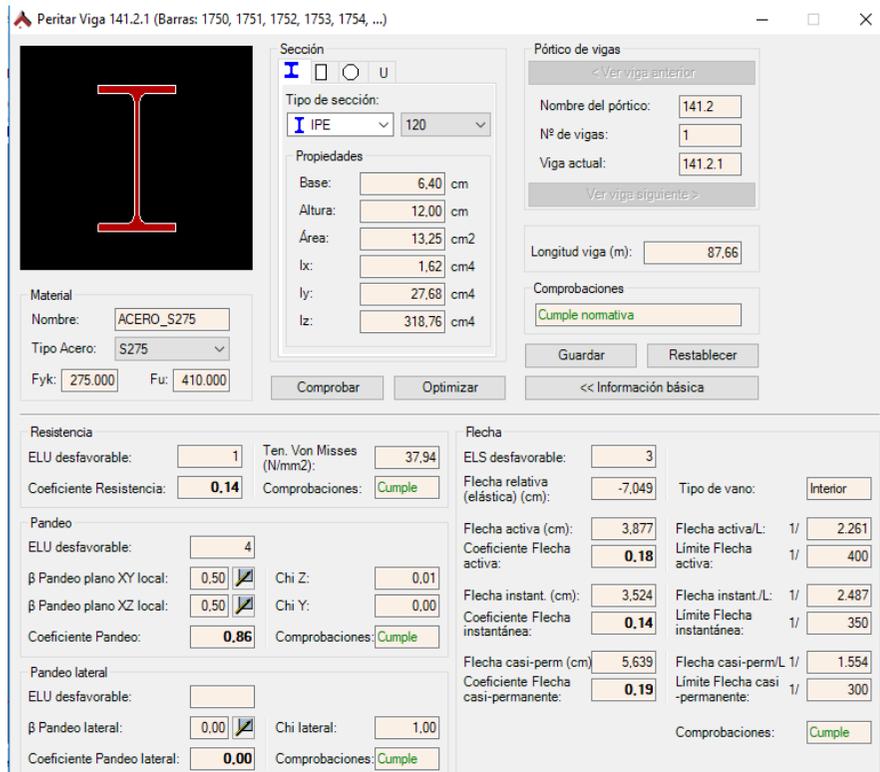


Imagen 4.20. Comprobación barra 2. Captura architrave.

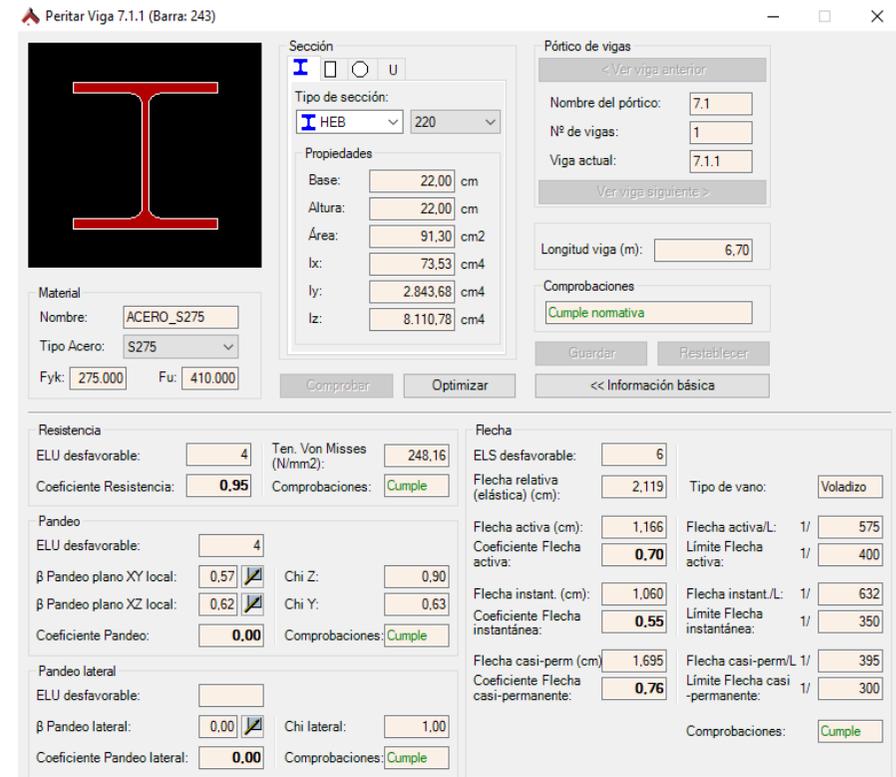


Imagen 4.21. Peritaje barra 3. Captura architrave.

BARRA 4: DIAGONAL EXTREMO

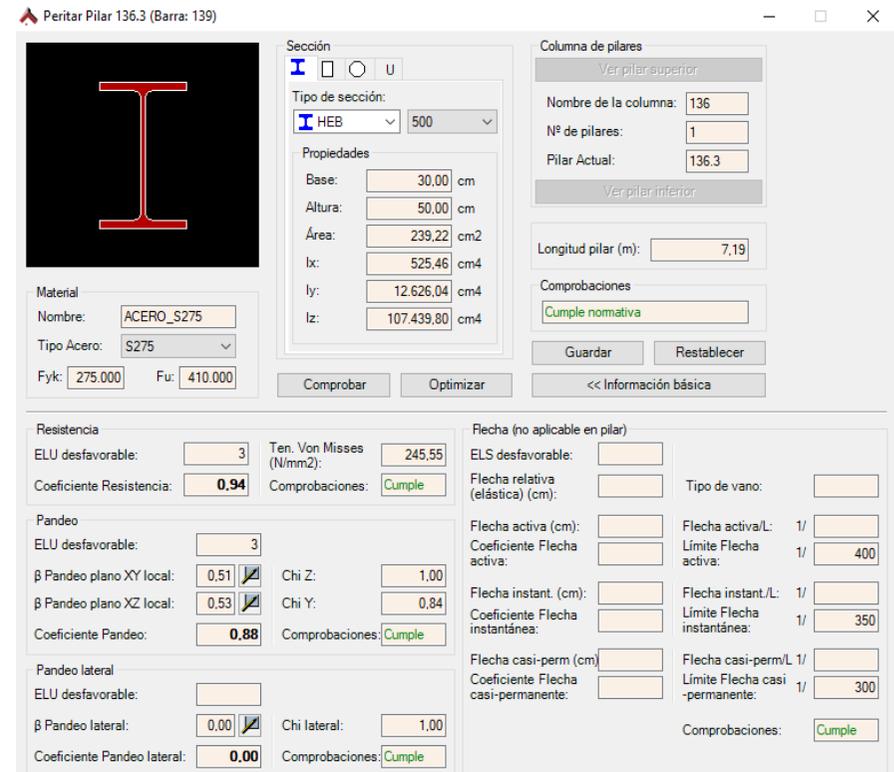
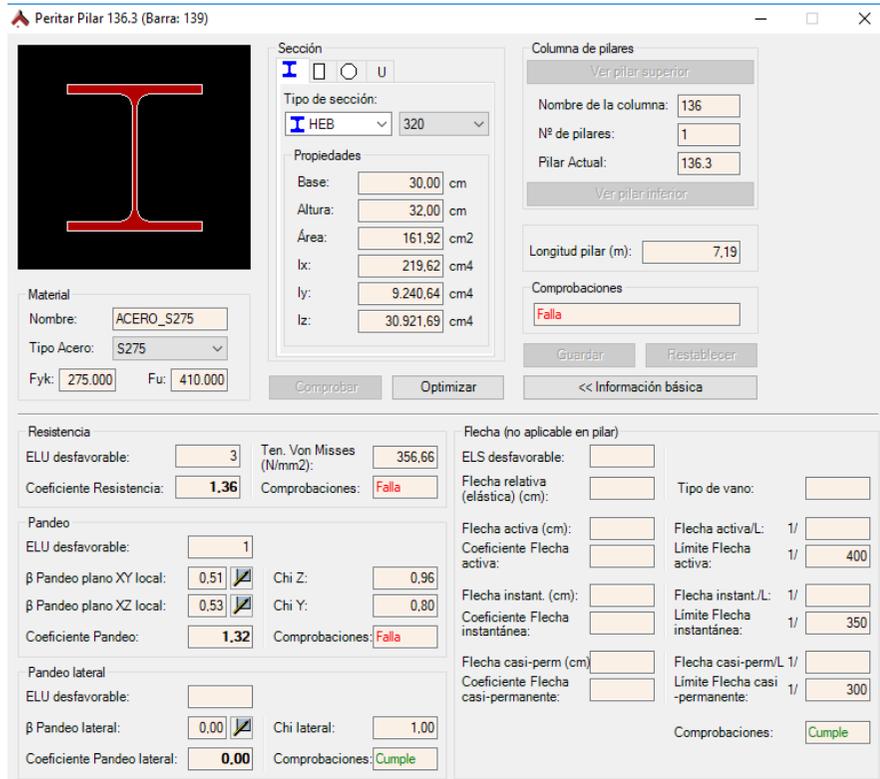


Imagen 4.22. Peritaje barra 4. Captura architrave.

La barra 4 que corresponde a la diagonal de la celosía falla a resistencia y pandeo. Esto se debe a que a estados limites últimos el perfil HEB-320 es desfavorable. Al igual que en los casos anteriores se decide saltar colocar un perfil mayor para que cumpla la barra a pandeo y resistencia.

Imagen 4.23. Comprobación barra 4. Captura architrave.

Finalmente se coloca un HEB-500 debido a que el HEB-340, HEB-360 y el HEB-400 no cumplen ni a resistencia ni a pandeo. El perfil HEB-450 no cumple por muy poco a resistencia ya que el coeficiente a resistencia que se obtiene es 1.02.

BARRA 5: DIAGONAL CENTRAL

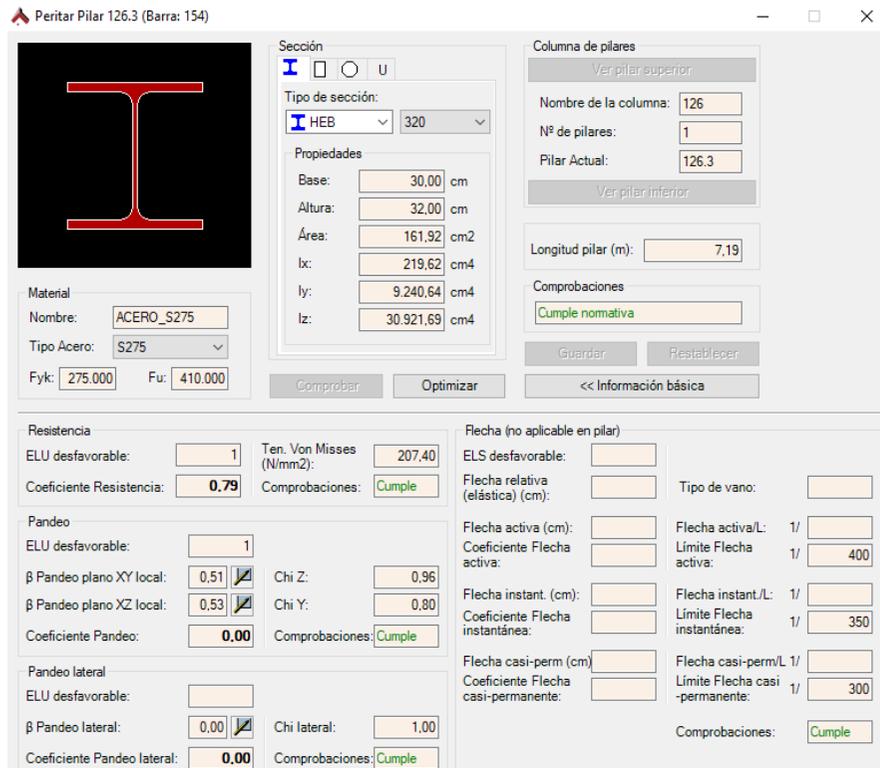


Imagen 4.24. Peritaje barra 5. Captura architrave.

Sin embargo la diagonal de la celosía que se encuentra más en el centro de la misma cumple con un HEB-320. Esto es debido a que en el centro del vano los estados limites último son menos restrictivos.

BARRA 6: MONTANTE EXTREMO

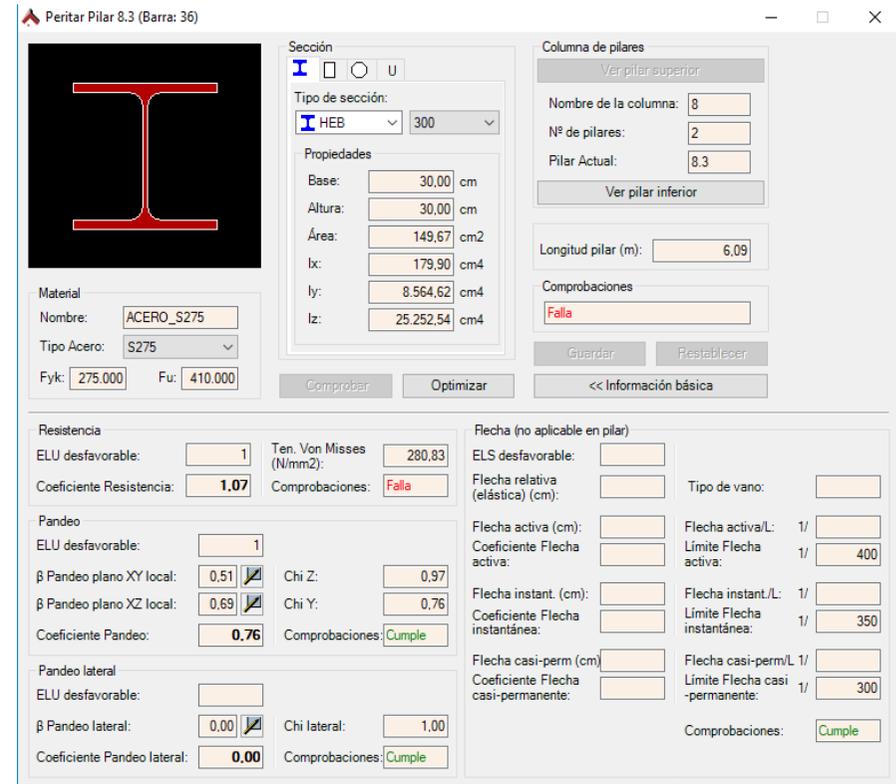


Imagen 4.25. Peritaje barra 6. Captura architrave.

El montante del extremo no cumple por muy poco a resistencia. El perfil HEB-300 no cumple.

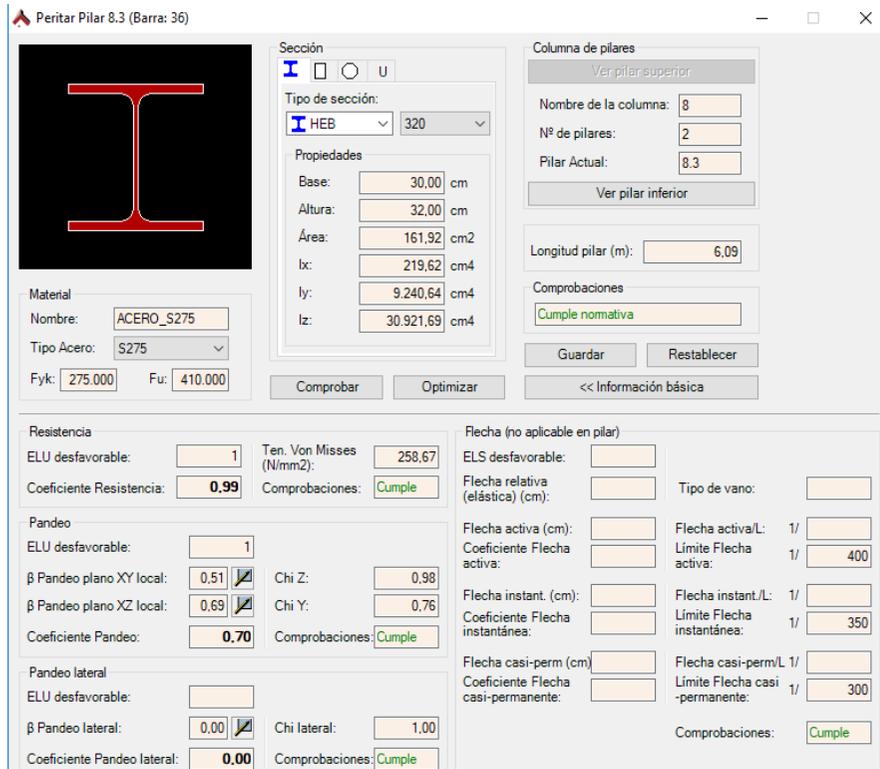


Imagen 4.26. Comprobación barra 6. Captura architrave.

El montante extremo cumple por muy poco con un perfil HEB-320. La barra tiene un coeficiente de 0.99, lo que significa que trabaja al 99% de su resistencia. En este montante la condición más restrictiva es la de resistencia.

BARRA 7: MONTANTE CENTRAL

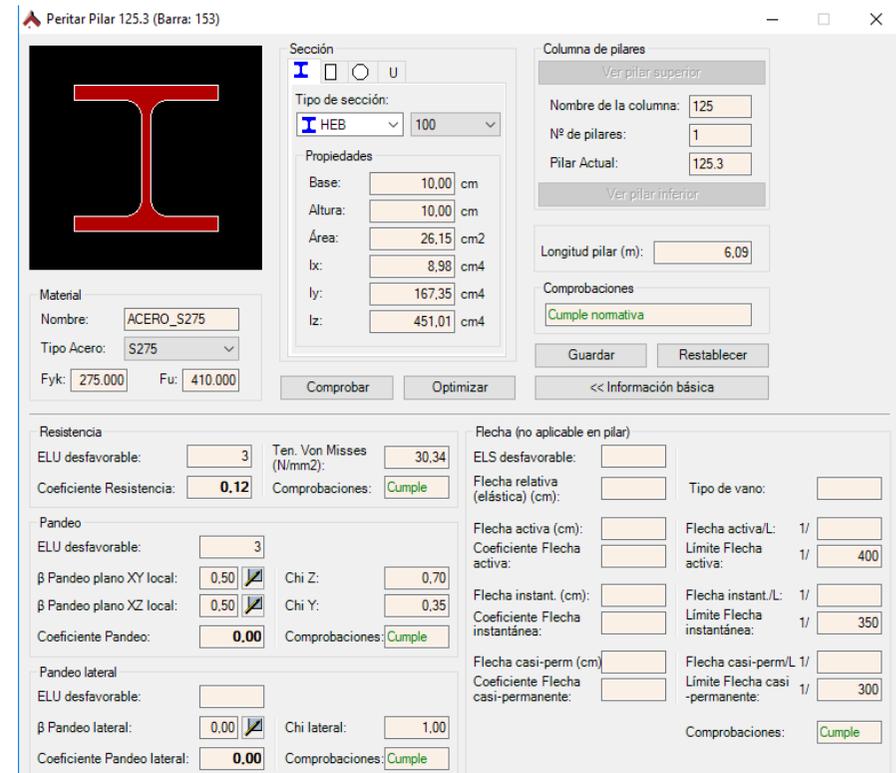


Imagen 4.27. Peritaje barra 7. Captura architrave.

Sin embargo, el montante central (barra 7) cumple con un HEB-100. En este caso el perfil no está solicitado a pandeo ni a pandeo lateral aunque si a resistencia pero solamente está trabajando al 12% de su resistencia, por ese motivo cumple sobradamente con el perfil más pequeño.

BARRA 8: CORDÓN SUPERIOR EXTREMO

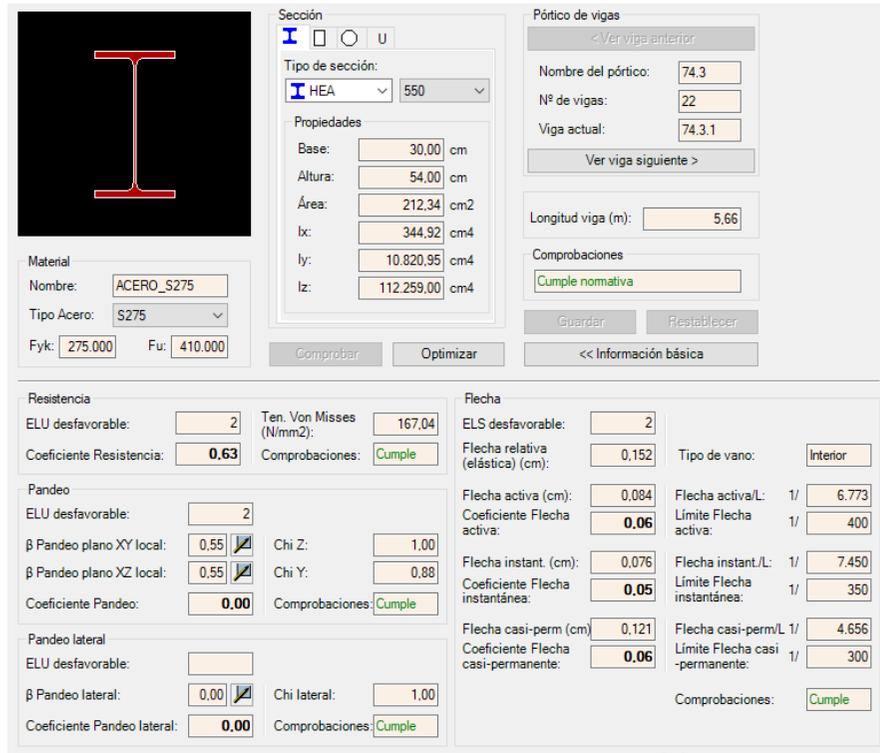


Imagen 4.28. Peritaje barra 8. Captura architrave.

El cordón superior cumple con un HEA-550 en el extremo de la celosía. El modelo estaba prediseñado con un perfil HEA-550 pero se ha redimensionado con un perfil menos para que el peritaje sea el más adecuado.

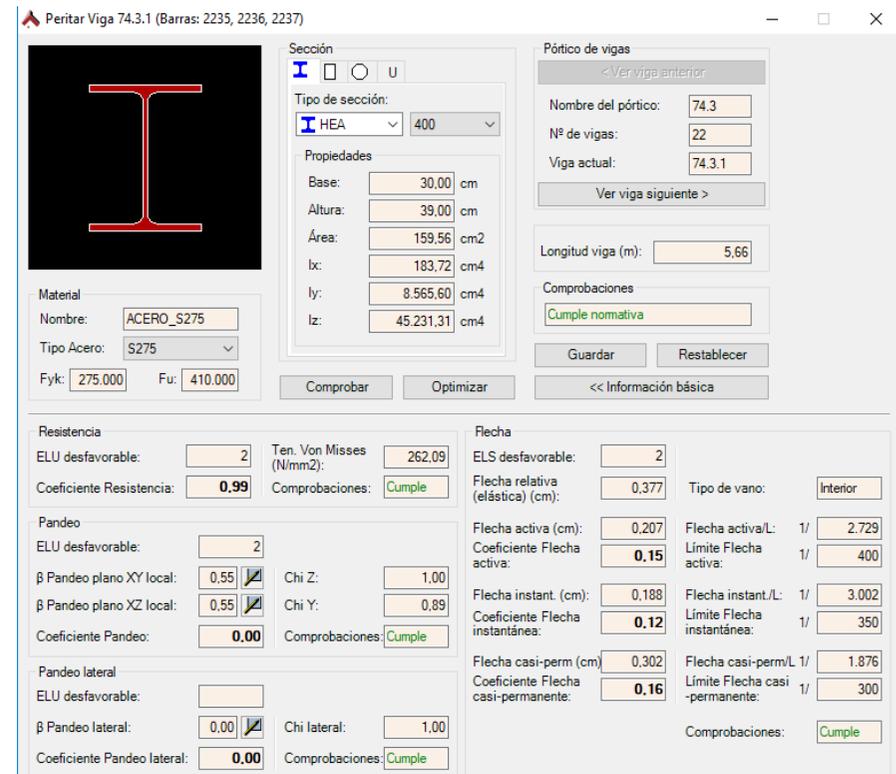


Imagen 4.29. Comprobación barra 8. Captura architrave.

Finalmente el cordón superior cumple con un perfil HEA-400, de este modo se optimiza más debido a que trabaja al 99% de su resistencia.

BARRA 9: CORDÓN SUPERIOR CENTRAL

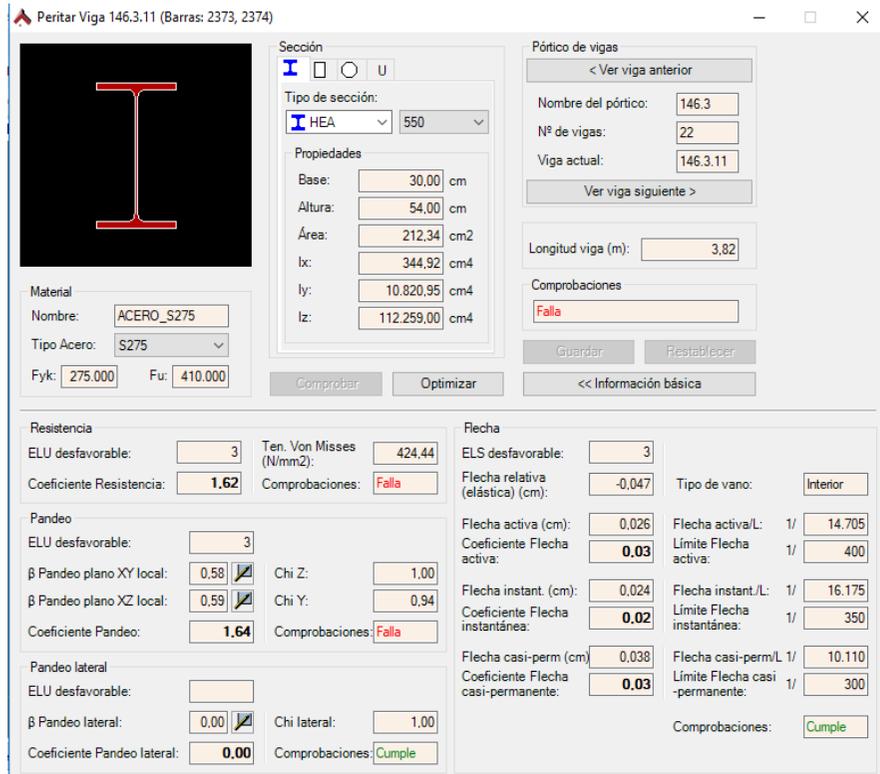


Imagen 4.30. Peritaje barra 9. Captura architrave.

Sin embargo, en el centro de la celosía el cordón superior falla a resistencia y pandeo con un HEA-550. El peritaje indica que supera la resistencia máxima del perfil en un 64%.

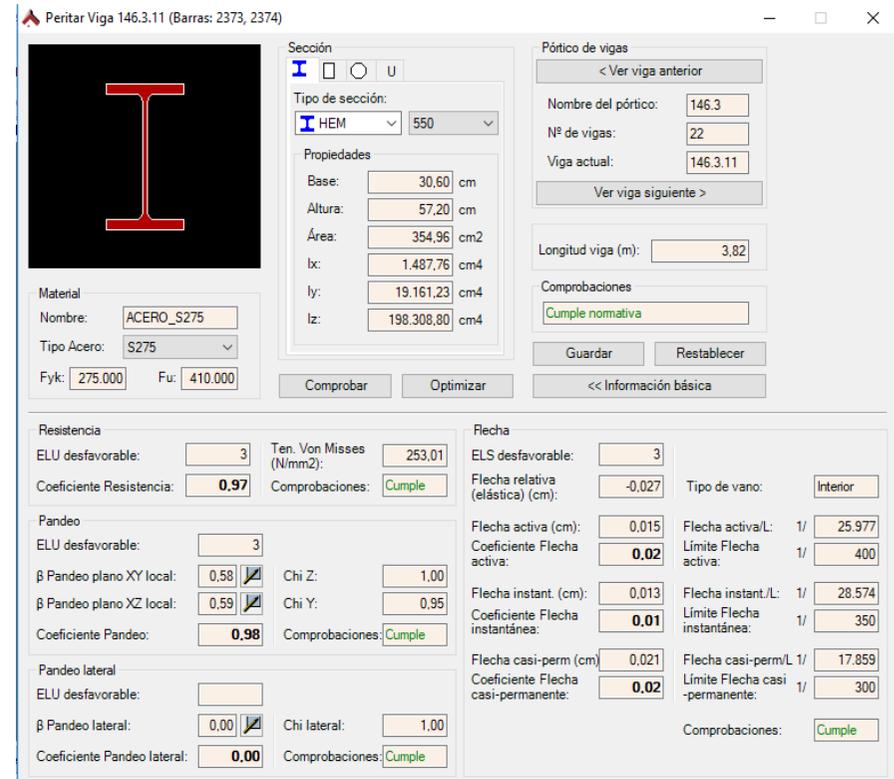


Imagen 4.31. Comprobación barra 9. Captura architrave.

BARRA 10: CORDÓN INFERIOR

Con un IPE-600 no cumple y como no existen perfiles HEA de mayor tamaño se decide cambiar a la gama de HEM y de este modo la barra cumple con un HEM-550.

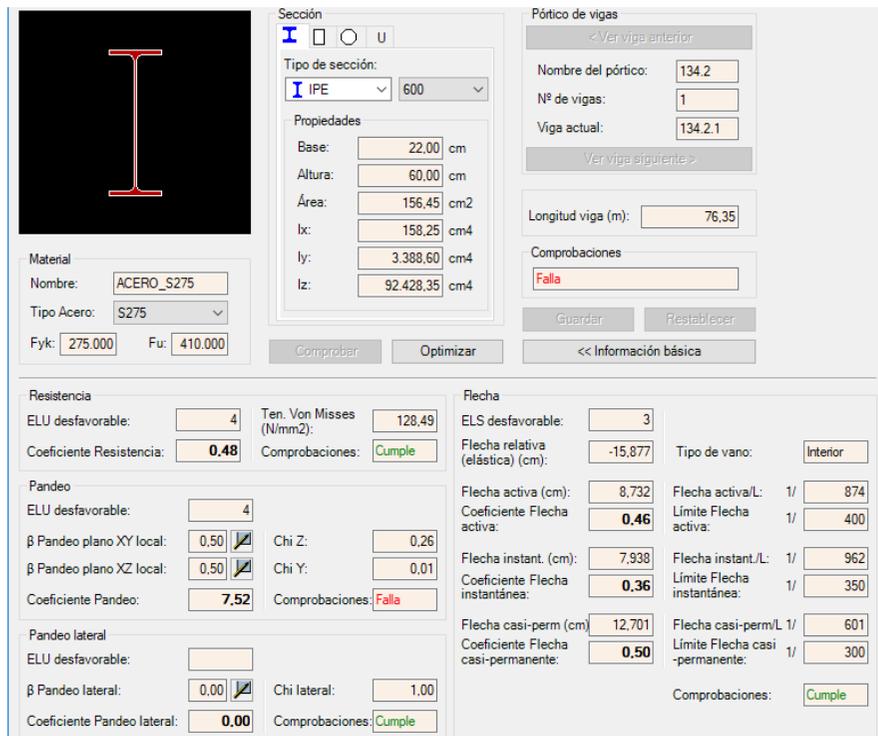


Imagen 4.32. Peritaje barra 10. Captura architrave.

La barra 10 es el cordón inferior, no cumple con el perfil IPE-600. Se redimensiona con otro perfil, debido a que es el más grande de la gama.

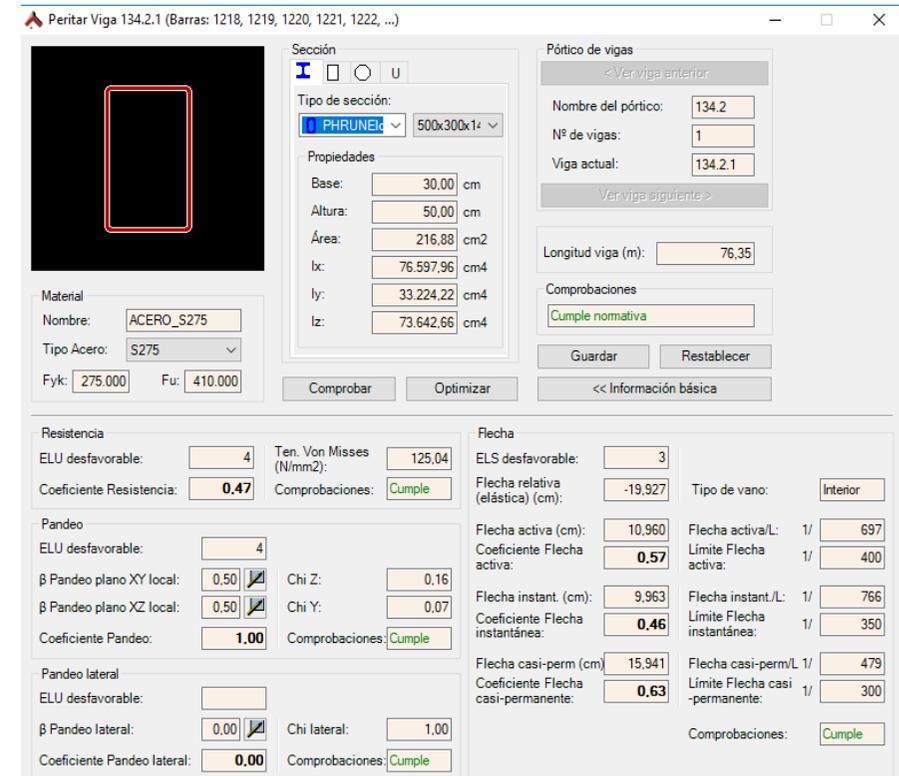


Imagen 4.33. Comprobación barra 10. Captura architrave.

El cordón inferior no cumple con ninguno de los perfiles IPE, IPN, HEB, HEA, HEM, UPN, 2UPN, L, LD. Para que la barra cumpla a pandeo se debe colocar un PHRUNEI 500x300x14.

BARRA 11: BARRAS COLOR VERDE.

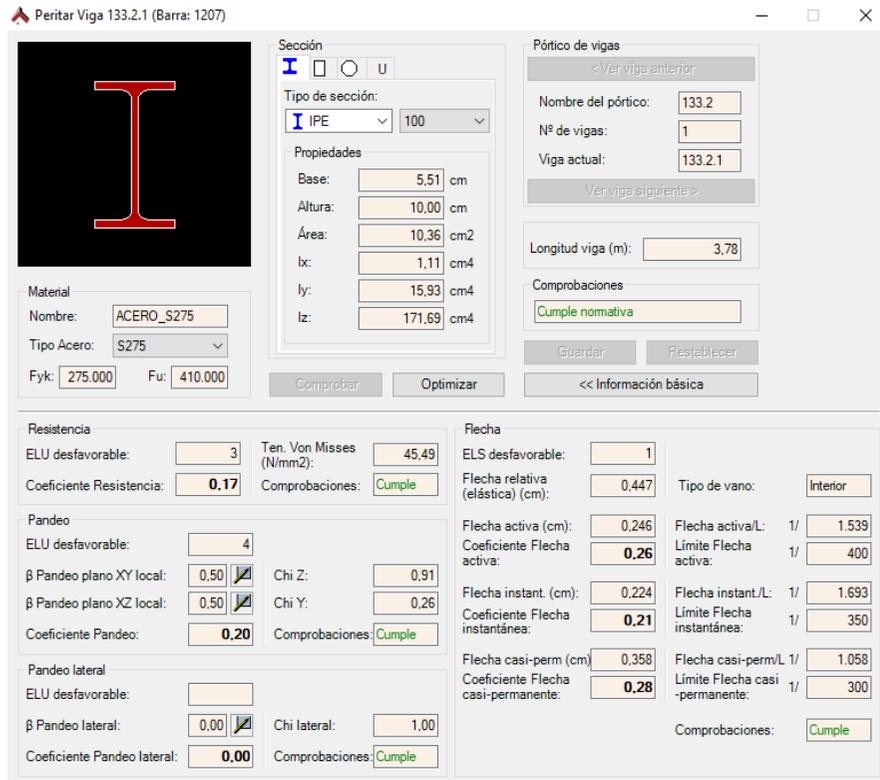


Imagen 4.34. Peritaje barras verdes. Captura architrave.

Las barras representadas de color verde tanto del cordón superior como del inferior cumplen sobradamente con un perfil IPE-100. (Imagen 4.35)

ANÁLISIS DE LOS TENSORES

Sabiendo que el valor de la fuerza del pretensado, calculada anteriormente, es de 740 kN y que el axil máximo que produce en el cordón superior de la celosía, teniendo en cuenta la combinación ELU que se compone del peso propio, la carga de nieve y la de uso y que por tanto está mayorada, es de 2877.62 kN, como se muestra en la imagen 74; el axil total que deberá soportar dicho tirante será de 3617.62 kN.



Imagen 4.35. Tensores CCIB. (7)

Teniendo en cuenta de que el área es igual al cociente entre la fuerza axil y el límite elástico, podremos obtener un valor con el cual poder dimensionar el tensor del CCIB.

A falta de información acerca del acero utilizado, se supo un acero de límite elástico $f_{yk} = 1500 \text{ N/mm}^2$, un tesado hasta el 90% del límite elástico y sabiendo que el axil total es de $2011.52 \text{ kN} = 2011520 \text{ N}$

$$F_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = (1500 \cdot 0.9) / 1.2 = 1125 \text{ N/mm}^2$$

$$\Omega = N_d / f_{yd} = 3617.62 / 1250 = 2894 \text{ mm}^2$$

Una vez establecida el área, se dividirá entre 20, que son el número de varillas que supongo que usó Josep Lluís Mateo. De manera que:

$$2894 / 20 = 144.7 \text{ mm}^2$$

$$\Omega = \pi \cdot r^2$$

$$r = \sqrt{\Omega / \pi} = 9.21 \text{ mm}$$

$$\varnothing = 18.42 \text{ mm}$$

Por lo tanto, optaremos por un diámetro de barra del 20, de manera que cumpla con los cálculos establecidos anteriormente.

En la siguiente imagen (4.36) se puede observar el proceso constructivo del CCIB. Como fue avanzando la obra desde la excavación hasta el acondicionamiento de los accesos exteriores. Cabe destacar las imágenes de la primera fila donde se muestra la evolución del montaje de la estructura uniendo las diversas tipologías de cerchas y formando el conjunto.

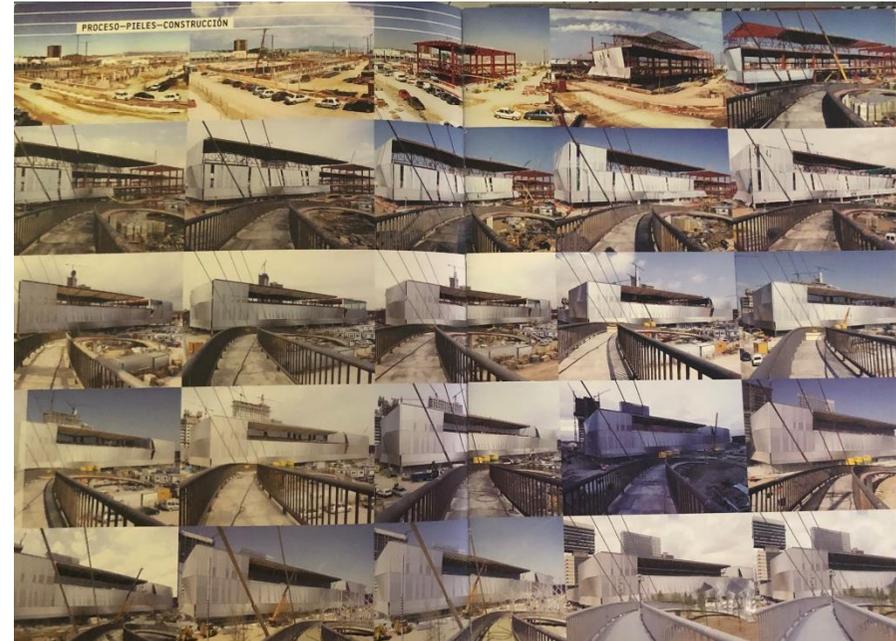


Imagen 4.36. Proceso constructivo. (7)

5. CONCLUSIONES

Este trabajo, parte con el objetivo fundamental de realizar un análisis de la estructura del Centro de Convenciones de Barcelona para poder comprender su funcionamiento estructural. El proyecto es desarrollado por Josep Lluís Mateo.

Para analizar completamente el edificio es necesario conocer a su fundador, Josep Lluís Mateo. Se ha repasado su vida y obra, atendiendo a los hitos que marcaron su carrera como arquitecto. A continuación, se repasaron algunas de sus obras más importantes en las cuales se observará la tendencia del arquitecto y los proyectos con un esquema estructural muy marcado, al mismo tiempo se destacan por presentar estructuras de alta complejidad.

Centrándose ya de lleno en el proyecto del CCIB, se ha analizado el proyecto en profundidad a través de toda la información recopilada, desde su concepción como parte del Forum universal de las Culturas hasta su materialidad, para ellos se explica la idea de partida y el programa que alberga, centrándose en especial en la estructura y en el proceso constructivo seguido durante su ejecución, las imágenes obtenidas serán de gran utilidad para el desarrollo de un modelo informático lo más preciso posible.

Se trata de una estructura singular, diferente de cualquier otra y con elementos estructurales complejos. Como se ha explicado, la estructura está formada por una celosía doble separadas unos 3 metros aproximadamente.

El cordón inferior recibe el forjado de cubierta y el superior permanece arriostrado transversalmente cubriendo el paso de instalaciones lo que ayuda a evitar los problemas de pandeo lateral de dicho cordón comprimido. La cercha tipo 2 se sitúa donde la altura libre de planta baja es de 7,5 metros y mantiene también un canto de 4,5 metros. En este caso, el cordón inferior es el que recibe el forjado de la planta primera. Es por tanto, en el cordón superior sobre el que descarga la cubierta de dicho cuerpo.

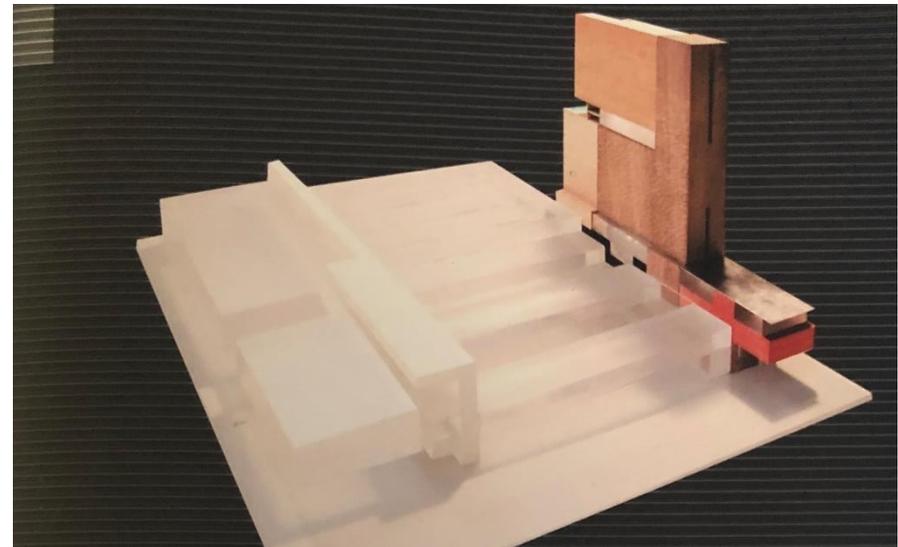


Imagen 5.1. Primeras volumetrías. (7)



Imagen 5.2. Separación entre celosías.

En el presente estudio también se describen los mecanismos que utiliza Josep Luis Mateo para mejorar el comportamiento estructural y conseguir construir las grandes luces requeridas por este proyecto. Una de estas operaciones es la utilización del tesado, que se ha realizado en el apartado 4, comportamiento estructural: análisis de resultados, realizado en el programa de cálculo Architrave en el que se ha modelizado la estructura de barras, modelando también las supuestas cargas a las que se encuentra sometida.

A través de los distintos diagramas emitidos por el programa de cálculo, se demostrará como de forma positiva influyen la geometría y forma en el comportamiento estructural y así como la técnica del tesado, permitiendo esta última corregir las cargas gravitatorias de peso propio y sobrecarga de uso. A esta conclusión se llega a partir del análisis de axiles, cortantes, momentos flectores y momentos en placa, para distintas hipótesis y combinaciones de carga.

Con el estudio de diagramas de desplazamientos verticales en las distintas

hipótesis y combinaciones así como las deformadas, se demuestra el efecto que genera el tesado reduciendo las deformaciones producidas por el peso propio, pues el desplazamiento del apoyo deslizante creado por el peso propio es corregido por el desplazamiento que genera el tesado.

En definitiva, la forma siempre ha estado ligada al comportamiento de las estructuras, pero con las técnicas para manipular su comportamiento, se ha ido más allá. Técnicas como el tesado permiten corregir las cargas permanentes, dando lugar a estructuras más esbeltas y cubriendo luces mayores. Lo más remarcable de esta técnica es el aumento de la durabilidad del material, evitando su fisuración, patología que en exceso puede ocasionar el colapso de la estructura.

Tras la recopilación y análisis de toda la estructura se ha realizado el modelo estructural. Para ello se ha utilizado el programa de cálculo estructural Architrave, desarrollado en la universidad politécnica de Valencia, como ya he tratado anteriormente. Se parte de la premisa de realizar un modelo estructural lo más preciso posible a la realidad de modo que las solicitaciones y deformación obtenidas por este se ajusten lo más posible con el proyecto construido. A pesar de esto los valores obtenidos no deben entenderse como absolutos sino como una aproximación que intente ser lo más ajustada a la realidad. Para ello se ha realizado una estimación de cargas siguiendo lo establecido por el código técnico de la edificación en el documento básico de seguridad estructural acciones en la edificación. Dada la ubicación del trabajo en una zona sísmicamente estable y para no extender el contenido de este trabajo la carga de sismo no fue considerada, lo cual podría ser objeto de un futuro TFG.

Tras la aplicación de las cargas se han expuesto las combinaciones de

hipótesis siguiendo el documento básico de seguridad estructural del CTE. Se ha realizado el análisis de resultados en los dos grandes bloques que establece esta normativo para las combinaciones.

Se ha analizado en primer lugar la resistencia de los perfiles en función de las solicitaciones actuantes, de lo que se extraen una serie de conclusiones. Su análisis individualizado permite conocer la forma de trabajo de cada elemento, así como las relaciones entre ellos, también sirve como una primera aproximación para comprobar si los elementos están correctamente dimensionados. Teniendo en cuenta que para conocer con exactitud las solicitaciones de las barras sería necesario realizar un análisis más exhaustivo, con un modelo mucho más preciso que prestara especial atención a las uniones entre los distintos elementos, sobre todo a las uniones entre los elementos de hormigón y las celosías metálicas donde se producen concentraciones de tensiones muy elevadas.



Imagen 5.3. Perfiles metálicos. (7)

Se observa como el modelo responde con lógica a la solución adoptada en

el proyecto. Como los elementos metálicos cubren grandes luces por lo que sufren importantes momentos flectores. Las celosías, por su forma de trabajo, sufren importantes solicitaciones de axiles en sus diagonales trabajando alternativamente a tracción o compresión, serán estos elementos metálicos comprimidos a los cuales habrá que vigilar con más cautela pues los efectos de pandeo pueden disminuir gravemente su capacidad resistente.

Analizando, por último, las deformaciones obtenidas en relación a los límites que establece la normativa, se han obtenido desplazamientos verticales inferiores a los marcados por el CTE. Sin embargo, cabe destacar que aunque los valores queden por debajo de los marcados por la normativa, estos valores no son nada reducidos, alcanzando valores superiores a los 11 cm en puntos concretados de la estructura, lo que puede tener importantes efectos negativos en la puesta en obra. Será necesario, además, tener en cuenta estas deformaciones durante el proceso de diseño de los elementos interiores, así como sus efectos sobre el resto de elementos constructivos.

Por último, cabe destacar el impacto arquitectónico de esta estructura, que consta de vigas de celosía que alcanzan los 7 metros de canto. Por s esto no fuera suficiente y dado que para salvar grandes luces lo necesario es un gran canto, la estructura metálica de varios niveles trabaja en conjunto formando una gran estructura global. Esto genera un gran impacto solo asumible a grandes proyectos, que además necesitaran un buen diseño para crear edificios funcionales y no condicionados por los altos requerimientos estructurales.

6. BIBLIOGRAFÍA

6.1- BIBLIOGRAFÍA DOCUMENTAL

PAGINAS WEB:

1. **wikiarquitectura**. wikiarquitectura. [En línea] <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/centro-de-convenciones-internacionales-de-barcelona/>.
 2. **ajuntament.barcelona**. [En línea] <http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/que-hacemos-y-porque/urbanismo-para-los-barrios/barcelona-arquitectura-ciudad-patrimonio>.
 3. **cosmonauta, el**. [En línea] <https://elcosmonauta.es/ciudades-mas-pobladas-de-espana/>.
 4. **museovirtualdelseguro**. museovirtualdelseguro. [En línea] <http://www.museovirtualdelseguro.com/es/places/9.html>.
 5. **Barcelona, Ayuntamiento de**. parcdelforum. [En línea]
 6. **wikipedia**. [En línea]
 8. **ccib**. centro de convenciones internacionales de Barcelona. [En línea]
 9. **cataluña, universitat politécnica de**. luna. [En línea] https://www.luna.ovh/planeta/es/Josep_Llu%C3%ADs_Mateo.
 10. **laventanadelarte**. laventanadelarte. [En línea] <https://www.laventanadelarte.es/exposiciones/galeria-joan-prats/catalunya/barcelona/josep-lluis-mateo/37918>.
 11. **plataformaarquitectura**. plataformaarquitectura. [En línea] <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/896479/footprints-la-primera-exposicion-de-josep-lluis-mateo>.
 12. **jaumeprat**. jaumeprat. [En línea] 2009. <http://jaumeprat.com/aixo-no-es-una-rampa/>.
 13. **eventoplus**. eventoplus. [En línea] <https://www.eventoplus.com/directorio/proveedores/342/ccib-centre-convencions-internacional-barcelona/>.
 14. **metropoliabierta**. [En línea]
-

15. **barcelonafuerdeutsche**. [En línea]
16. **construmatica, blog**. [En línea]
17. **metalocus**. [En línea]
18. **García, Anton**. 2018, el cultural .
19. **Figueras, Gemma**. 2011, diariodesign.
20. **knok**. [En línea] 2011.
21. **(ICC), INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA**. anycerda. [En línea]
22. **Mateo, Josep Lluís**. wikiarquitectura. [En línea]
23. **construmatica, blog**. [En línea]
24. **metalocus**. [En línea]
25. **elcultura**.
26. **arqa**. arqa.com. [En línea]
27. **worldpossible**. [En línea]
28. **cosmonauta, el**. el cosmonauta. [En línea] <https://elcosmonauta.es/ciudades-mas-pobladas-de-espana/>.
29. **seguro, museo virtual del**. museo virtual del seguro. [En línea] <http://www.museovirtualdelseguro.com/es/places/9.html>.
30. **arte, la ventana del**. la ventana del arte. [En línea] <https://www.laventanadelarte.es/exposiciones/galeria-joan-prats/catalunya/barcelona/josep-lluis-mateo/37918>.

LIBROS:

7. **Mateo, Josep Lluís.** *Centro de concenciones internacionales de Barcelona.* Barcelona : ACTAR, 2004.

Arquitectura europea contemporánea Eduard Bru; Josep Lluís Mateo , 1987

Papeles arquitectónicos 1: laboratorio de objetos

VIDEOS :

Dortoka disseny - Centro de Convenciones Internacional de Barcelona. Youtube
https://www.youtube.com/watch?v=m1T_0bkLNUo

AD Entrevistas: Josep Luis Mateo. Youtube
<https://www.youtube.com/watch?v=E5QFnPzJGUc>

Descripción : Recorrido por el interior del museo.

OTROS :

Código Técnico de la Edificación, Documentos Básico de Seguridad Estructural- Acciones en la edificación (DB SE-AE). 2009.
Ministerio de fomento, Gobierno de España.

Programa informático de cálculo y análisis estructural Architrave. Universitat Politècnica de Valencia. www.architrave.es

6.2- BIBLIOGRAFÍA FOTOGRÁFICA

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1- Fotografía de la ciudad de Barcelona (14)
https://www.metropoliabierta.com/el-pulso-de-la-ciudad/urbanismo/barcelona-arquitectura-no-apta-turistas_3532_102.html
- 1.2- Diagonal del ensanche de Barcelona (15) <http://www.barcelonafuerdeutsche.com/es/wissenswertes/detail/HINTERGRUND:-Stadtplanung-in-Barcelona/MTY3OA==#.WvXZhYiFPIU>
- 1.3- Fotografía del Fórum Universal de las Culturas (6)
https://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rum_Universal_de_las_Culturas_2004
- 1.4- Arquitecto Josep Lluís Mateo Blog: (16)
<http://blog.construmatica.com/josep-lluis-mateo/>
- 1.5- Edificio de viviendas en Lugo (17)
<https://www.metalocus.es/es/noticias/edificio-de-viviendas-de-lujo-por-josep-lluis-mateo>
- 1.6- Sede del banco federal Alemán Revista: (18)
<http://www.elcultural.com/revista/arte/La-solidez-de-la-piedra/12052>
- 1.7- Ampliación de la asesoría PGGM (19)
<http://diariodesign.com/2011/07/josep-lluis-mateo-amplia-la-sede-de-la-aseguradora-pggm-en-zeist-cerca-de-utrecht/>

2. PROYECTO ARQUITECTÓNICO

- 2.1- Vistas desde las montañas de Barcelona (20)
<https://www.knok.com/family-travel-guide/article/barcelona/hike-mount-tibidabo-in-barcelona/1001170>
- 2.2- La diagonal no acaba en el mar (21)
<http://www.anycerda.org/web/es/arxiu-cerda/fitxa/fotopla-de-l-eixample/402>
- 2.3- Lectura urbana libro: (7)
- 2.4- Idea del bloque sur libro: (7)
- 2.5- Idea de la cubierta libro: (7)

2.6- Primera visión exterior	libro: (7)	
2.7- Espacio sin elementos estructurales	libro: (7)	
2.8- Pozos: comunicación vertical	libro: (7)	
2.9- Galería: comunicación horizontal	libro: (7)	
2.10- Texturas en fachada	libro: (7)	
2.11- Piezas prefabricadas	libro: (7)	
2.12- Diferentes perforados en la pieza prefabricada ligera	libro: (7)	
2.13- Fachada Oeste	libro: (7)	
2.14- Puerta corredera fachada Este	libro: (7)	
2.15- Pantalla led	libro: (7)	
2.16- Cubierta del bloque Sur	libro: (7)	
2.17- Revestimiento metálico	(8)	http://ccib.venuetour.net/?panorama=terrace_bh
2.18- Muro cortina	(8)	http://ccib.venuetour.net/?panorama=banquet_hall
2.19- Cerramiento acristalado	(8)	http://ccib.venuetour.net/?panorama=sala_polivalent_area_1
2.20- Fachada móvil	(8)	http://ccib.venuetour.net/?panorama=accesc
2.21- Fachada multifuncional polivalente	(8)	http://ccib.venuetour.net/?panorama=aces_d_v2

3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

3.1- Alzado visto desde el alzado principal	(22)	
		https://es.wikiarquitectura.com/arquitecto/mateo-josep-lluis/
3.2- Planta total acotada	libro: (7)	
3.3- Alzado de un pórtico tipo	libro: (7)	
3.4- Alzado de la celosía tipo 1	libro: (7)	
3.5- Alzado de la celosía tipo 2	libro: (7)	
3.6- Pandeo lateral del CCIB.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave	
3.7- Fenómeno de pandeo lateral	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave	
3.8- Uniones de las cerchas tipo 1, soldadas con rigidizadores.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave	

Uniones de las cerchas tipo 2, uniones atornilladas .	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.9- Modelización celosía tipo 2	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.10- Obra en construcción	libro (7)
3.11- Modelización de elementos finitos.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.12- Modelización estructura completa	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.13- Valores característicos de sobrecargas de uso.	CTE-DB-SE Acciones en la edificación
3.14- Carga de nieve.	CTE-DB-SE Acciones en la edificación
3.15- Coeficiente de exposición. Acción de viento.	CTE-DB-SE Acciones en la edificación
3.16- Coeficiente eólico. Acción de viento.	CTE-DB-SE Acciones en la edificación
3.17- Captura Architrave, combinación ELS peso propio + tesado.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.18- Captura Architrave, combinación ELS peso propio + tesado.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.19- Captura Architrave, deformada del nudo.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
Captura Architrave, análisis de resultados.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.20- Plano de peligrosidad sísmica	NCSE-02
3.21- Coeficientes parciales de seguridad ELU.	CTE-DB-SE Acciones en la edificación
3.22- Coeficientes de simultaneidad ELU y ELS.	CTE-DB-SE Acciones en la edificación
3.23- Captura Architrave, combinación gravitatorio ELU Uso.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.24- Captura Architrave, combinación gravitatorio ELU Nieve.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.25- Captura Architrave, combinación ELU Uso.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.26- Captura Architrave, combinación ELU Nieve.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.27- Captura Architrave, combinación ELU Viento.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.28- Captura Architrave, combinación gravitatorio ELS Uso.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.29- Captura Architrave, combinación gravitatorio ELS Nieve.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.30- Captura Architrave, combinación ELS Uso.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.31- Captura Architrave, combinación ELS Nieve.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave
3.32- Captura Architrave, combinación ELU Viento.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- 4.1- Representación de la deformada general del CCIB. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.2- Deformada en el apoyo deslizante con HIP-01. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.3- Deformada en el apoyo deslizante con HIP-05. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.4- Deformada en el apoyo deslizante con hipótesis PP + Tesado. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.5- A. Deformada de la estructura con la HIP-01 ELS. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
 B. Deformación estructura, alzado a. Elaboración propia. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.6- Valores de los desplazamientos en Z. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.7- Deformada de la estructura sin tesado. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.8- Deformada de la estructura con la HIP-04. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.9- Axiles celosía ELU Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.10- Cortantes celosía ELU Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.11- Momentos celosía ELU Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.12- Momentos en placas celosía ELU Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.13- Deformación HIP más desfavorable ELS. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.14- Deformación HIP más desfavorable ELS sin cable Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.15- Barras analizadas, alzado. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.16- Barras analizadas, planta. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.17- Peritaje barra 1. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.18- Comprobación barra 1. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.19- Peritaje barra 2. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.20- Comprobación barra 2. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.21- Peritaje barra 3. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.22- Peritaje barra 4. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.23- Comprobación barra 4. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.24- Peritaje barra 5. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.25- Peritaje barra 6. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.26- Comprobación barra 6. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.27- Peritaje barra 7. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.28- Peritaje barra 8. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
- 4.29- Comprobación barra 8. Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.

4.30- Peritaje barra 9.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
4.31- Comprobación barra 9.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
4.32- Peritaje barra 10.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
4.33- Comprobación barra 10.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
4.34- Peritaje barra 11.	Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave.
4.35- Tensores CCIB	libro: (7)
4.36- Proceso constructivo	libro: (7)

5. CONCLUSIONES

5.1-Primeras volumetrías.	libro: (7)
5.2-Separación entre celosías.	libro: (7)
5.3-Perfiles metálicos.	libro: (7)

