

APROXIMACIÓN ARQUITECTÓNICA Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL

AYUNTAMIENTO DE BENIDORM



Trabajo Final de Grado 2018 – 2019
Grado en Fundamentos de la Arquitectura
Autor: Jordi Vilà García
Tutor: Ernesto Jesús Fenollosa Forner



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

RESUMEN

Al sur del parque de l'Aigüera, y donde un antiguo cauce se encontraba con la ciudad de los años cincuenta, se encuentra el edificio del Ayuntamiento de Benidorm. Un edificio que desafía la gravedad con su gran vacío bajo el volumen que parece ser un rascacielos tumbado. Un contrapunto a la ciudad vertical, digno de admirar por su proeza estructural y a la vez sencillez técnica. El proceso de construcción también es digno de admiración. La necesidad de mantener el aparcamiento en funcionamiento durante la ejecución del edificio hace que la construcción sea otro éxito de este proyecto.

El presente trabajo tratará de estudiar todos los aspectos del edificio, sobretodo estructuralmente. Para ello se elaborará un modelo informático que se someterá a distintas combinaciones de cargas, y se analizará su trabajo para comprender y dar explicación a su funcionamiento y diseño estructural.

PALABRAS CLAVE

J.L. Camarasa, AIC EQUIP, Ayuntamiento, Benidorm, estructura, cerchas, análisis estructural, viga Warren.

ABSTRACT

In the south of l'Aigüera's park, where an old stream reached the fifties city, sits the Benidorm's City Hall. A building that defies gravity with its great emptiness under the volume that looks like a skyscraper lying down. A counterpoint to the vertical city, worthy of admiration for both its structural feat and technical simplicity. The construction process is also admirable. The requirement to maintain the car park in operation during the building construction makes from that difficulty another success of this project.

The present work will try to study all aspects of this building, especially structurally. For this purpose, a computer model will be developed that will be subjected to different combinations of loads, and the way it works will be analyzed to understand and explain its operation and structural design.

KEYWORDS

J.L. Camarasa, AIC EQUIP, Town Hall, Benidorm, structure, trusses, structural analysis, Warren beam.

RESUM

Al sud del parc de l'Aigüera, i on un antic barranc es trobava amb la ciutat dels anys cinquanta, està l'edifici del Ajuntament de Benidorm. Un edifici que desafia la gravetat amb el seu gran buit sota el volum que sembla ser un gratacels tombat. Un contrapunt a la ciutat vertical, digne d'admirar per la seua proesa estructural i a l'hora la senzillesa tècnica. El procés de construcció també és digne d'admiració. La necessitat de mantindre l'aparcament en funcionament durant l'execució de l'edifici fa que la construcció siga altre èxit d'aquest projecte.

El present treball tractarà d'estudiar tots els aspectes de l'edifici, sobretot estructuralment. Per això s'elaborarà un model informàtic que es sotmetrà a diferents combinacions de càrregues, i s'analitzarà el seu treball per comprendre i donar explicació al seu funcionament i disseny estructural.

PARAULES CLAU

J.L. Camarasa, AIC EQUIP, Ajuntament, Benidorm, estructura, cintres, anàlisi estructural, biga Warren.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo global del presente trabajo será conseguir comprender el funcionamiento estructural del Ayuntamiento de Benidorm. Un edificio que impacta por la posesión de dos enormes vigas en celosía de 12 m. de altura, y casi 100 m. de longitud, que apoyan únicamente sobre dos pilares cada una.

Para conseguir este objetivo global, se recorrerán una serie de objetivos parciales, que son los siguientes:

- Se relatarán brevemente el recorrido de la ciudad de Benidorm, desde su nacimiento, hasta la gran ciudad vertical en la que se ha convertido.
 - Se presentará el entorno del edificio, se explicará el recorrido de la idea y del programa, y se mostrará la trayectoria del arquitecto.
 - Se conocerá el edificio, funcional, constructivamente, y sobretodo estructuralmente, tanto particular como globalmente.
 - Se generará un modelo informático de la estructura del edificio y se establecerán las cargas siguiendo las indicaciones del CTE.
- Se analizarán los resultados que se extraerán del software de cálculo y se tratará de darles una explicación.
- Conseguidos los objetivos, se presentarán una serie de conclusiones a partir del trabajo realizado, que nos permitirán aplicar lo aprendido con otras estructuras similares.
- La metodología utilizada para la consecución de los objetivos redactados será la siguiente:
- Se realizará una exhaustiva búsqueda de información y documentación gráfica, tanto en bibliotecas como en línea, de revistas, artículos, libros, etc.
 - Toda la información se gestionará y ordenará por apartados, para su correcta utilización.
 - Para la elaboración del modelo informático, se utilizará tanto *AutoCad*, como un software de cálculo estructural, *ANGLE*. También se recurrirá al CTE, para la elaboración de hipótesis y combinaciones de carga.
 - Se obtendrán conclusiones a partir de los resultados y las reflexiones elaboradas durante todo el proceso del trabajo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1	7.2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
1.1. BENIDORM	2	7.3. REFERENCIAS DE IMÁGENES	69
1.2. PARQUE DE L’AIGÜERA. RICARDO BOFILL... 6			
1.3. DEL AYUNTAMIENTO DE BOFILL AL ACTUAL 8			
2. EL PROYECTO	10		
2.1. EL AYUNTAMIENTO DE BENIDORM. IDEA Y PROGRAMA.....	11		
2.2. MATERIALIDAD.....	13		
3. ESTRUCTURA Y CONSTRUCCIÓN	15		
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	16		
3.2. DESCRIPCIÓN POR ELEMENTOS	18		
3.3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN	22		
4. MODELO ESTRUCTURAL	27		
4.1. SIMPLIFICACIONES ADOPTADAS	28		
4.2. MODELIZACIÓN DEL EDIFICIO	29		
4.3. MODELIZACIÓN DE LAS CARGAS	33		
4.4. COMBINACIONES DE CARGA.....	38		
5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	42		
5.1. CONSIDERACIONES INICIALES	43		
5.2. ESFUERZOS Y DIMENSIONADO.....	45		
6. CONCLUSIONES	59		
7. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES.....	63		
7.1. BIBLIOGRAFÍA.....	64		

1. INTRODUCCIÓN



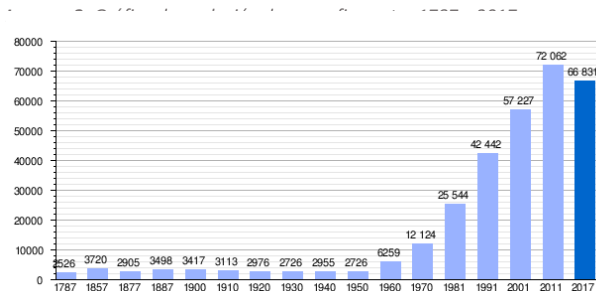
1.1. BENIDORM

Benidorm fue fundada el 8 de Mayo de 1325 cuando el almirante Bernardo de Sarriá le otorgó la primera Carta Puebla [Imagen 1]. Tras varios ataques de piratas berberiscos durante el siglo XV y principios del XVI, la villa urbana quedó completamente despoblada.

A lo largo del siglo XVI, se realizaron mejoras en las construcciones defensivas y se estableció una nueva acequia que traía agua desde Polop. Gracias a estas medidas y por iniciativa de Beatriu Fajardo de Mendoza, señora territorial de Polop y Benidorm, en 1666 se otorga a la villa la segunda Carta Puebla. A principios del siglo XVIII, la población contaba con unos doscientos vecinos, y a finales de este mismo

siglo, el censo se había multiplicado por trece. Esta gran ampliación demográfica fue causada, fundamentalmente, por una importante actividad pesquera basada en la pesca con almadraba, la cual surgió repentinamente [1]. El número de habitantes se mantuvo constante durante el siglo XIX y mitad del siglo XX [Imagen 2], consolidándose de esta manera una importante comunidad, como describe Cabanilles en su expedición por la Comunidad Valenciana, dedicada a la agricultura, el comercio, la navegación y la pesca [2].

Imagen 1: Copia de 1435 de la primera Carta Puebla.



EL NACIMIENTO DE LA CIUDAD VERTICAL

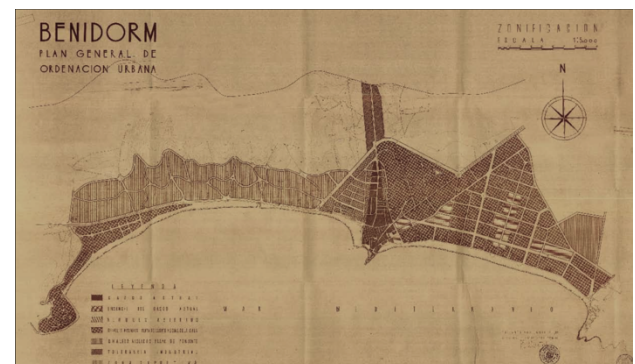
Durante el siglo XIX y principios del XX, la playa de Benidorm comienza a tener fama y a recibir los primeros veraneantes procedentes de Alcoy y más tarde de Madrid. En 1952, con la reciente llegada a la alcaldía de Pedro Zaragoza Orts, se produce el cierre definitivo de la almadraba del Racó de l'Oix, de la cual dependía la economía de gran parte de las familias. Esta situación provocó un interés en la ciudadanía por el turismo, que empezaba entonces, a interesarse por la playa y el buen clima de Benidorm. En previsión a una gran avalancha de peticiones e iniciativas de construcción y urbanización, el ayuntamiento empieza una ronda de estudio y debate sobre el futuro urbanístico, que concluiría en 1956 con el llamado “Plan general de 1956” [Imagen 3] [Imagen 4]. Plan que pretendía la creación de una ciudad para el ocio y el turismo, mediante una concepción horizontal, basada en una línea más clásica de edificios de baja altura como los

apartamentos, chalés y hoteles que se construyeron desde aquel preciso instante hasta los primeros años de la década de los sesenta [3]. En aquellos momentos no toda la ciudadanía estaba de acuerdo con el nuevo modelo urbanístico. Ésta se dividía en los que veían una posibilidad de negocio, los que veían un plan innovador y de prosperidad para Benidorm, y los que veían una oportunidad de trabajo, sobre todo aquellas familias que dependían de la pesca y que se habían quedado sin trabajo tras el cierre de la almadraba. Por otro lado estaban los escépticos, que desconfiaban de la aptitud del plan pensando que acabaría con la frescura y la magia de Benidorm. “*Si en Benidorm y en otros pueblos una albañilería flamante dejó para siempre la palabra chalet, con su t apretada*” [...] “*la felicidad y la inocencia se han roto*”, decía Gabriel Miró en su libro *Años y leguas* [4].

Imagen 3: Estado de la edificación en 1956.



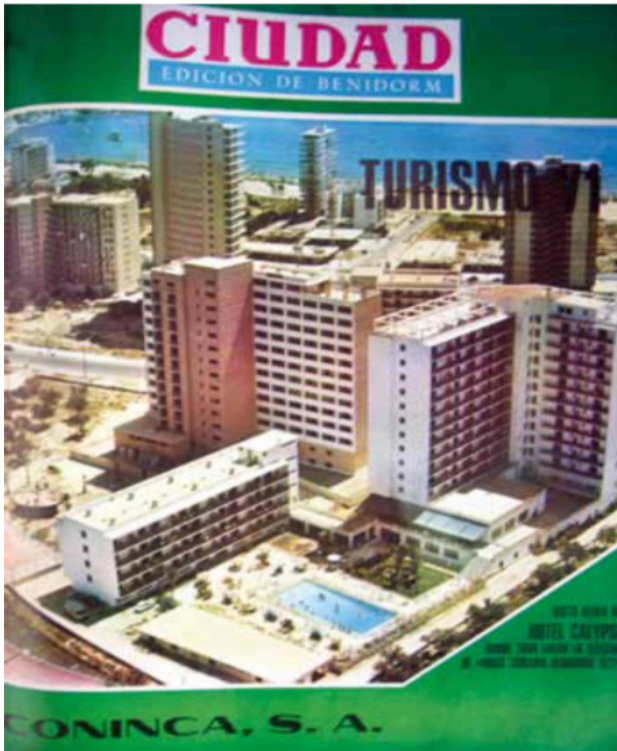
Imagen 4: Plano de zonificación del Plan general de 1956.



EL PASO DE LA CIUDAD HORIZONTAL A LA VERTICAL

A principios de los años sesenta comienzan las tentativas para variar el modelo urbanístico y edificar sin limitación de alturas. Se cuenta que uno de los arquitectos que trabajaba en la revisión del plan colocó un paquete de tabaco sobre la mesa, lo puso en diversas posiciones y concluyó que el volumen del paquete era idéntico se apoyara sobre

Imagen 5: Publicidad del turismo en Benidorm. Imagen que muestra los nuevos bloques de apartamentos.



el lado que se apoyase. Todo esto venía a explicar una novedad técnica que se introducía en el nuevo

plan de 1963: el coeficiente de edificabilidad, que en realidad no pretendía incrementar el volumen edificable respecto al existente, sino permitir ordenarlo libremente, si bien la práctica ha reflejado que no es así, como ya en su momento demostraron los estudios de Mario Gaviria y las mediciones realizadas para la redacción del Plan General de 1990 [2]. En la década de los 60, en España los rascacielos eran símbolo de innovación y tecnología, y lo más común era verlos como edificios singulares

Imagen 6: Publicidad de los nuevos "hoteles-fábrica" de Benidorm.



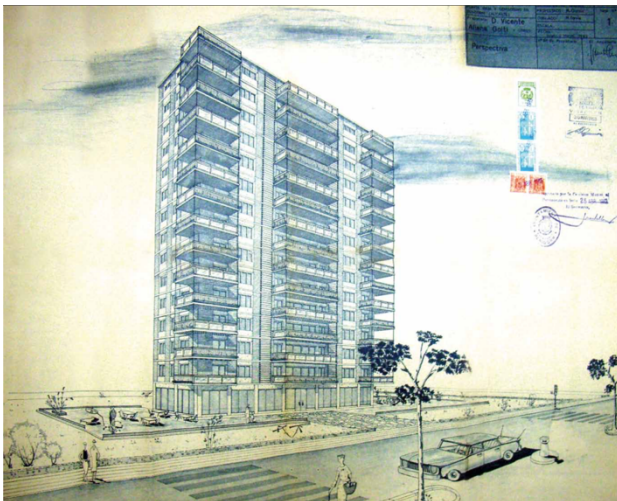
y aislados. Sin embargo la ciudad de Benidorm los acogió como si de una construcción

cualquiera se tratara, dándoles la leve importancia y el gran sentido que tenía construir en una parcela, el mismo volumen que ésta tenía asignado, pero en altura, dando así la posibilidad de generar grandes espacios libres ajardinados a su alrededor.

El edificio Frontalmar [Imagen 7], cuya licencia se otorgó precisamente en 1963, puede considerarse como el primer rascacielos de Benidorm y su memoria justificativa es suficientemente locuaz respecto de los propósitos antes descritos:

“Se cree que el emplazamiento es más apropiado para ubicar un edificio [...] y aparcamiento para automóviles, problema que se agudiza cada vez más; edificio que será de más belleza que si se ocupasen los 125 m. lineales de fachada con la

Imagen 7: Edificio Frontalmar. Primer rascacielos de Benidorm.



edificación habitual de 5 plantas, que indudablemente sería de gran monotonía [...] con todo ello se pretende lograr para Benidorm un edificio de categoría, que además de su empaque particular pueda codearse con cuantos hemos podido admirar en otros lugares de la geografía patria, como Mallorca, Málaga, etc.” [2]

Pronto, con la aparición de los operadores turísticos que ya trabajaban desde el aeropuerto de Manises, y que en 1970 con la inauguración del aeropuerto Alicante-Elche empezaron a operar con vuelos chárter [Imagen 8], comenzó el turismo masivo de

Imagen 8: Noticia de los primeros vuelos turísticos de 1970.



Benidorm [2]. A consecuencia de la gran demanda de alojamiento, se empezaron a levantar hoteles y apartamentos en un tiempo récord. Siendo entre 1971 y 1973 el punto álgido del boom de la construcción de Benidorm, ya que la mayor parte de los rascacielos eran enormes hoteles que fueron bautizados como *hotel-fábrica* [2].

La ciudad de Benidorm, hasta ahora ha seguido creciendo a un ritmo constante, tanto urbanística como turística, llegando a ser conocida como la *Manhattan del Mediterráneo*, es la ciudad con más rascacielos por habitante del mundo, y además mantiene un gran nivel de ocupación hotelera tanto en verano, multiplicando por ocho su población,

como en invierno, debido al turismo de la tercera edad. De esta manera ha conseguido romper la estacionalidad y ha logrado vivir del turismo durante todo el año.

1.2. PARQUE DE L'AIGÜERA. RICARDO BOFILL.

El parque de l'Aigüera [Imagen 9] es el lugar que se escogió para levantar el ayuntamiento de Benidorm, edificio objeto de análisis de este trabajo. Por tanto, se ha creído oportuno echarle una ojeada, tanto porque influye en la idea y forma del proyecto como porque es parte esencial del entorno inmediato. Además suscita gran interés que éste haya sido diseñado por uno de los más importantes arquitectos postmodernistas españoles, como es el arquitecto catalán Ricardo Bofill [Imagen 10].

Imagen 9: Paseo central del Parque de L'Aigüera.



En 1984, con el consenso de todos los grupos políticos, se le encarga al equipo Taller de Arquitectura dirigido por Bofill, la urbanización de un parque de 120.000 m² sobre el barranco de l'Aigüera [Imagen 11]. Este parque de estilo neoclásico, ubicado en el centro de la ciudad, abarca 1 km. de longitud y hasta 180 m. de ancho, separando con su gran superficie, la zona del ensanche de la de más reciente construcción [Imagen 12]. En su extremo norte el parque queda acotado por la plaza de toros, mientras que al sur, el arquitecto había proyectado un inmueble consistorial más ortodoxo que finalmente fue desechado [5]. Sin embargo, si que se construye un aparcamiento subterráneo de más de 600 plazas, bajo la que sería en un futuro la plaza sobre la que el ayuntamiento decidiría definitivamente levantar su edificio. Se invirtieron 2.000 millones de las antiguas pesetas en la realización de este parque, y

Imagen 10: Presentación del proyecto por el autor del mismo, el arquitecto Ricardo Bofill.





Imagen 11: Barranco de l'Aigüera antes de la actuación de Bofill.

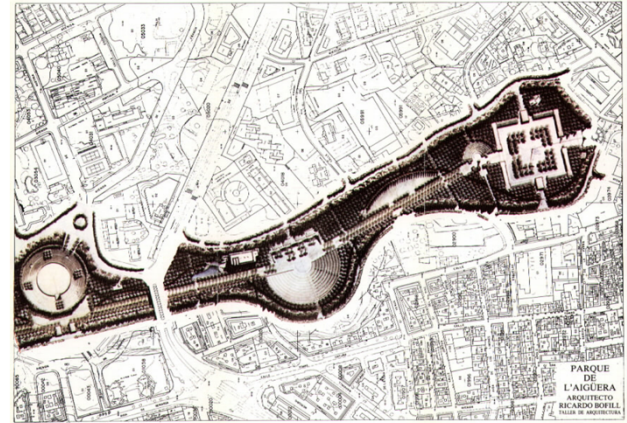


Imagen 12: Plano del diseño del parque de l'Aigüera de Taller de Arquitectura

para su financiación se contó con la concesión de la explotación del

aparcamiento a una empresa privada. El diseño del parque es eminentemente mediterráneo, conjugando amplias zonas forestales con vegetación autóctona, y con espacios construidos, cubiertos y abiertos, dedicados a actividades culturales y cívicas, sin perder de vista la integración del propio parque en la ciudad actual [6]. Todo ello unido por un paseo central que recorre todo el parque cruzándose en su camino con dos auditorios al aire libre. El más pequeño y cercano al ayuntamiento, dedicado a Óscar Esplá, y el de mayores dimensiones, en homenaje a Julio Iglesias [Imagen 13], lugar donde se celebra el clásico Festival de la Canción de Benidorm, además de muchos otros eventos.



Imagen 11: Auditorio Julio Iglesias.

El parque de l'Aigüera es considerado el pulmón verde de la ciudad y según Ricardo Bofill, éste se proyecta *“como contrapunto a la playa para que la gente pueda olvidar el sol”*. El parque de l'Aigüera fue la primera gran zona verde de esta población turística, que en su momento sólo contaba con un pequeño jardín para el medio millón de turistas que la visitaban durante el verano [7].

Imagen 14: Plaza a medio construir, antes del comienzo de las obras de la nueva sede del ayuntamiento.

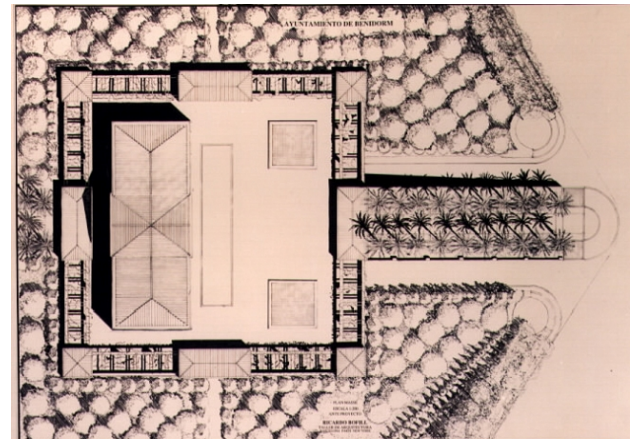


1.3. DEL AYUNTAMIENTO DE BOFILL AL ACTUAL

Se trataba de trabajar sobre los restos de una plaza a medio construir [Imagen 14], al final del Parque de l'Aigüera diseñado por Bofill ,donde el antiguo cauce en el que se sitúa se encuentra con la

ciudad más antigua, la de los años 50. Una plaza prevista para recibir un antiguo proyecto de Ayuntamiento [8]. Este proyecto, también del arquitecto catalán, que se planteó aislado, simétrico y abrazado por una plaza porticada cuadrada [Imagen 15], no se llegó a construir, quedando la obra paralizada tras la urbanización de la plaza que remataba el aparcamiento y hacía de vestíbulo al jardín de l'Aigüera [9].

Imagen 15: Plano de la casa consistorial diseñada por Bofill.



Durante los años 90 se determinó como imprescindible la finalización del consistorio. Sin embargo se desechó el diseño del taller de Bofill por escaso y anticuado, y se confió en un equipo del propio ayuntamiento, que entendería los requerimientos funcionales. El que era arquitecto municipal, José Luis Camarasa, aceptó el encargo dibujando el anteproyecto actual que acabaría desarrollando el equipo *AIC EQUIP* de Juan Añón, y realizando el cálculo de la estructura Florentino Regalado [9].

Este proyecto se realiza por necesidades de agilidad y unificación de la administración y de las distintas concejalías, y así lo explicó el alcalde del momento, Vicente Pérez Devesa calificándolo como una *“obra trascendental para Benidorm”* y que terminaría con las carencias que afectaban al emplazamiento de entonces, el cual era *“insuficiente para la ciudad”* y que les había llevado a tener que *“ir arrendando o poniendo en servicio otras instalaciones desmembradas del cuerpo central”* [10].

Entre las obras más reconocidas de el arquitecto J.L. Camarasa, cabe nombrar:

- 36 viviendas tuteladas y centro de día en Alicante.
- Ayuntamiento de Sant Vicent del Raspeig [Imagen 16].
- Ayuntamiento de Benidorm.

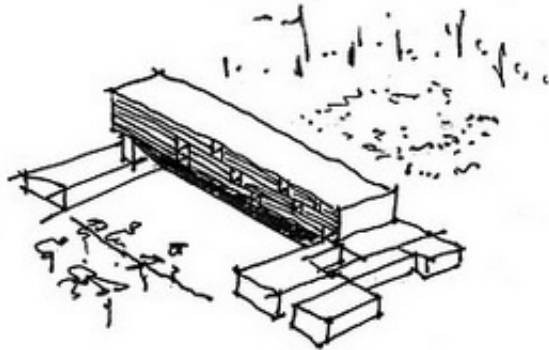


Imagen 16: Edificio consistorial del Ayuntamiento de Sant Vicent del Raspeig.

2. EL PROYECTO

AYUNTAMIENTO DE BENIDORM

Jose Luis Camarasa R AMP



CONCEPTO → torre horizontal

Se mantiene el espacio público de la plaza

Acceso al parque.

EDIFICIO PUNTO | concluir la plaza
condicionarlo como lugar de paso

PREFABRICADOS
DESPACHOS · OFICINAS

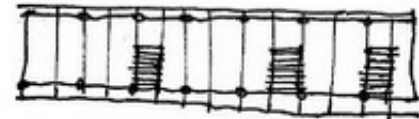
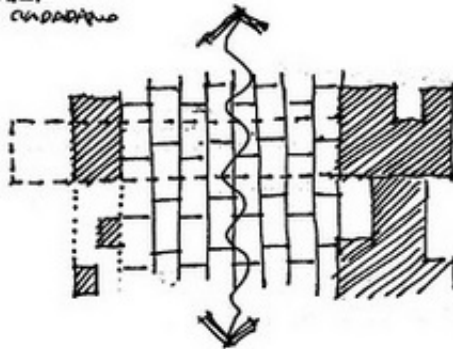


PATIOS INTERIORES



PÓRTEO - IN SITA

- ACCESO
- REPRESENTACIÓN
- ATENCIÓN CIUDADANO



2.1. EL AYUNTAMIENTO DE BENIDORM. IDEA Y PROGRAMA

La idea fundamental era construir las instalaciones de la que sería la nueva sede del ayuntamiento. Además el proyecto llevaría consigo otras necesidades para que éste quedara correctamente insertado en el entorno, como son: redefinir la plaza, establecer los accesos al parque de l'Aigüera y relacionar el aparcamiento con el nuevo edificio [Imagen 18].

Así pues, con la necesidad de mantener en funcionamiento el aparcamiento y favorecer el tránsito de entrada y salida al jardín, el edificio no podía posarse sobre el pavimento. "La arquitectura

tenía que ser puerta entre dos recintos. A su vez, la puerta debía ser amplia, espaciosa, sin obstáculos que interrumpiesen el paso: iría de lado a lado de la plaza. Ante estas demandas, más que la puerta, restaría su marco: las jambas y el dintel. Por la distancia a salvar, el marco se transmutaría en puente: la arquitectura se hibridaba de ingeniería. La puerta dio paso al puente que une las dos partes de la ciudad salvando el barranco. Con sutileza se recreó una estructura arcaica, aquella que los primeros hombres idearon para cruzar un torrente: tender un tronco entre dos piedras que sobresalían del cauce. Piedras que serían pilas robustas en contacto con el fondo y tronco que sería un tablero flexible apoyado en ellas para salvar el curso del agua. Pero el tablero del puente arroja sombra, resulta techo, y el techo es una de las primeras protecciones que procura la arquitectura. "Con la

Imagen 18: El edificio insertado en el entorno.



acción de instalar un techo en un territorio, este se convierte en un espacio humano, marcado y configurado por el hombre". Y este espacio bajo el puente es el lugar público de la comunidad, de los que habitan Benidorm: la plaza del municipio" [11]. Este párrafo escrito por Andrés Martínez Medina, describe de manera privilegiada el proceso de ideación que ha podido llevar al ayuntamiento de Benidorm al espectacular edificio que ha acabado siendo.

Por tanto, según palabras de los propios proyectistas, se les abría *"la posibilidad de construir "sobre" el aparcamiento y "sobre" la plaza [Imagen 19], y de este modo, responder y situar el proyecto en varios niveles de actuación, a través de un único proceso. Cauce, vacío, puerta, contrapunto a la ciudad vertical por excelencia, son asociaciones que surgen vinculadas a esta decisión" [12].*

El programa nos habla de ampliaciones bajo rasante comunicadas con el aparcamiento actual con usos diferenciados, archivo municipal y aparcamientos vinculados al edificio. Nos habla de espacios de representación, de usos públicos y abiertos, de lugares de bienvenida, de usos separados pero vinculados al ayuntamiento. Y por supuesto de los espacios de trabajo, de despachos, de salas de reunión, de departamentos abiertos, de concejalías y alcaldía [8].

Está claro, y así se hace ver en la propia forma del edificio acabado. Cada pieza tiene su función. Nacidas del aparcamiento, unas piezas pesadas de hormigón visto, que recogen la plaza y resuelven las diferencias de cota adaptándose a la pendiente del terreno. En la pieza situada al este se encuentra el salón de actos con capacidad para 200 personas, el ésta la estancia más cercana al pueblo, alberga en su interior los espacios de acceso, representación y de

Imagen 19: Alzado sur del ayuntamiento de Benidorm. Relación con el aparcamiento existente. Puerta de entrada al parque.

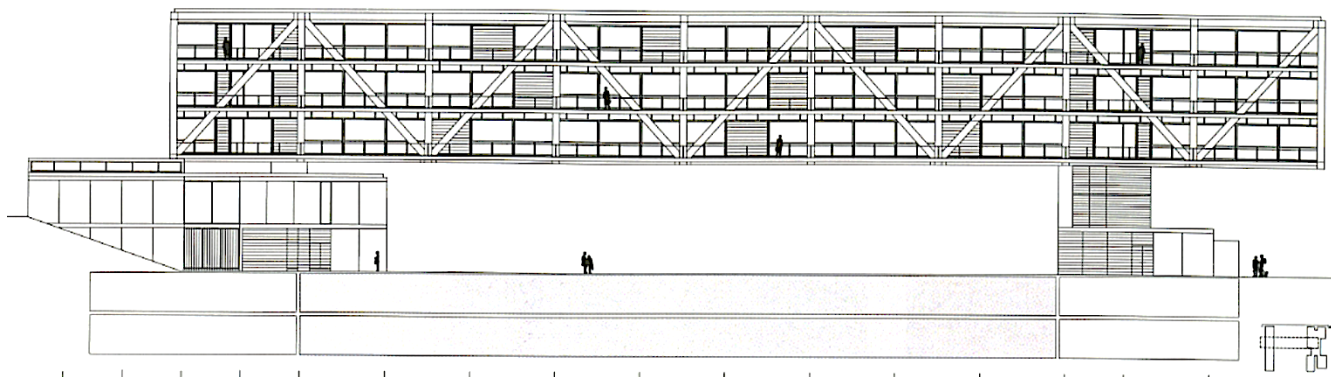




Imagen 20: Vestíbulo de acceso al ayuntamiento.

servicios más directo al ciudadano [Imagen 20]. En la pieza oeste, el retén y el archivo municipal completan la base de este ayuntamiento.

Sobre éstas, un volumen ligero y alargado de naturaleza más industrial, parece levitar, y su posición elevada provoca un vacío que coge la identidad de plaza. Este volumen incorpora los espacios de trabajo y de administración mediante una configuración de oficina abierta distribuida con elementos móviles [Imagen 21].

Desde el exterior se podrían ubicar las conexiones entre el aparcamiento y las distintas piezas del ayuntamiento. Lo manifiestan claramente las piezas del edificio que se cruzan perpendicularmente. Es el único sitio donde se pueden establecer las comunicaciones verticales, ascensores y escaleras, las bajantes y conductos de instalaciones, y en consecuencia por funcionalidad, su consecución hasta el aparcamiento.



Imagen 21: Interior del volumen de oficinas distribuida con elementos móviles.

2.2. MATERIALIDAD

Se diferencian dos sistemas que organizan la construcción material del edificio y forman parte generadora dentro del proyecto. En ambos, las estructuras de los diferentes sistemas quedan visibles explicando el funcionamiento del edificio en los distintos niveles y enfatizando los procesos de ejecución [Imagen 22].

Por un lado, sistemas de construcción in situ, que definen las edificaciones en contacto con el terreno y con la construcción existente y sirven de apoyo al bloque elevado de oficinas. Estructuras de hormigón visto, de cemento blanco y áridos ocres de la zona, permiten mediante un único sistema, la ejecución de elementos singulares del programa, vestíbulos, patios, salones, conexiones. La fachada, el tamaño y forma de los huecos vaciados en los muros regulan la relación con el exterior en función de las demandas funcionales y las condiciones de orientación.

Por otro lado, sistemas de construcción industriales, que definen los procesos de ejecución del bloque elevado que cubre la plaza. La estructura metálica, los forjados de placas alveolares pretensadas, los sistemas de tabiquería móvil, los sistemas de revestimientos, se fabrican por la industria en piezas transportables y montados finalmente en obra. La fachada de aluminio y vidrio continuo y una segunda fachada exterior a la galería sur, compuesta de lamas móviles de vidrio serigrafiado, a modo de veladura [Imagen 23], permiten establecer relaciones de ambigüedad con el exterior al sur; su movilidad de acuerdo a criterios prefijados manipulan esas relaciones [8].

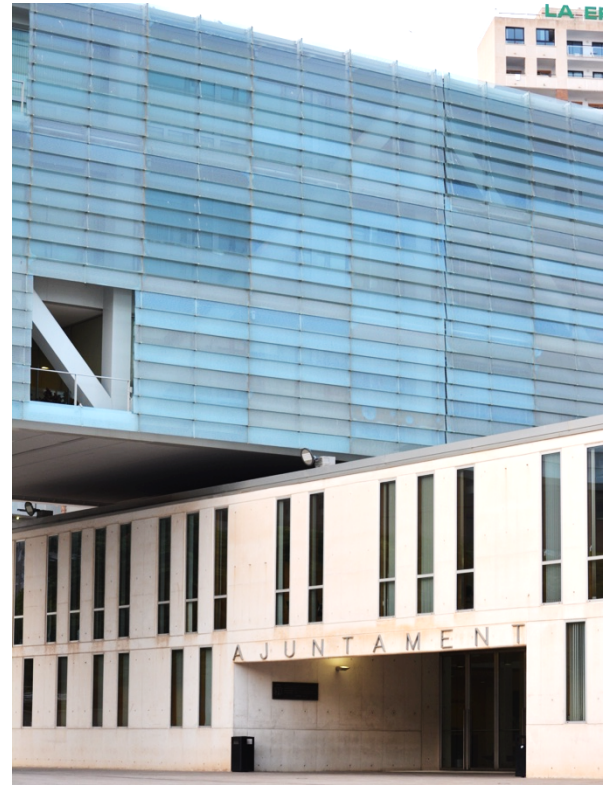


Imagen 22: Los dos sistemas de construcción material.

Imagen 23: Alzado sur. Fachada de lamas de vidrio serigrafiado.



3. ESTRUCTURA Y CONSTRUCCIÓN

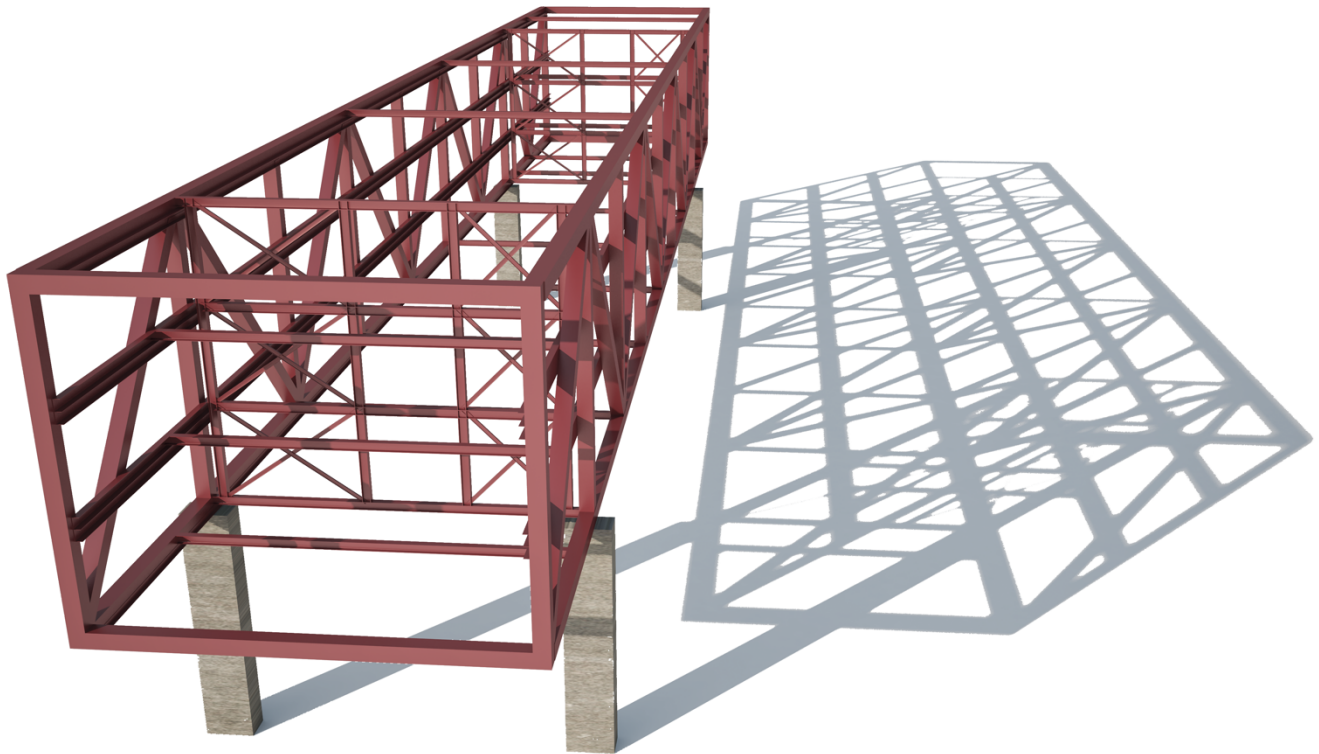


Imagen 24: Modelo de la estructura. 3Ds Máx.

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Una vez ya situado el edificio, recorrida la historia del lugar en el que se encuentra, y argumentado el porqué de su forma, función y distribución. Nos introducimos a describir la base fundamental del trabajo que nos ocupa. La estructura. Obviamente la estructura es, dada la peculiaridad de las condiciones de partida y de su resultado final, la parte más interesante de este edificio, y por eso este trabajo tratará de analizarla lo más cercanamente posible. Es tal la imponente, que al poco tiempo de la finalización de la obra recibió prestigiosos premios como son el *FAD* o *Construmat*. Además durante su ejecución no solo fue admirada por vecinos y turistas, sino que fue un fenómeno seguido por un

gran número de estudiantes y profesionales de la arquitectura e ingeniería.

El edificio cuenta con dos tipologías estructurales, una de hormigón armado y otra de estructura metálica. Ambas son prácticamente independientes entre si. Por tanto, este trabajo se centra en estudiar la más interesante de los dos tipos, que es por su singularidad, la estructura metálica.

Se trata de un gran contenedor de 97,2 m. de longitud, 15,3 m. de anchura y 12 m. de altura. Volumen que se conforma mediante dos grandes cerchas que recorren toda la longitud de la pieza, apoyadas sobre un par de pilares cada una. Dos pórticos. Ambos con una luz entre pilares de 64,8 m. dejando grandes vuelos en sus extremos. 10,8 m. al este y 21,6 m. al oeste son los voladizos que quedan

Imagen 25: Alzado norte. Cercha principal vista.



como resultado de la modulación de 10,8 m. que siguen las diagonales de la cercha, buscando además, coincidir sobre los pilares, montantes que sean capaces de transmitir las cargas, dar rigidez al conjunto de la cercha y evitar así mayores flexiones sobre ésta, que conllevarían un aumento de sección.

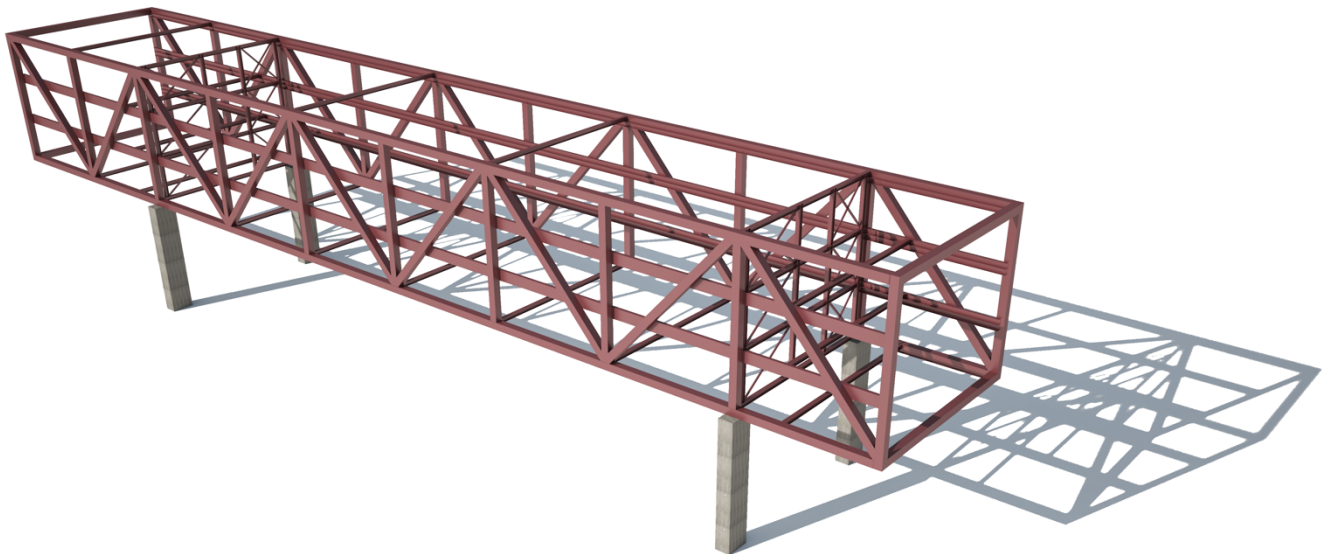
Las piezas de arriostramiento se colocan perpendicularmente a las cerchas principales. Sirven para unificar el conjunto y por tanto le dan estabilidad. Se colocan en los núcleos de comunicación vertical para poder dar soporte a las escaleras y ascensores.

La estructura actúa unidireccionalmente. Las cargas se transmiten por la superficie que conforman los distintos forjados de placas alveolares pretensadas,

hasta las dos grandes cerchas de 3 pisos de altura (12 m.) sobre las que apoyan por medio de unos perfiles soldados a éstas. Cerchas que trabajan como vigas continuas sobre pilares de 2 x 1,2 m.

Esbeltos pilares que elevan a una altura de 10,8 m. la estructura-puente que salva la plaza. Su imagen es totalmente tectónica, y nos deja ver sus huesos como si su piel fuera transparente. Tomando prestadas unas palabras de Mendes da Rocha que pueden aplicarse a esta obra: *"En rigor, se trata de tres piezas: vigas, pilares y losas. Elementos que producen una serie de resultados, como si se tratara de música. Para ser fuerte es mejor decirlo todo con pocas palabras"* [11].

Imagen 26: Modelo de la estructura metálica sobre pilares de hormigón armado. 3Ds Máx.

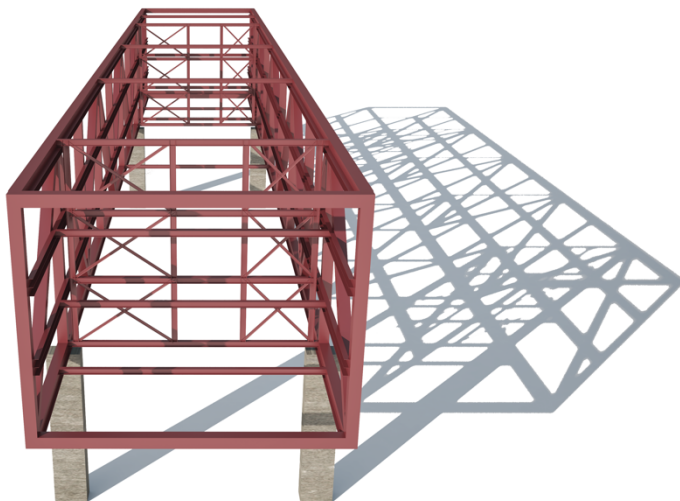


3.2. DESCRIPCIÓN POR ELEMENTOS

PILARES

Una de las condiciones era la necesidad de mantener en funcionamiento el aparcamiento. Para ello era necesario salvar la anchura de la plaza evitando apoyarse sobre ella. Previamente, es necesaria la demolición parcial de los dos forjados del aparcamiento existente, en el lugar donde se van a levantar los cuatro pilares de 2 x 1,2 m. en una cuadrícula de 15,3 x 64,8 m., que encaja con la retícula de pilares del aparcamiento. Estos pilares se levantan sobre zapatas combinadas especiales de grandes dimensiones, que también servirían de

Imagen 27: Modelo de la estructura metálica. 3Ds Máx.

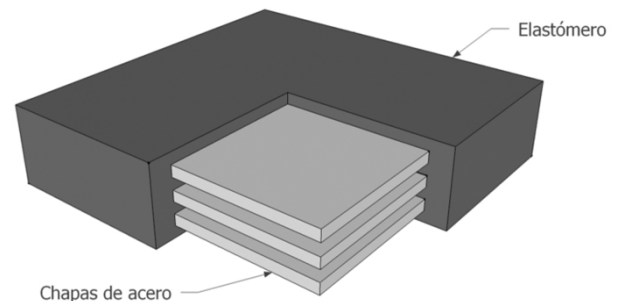


apoyo a las pesadas grúas que levantarían posteriormente las cerchas.

Pilares de hormigón armado de $f_{ck} = 50$ MPa. Resistencia que será necesaria para soportar las grandes compresiones que les serán transmitidas por las cerchas.

En su coronación los pilares cuentan con unos neoprenos zunchados de 180 x 90 cm., similares a los que se utilizan en obra civil para la construcción de puentes [Imagen 28].

Imagen 28: Neopreno zunchado.



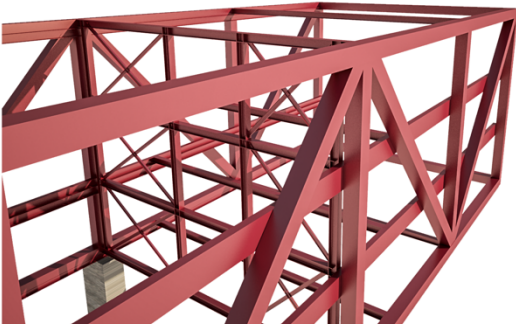
La función que tienen los neoprenos zunchados es:

- Permitir la articulación de las cerchas principales con los pilares, liberando el giro y evitando la transmisión de momentos entre ambos.
- Permitir los desplazamientos horizontales por efectos térmicos, evitando que éstos afecten a los pilares.

PIEZAS DE ARRIOSTRAMIENTO

Formadas por perfiles HEB-300 en las barras ortogonales, e IPE-160 en sus diagonales. Las piezas de arriostramiento que unen ambas cerchas en los mismos puntos donde éstas se apoyan en los pilares, son necesarias debido a la no continuidad de los forjados ya que solo son dos los pórticos. La presencia de un único vano en esta dirección, hace que los momentos que surjan sean mayores a los que surgirían si hubieran dos o más vanos. Las placas trabajan a flexión induciendo un vuelco en las cerchas hacia el interior. Sumándole la posible acción del viento y sismo, este vuelco podría considerarse de cierta relevancia. De esta manera las piezas de arriostramiento influyen en su oposición al vuelco [Imagen 29].

Imagen 29: Celosía de arriostramiento. 3Ds Máx.



CERCHAS PRINCIPALES

“Las cerchas principales se conformaron mediante cordones de 600 x 600 mm., con espesores de palastros variables hasta los 55 mm.”, según cuentan los arquitectos técnicos [12]. Estas cerchas actúan como una viga de gran canto sobre pilares.

La celosía que se dibuja en el interior de esta gran viga está diseñada para conseguir salvar una luz de 64,8 m. cumpliendo con las limitaciones de resistencia de los materiales y de flecha admisible establecidas por el CTE. Las cerchas, habitualmente, para conseguir que trabajen a pleno rendimiento, se diseñan para que todas las barras trabajen exclusivamente a tracción o compresión simple, para ello las cargas se manipulan para que recaigan sobre los nudos. Si fuera así, los cordones superior e inferior trabajarían únicamente a tracción y compresión, al igual que montantes y diagonales. Para que estos dos últimos trabajen óptimamente, los perfiles en “E” que surgen en la longitud de la cercha, para el apoyo de las placas alveolares de cada planta, se encuentran unidos mediante soldadura exclusivamente a los montantes verticales de la celosía, con el fin de pasar tangentes a sus diagonales y no inducir en las mismas flexiones [13].

De esta manera se ha logrado la ejecución de esta gran estructura que era necesaria para cumplir con uno de los objetivos del proyecto, sin renunciar a un componente estético y de diseño que ha sabido compenetrarse con el resto del edificio y su entorno [Imagen 31].

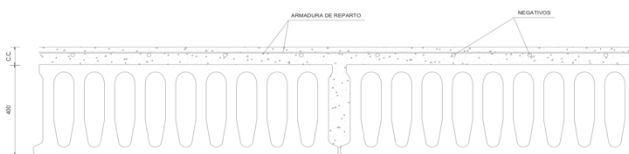
PLACAS ALVEOLARES PRETENSADAS

La placa alveolar [Imagen 30] es un elemento superficial plano de hormigón pretensado, con canto constante, aligerado mediante alveolos longitudinales y capaz soportar sobrecargas, y salvar grandes vanos [14].

Mediante este sistema de placas se resuelven los cuatro forjados del edificio. Placas de 40 cm. de espesor, 120 cm. de ancho y 1500 cm. (15 m.) de largo para poder apoyar en los perfiles soldados a las cerchas.

Con objeto de que las placas de los forjados rigidicen el conjunto, el mallazo incluido en su capa de compresión se suelda a las vigas en forma de “U”

Imagen 30: Sección de una placa alveolar pretensada de 40 cm. + capa de compresión. Aljema S.L.

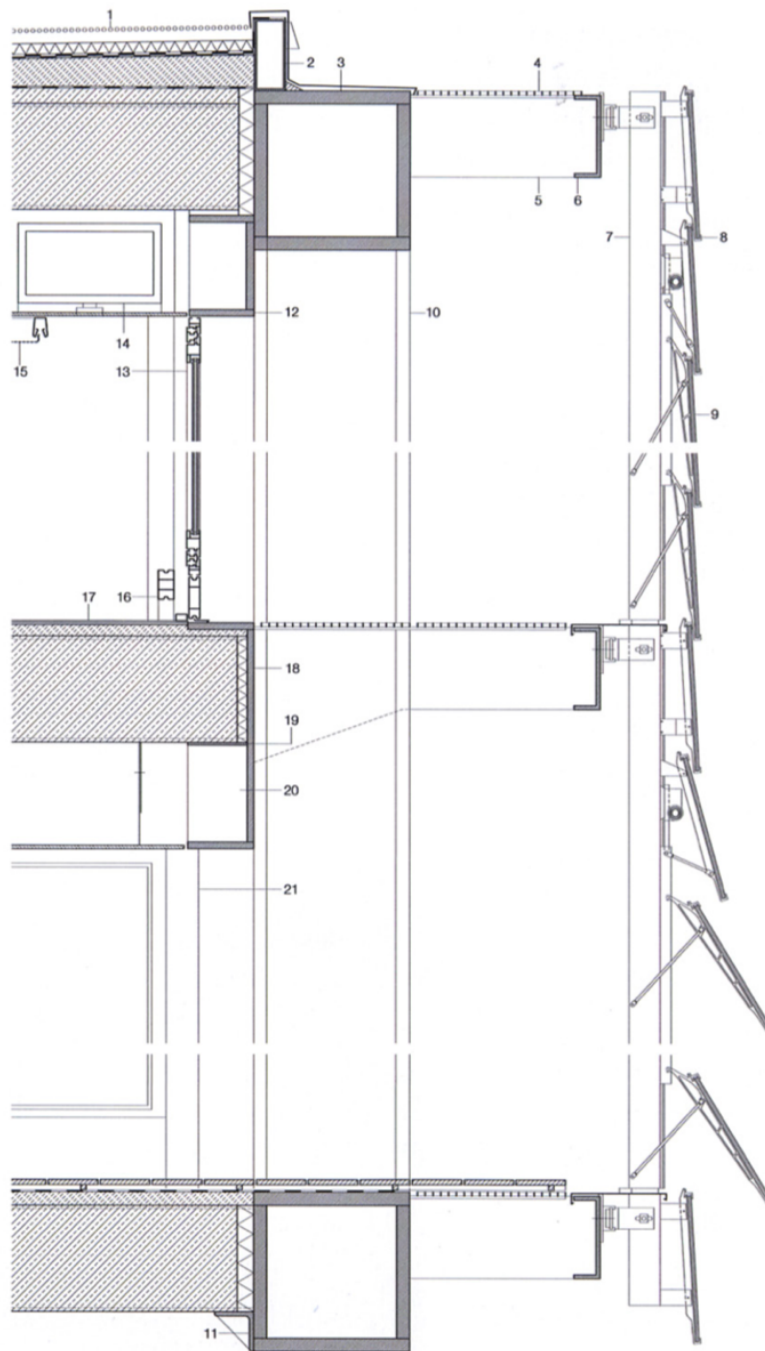


tumbada, que sirven de apoyo y soporte a los mismos [Imagen 31].

Más adelante se verá la importancia del forjado de placas alveolares en la estabilidad y rigidización del conjunto, y su implicación para que las cerchas cumplan las restricciones del CTE.

Imagen 31: Sección constructiva. Apoyo de las placas alveolares sobre las cerchas principales

- 1 Graba blanca lavada 100 mm
Aislamiento poliestireno
expandido rígido 40 mm
Geotextil
Lámina impermeabilizante
Hormigón de pendiente
300 kg/m³
Barrera de vapor
Capa compresión 50 mm
con mallazo \varnothing 10 mm
de 200 x 200 mm
con esperas \varnothing 16 mm
cada 250 mm,
soldados a cojón metálico
Forjado placa alveolar
pretensada 400 mm
- 2 Tubo de acero 300/100 mm
con chapa plegada acero
galvanizada 1,2 mm
- 3 Cordón superior/inferior
cercha, tubo de acero
600/600/50 mm
- 4 Rejilla de acero galvanizada
con malla de 30 x 30 mm y
pletinas portantes con
sujeción mediante clips
tomillería galvanizada
- 5 Platabanda 220/10 mm
con chapa de apoyo
50/10 mm
- 6 Perfil de acero UPN 220 mm
- 7 Montante aluminio
anodizado 120/50 mm
- 8 Alas móviles de aluminio
extrusionado
- 9 Lama móvil de vidrio
laminado 8 + 6 mm
- 10 Montante de acero
600/600/50 mm
- 11 Perfil de acero
L 150/150/12 mm
- 12 Perfil de acero soldado de
pletinas: 250/12 + 380/12
+ 250/12 mm
- 13 Carpintería aluminio
con vidrio aislante
8 + 12 + 6 mm
- 14 Conducto impulsión
aire acondicionado,
rejilla longitudinal de
aluminio anodizado natural
- 15 Falso techo de paneles
acero microperforado
120/30 mm
- 16 Regleta de instalaciones
aluminio extrusionado natural
- 17 Pavimento linoleum sobre
mortero autonivelante 20 mm
Capa compresión 70 mm
Forjado placas alveolares
pretensada 15000/400 mm
- 18 Viga 850/250/12 mm
- 19 Chapa continua 230/10 mm
para el apoyo de las placas
del forjado
- 20 Palastros 230/365/10 mm
cada 500 mm
- 21 Montante de aluminio
200/100 mm



3.3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Se hizo preciso considerar los espacios necesarios para el montaje de las estructuras de cerchas metálicas en obra, de acuerdo a los espacios libres perimetrales y de acuerdo a las limitaciones de sobrecargas admisibles del forjado superior del aparcamiento, tanto para trabajos de montaje como de izado y aprovisionamiento [Imagen 32].

Este último requisito condicionó el montaje de las placas alveolares de los forjados. Las placas pretensadas de 15 m. de luz con apoyo directo sobre la estructura metálica se montaban directamente desde los camiones que las transportaban por elevación, evitando, mediante este sistema, la disposición de subestructuras de trabajo, que irían apoyadas sobre el forjado preexistente del

Imagen 32: Acopio de las estructuras metálicas en obra.



aparcamiento y los problemas de acopio de las placas.

Por otro lado, se hubo de tener en cuenta las limitaciones derivadas del proceso de izado de la estructura metálica respecto a la sucesión de fases de obra, debido a los condicionamiento de disposición, acceso y apoyo de las cuatro grúas simultáneas necesarias (dos de 500 toneladas y dos de 300 toneladas) para la elevación de las cerchas metálicas, así como los debidos a la ejecución estricta de las estructuras de hormigón de apoyo de las cerchas [12].

PROCESO DE IMPLANTACIÓN

En un primer momento, se procedió a la ejecución de las pilas de apoyo (2 x 1,2 m.), sobre las que descansa la estructura metálica. Las zapatas de cada par de pilas sirven de apoyo para la disposición de cada una de las grúas de 500 toneladas (24 m. de longitud) en el momento del izado de las cerchas principales, por lo que el movimiento de tierras y las fases de ejecución de las estructuras de hormigón de las zonas de ampliación hacia cada uno de los laterales del actual aparcamiento se organizaron en función de la accesibilidad a estas zonas de las citadas grúas.



Imagen 33: Montaje final en obra por las limitaciones de transporte.

En la zona de superficie, los trabajos de montaje de las cerchas vinieron condicionados por las cargas admisibles del forjado existente y las distancias de brazo de las grúas encargadas de la elevación.

Según relatan los arquitectos técnicos, Rafael Machancoses y Miguel Navarro, “Las cerchas principales se montaron en taller con la limitación de tamaño exigida por el transporte a obra, donde llegan para su montaje final [Imagen 33]. Las piezas de la estructura metálica se subdividen por cuestiones de peso para izado y por su disposición en obra.” De manera que cada cercha queda dividida en una cercha principal y dos voladizos. “Las dos cerchas principales de 64,8 x 12 m. se montan en posición horizontal, una sobre otra, por las limitaciones de brazo desde el posicionamiento fijado para las dos grúas principales” [12].

ELEVACIÓN DE LA ESTRUCTURA

El proceso de izado de la estructura metálica se realizó a lo largo de una semana de trabajo. En el caso de las cerchas principales, se utilizaron dos grúas de 500 toneladas, dispuestas en cara superior de cimentación, que elevaban cada pieza por punta, y dos grúas de 300 toneladas, dispuestas en la superficie del terreno, que tenían la función de retener y equilibrar cada pieza en el momento de la elevación y el volteo hacia la posición vertical.

Imagen 34: Elevación de la primera cercha.



Primeramente, se dispuso de una de las cerchas principales entre apoyos de hormigón [Imagen 34] para después situar las piezas de arriostramiento de 15 x 12 m. entre apoyos, con el fin de asegurar la provisionalidad de la estructura [Imagen 35] y proseguir sucesivamente la restante cercha principal y las cuatro piezas de voladizos [Imagen 36] [Imagen 37].

La nivelación y ajuste de la estructura metálica con las pilas de hormigón se realizó con un apoyo provisional en la cabeza de cada pila, mediante encamisado metálico al que se soldaba la cercha. Se disponía de una distancia libre entre hormigón y acero de 25 cm. aproximadamente, que permitía la colocación de las capas de apoyo de neopreno necesarias y el ajuste exacto de nivelación mediante rellenos de morteros de alta resistencia [12].



Imagen 36: Estructura aprovisionada a falta de voladizos.

Imagen 35: Aprovisionamiento de la estructura mediante las piezas de arriostramiento.



Imagen 37: Estructura completada.



SISTEMA DE FACHADA

El marcado carácter de representación vinculado al uso de este edificio, las condiciones de orientación y asoleamiento y la propia organización del mantenimiento de instalaciones y servicios determinaron un sistema de fachada compuesto por varios niveles de actuación.

Según explican los arquitectos técnicos, *“de interior a exterior, se compone de una fachada convencional formada por una carpintería de aluminio sin aperturas manuales y con juntas de dilatación compatibles con la estructura metálica principal, con diferentes vidrios seleccionados en función de las condiciones de orientación exigidos. Para la integración de los elementos de instalaciones y almacenamiento dispuestos en fachada se incluyeron paños de lamas de aluminio integradas en la propia perfilería, que permiten la inclusión de las ventilaciones y accesos necesarios”*.

Tras este primer nivel se dispuso de una bandeja accesible de mantenimiento de instalaciones y limpieza de fachada, conformada por elementos de la estructura principal y tramex de acero galvanizado [Imagen 38]. Tanto los elementos de paso de instalaciones como las propias unidades exteriores del sistema de climatización (que se subdivide por plantas y proximidad y se evita la acumulación de instalaciones no integradas en cubierta) se encuentran en este ámbito.

Imagen 38: Pasarela accesible de mantenimiento y limpieza.



La fachada principal desde la ciudad, que se sitúa en la orientación sur, consiste en un sistema de celosía de lamas móviles de vidrio laminar y serigrafiado para la protección solar [Imagen 39].

Afirman los arquitectos que “este sistema se fija a la subestructura de pasarela a través de unos montantes verticales de aluminio tubular que componen el sistema, sobre los que se disponen las piezas de aluminio extrusionado de sujeción de los vidrios, cuyas dimensiones son de 360 x 55 cm., con accionamiento mediante motorización eléctrica determinada a través de regulación automatizada al sistema de gestión y control integrado del edificio. La movilidad de este sistema se ve determinada por las condiciones de optimización energética, de acuerdo a la meteorología del momento o por condiciones de movilidad prefijadas por el propio sistema de control del edificio” [12].

Imagen 39: Sistema de protección solar mediante lamas de vidrio serigrafiado.



En la construcción del consistorio han intervenido más de 60 empresas y se han empleado 7.200 m³ de hormigón, 425 toneladas de acero corrugado, 715 de acero en estructura metálica, 5.250 m² de vidrio y 7.375 m² de pavimento de granito. Se han instalado, además, más de 1.108 m² de vidrio serigrafiado en el que se han grabado al ácido los nombres de los 62.000 habitantes de Benidorm que figuraban en el padrón municipal en enero de 2002 [15].

4. MODELO ESTRUCTURAL



4.1. SIMPLIFICACIONES ADOPTADAS

Para empezar a relatar cómo se ha modelizado el edificio, cabe puntualizar que hay una serie de simplificaciones que se han adoptado de forma deliberada sobre el modelo estructural.

Como hemos relatado en los capítulos anteriores, el edificio del ayuntamiento de Benidorm está compuesto por dos volúmenes laterales y un sótano realizados con una estructura convencional de hormigón armado, y un volumen superior con cerchas de grandes luces, conformado por secciones metálicas. Este volumen será básicamente el objeto de análisis de este trabajo. No entraremos a analizar el funcionamiento de las edificaciones laterales. Tampoco se incluirán, por tanto, las dos plantas de aparcamientos en sótano.

El suelo sobre el que apoyan los soporte de hormigón, se ha considerado como un suelo rígido de resistencia infinita, por tanto, diferirá del modelo real en los posibles asientos que pudiesen existir.

No se realizará, en consecuencia, el cálculo de la cimentación de los cuatro soportes, que sabemos y hemos descrito anteriormente, que son zapatas combinadas por cada par de soportes, además de servir de apoyo a las dos grandes grúas. Sin embargo, se ha considerado que su dimensionado extendería demasiado el trabajo, y nos distraería del

verdadero fin, que es el análisis de la espectacular estructura metálica.

Después de haber realizado todas estas simplificaciones y alguna más que se explicará cuando se considere necesaria, la aproximación del modelo estructural a la realidad se ha resuelto mediante 4.635 barras y 51.962 elementos finitos.

4.2. MODELIZACIÓN DEL EDIFICIO

Ahora que ya se han explicado ciertas simplificaciones existentes en el modelo, se puede entrar a explicar su elaboración.

En un primer momento, realicé una exhaustiva búsqueda en el polibuscador de la UPV, que me llevó a visitar el Centro de Información Arquitectónica de la ETSAV y la biblioteca de la ETSICCP, encontré un gran número de revistas de arquitectura y libros en los que se describía prácticamente la totalidad del edificio. Documentación que ha resultado muy útil para la comprensión de éste y para la elaboración del modelo.

Aprovechando ciertos detalles constructivos que aparecían en algunas revistas como *DETAIL* o *CERCHA*, fotografías del proceso de obra encontradas en la página web del software de cálculo de estructuras *CYPE*, la descripción del edificio encontrada en artículos “on line”, y alguna decisión que se ha tomado deliberadamente por la ausencia de algunos datos, se ha conseguido levantar una aproximación al modelo real del consistorio.

La modelización cuenta básicamente con dos fases. En la primera se realiza mediante el software de *Autodesk, AutoCAD 2019*, una representación simplificada a modo de línea de los ejes de todas las barras metálicas. Utilizando el comando *Línea*,

separando por capas las distintas tipologías de elementos (cerchas principales norte y sur, piezas de arriostramiento este y oeste, pilares, etc.), y teniendo especial atención en que todos los vértices vayan coincidiendo, creando nudos asimilables por el software de cálculo.

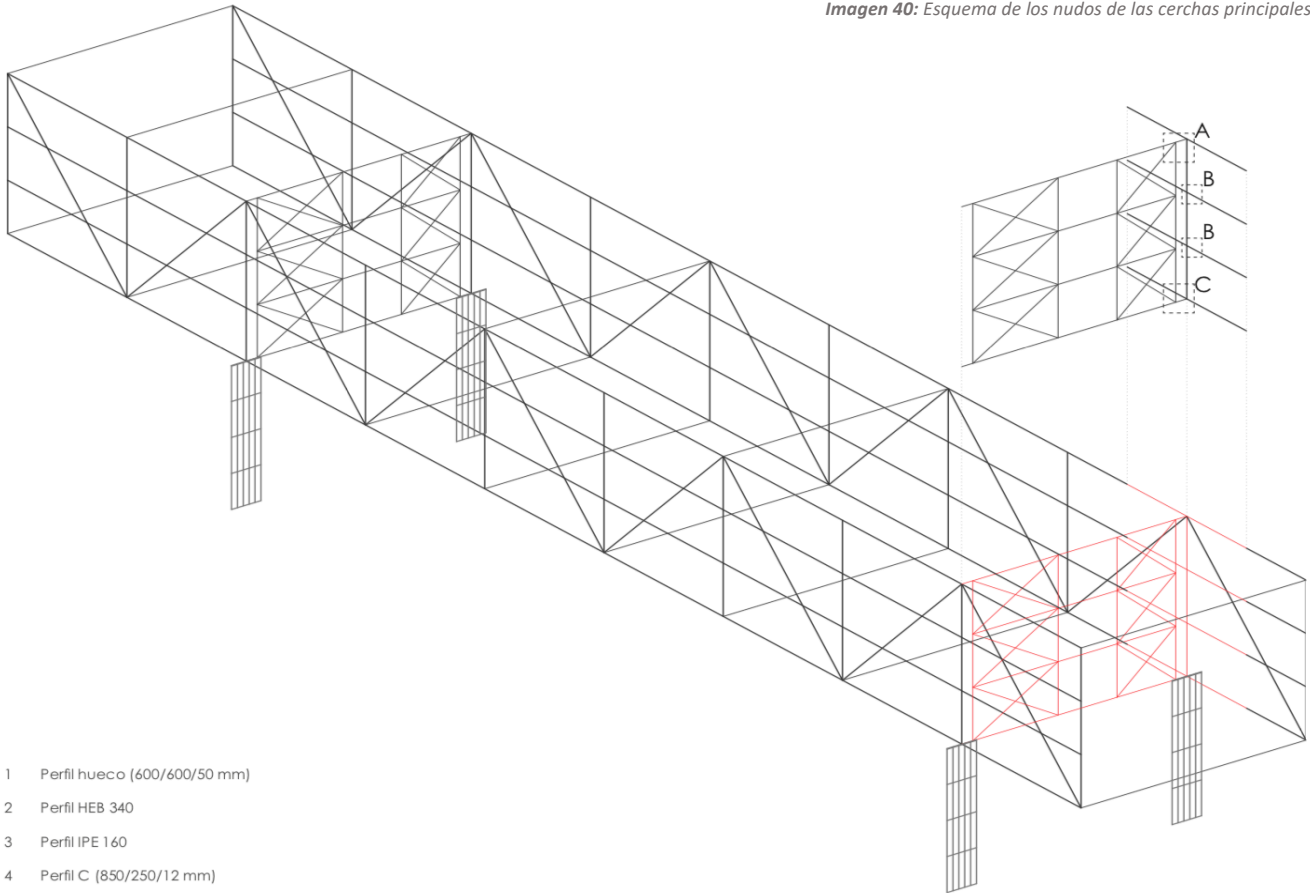
La segunda fase consiste en la asignación a cada línea del modelo de su correspondiente sección metálica, llegando incluso a la generación de secciones de usuario para su consecución. A toda la estructura metálica se le ha asignado un acero S-275. En esta fase también se modelizan varios elementos estructurales como mallas para su cálculo por el método de elementos finitos. Para la realización de todo lo referente a esta segunda fase se ha utilizado la aplicación para *AutoCAD*, del software *ANGLE* [21].

A continuación se describe el dimensionado y modelado individual de cada elemento de la estructura.

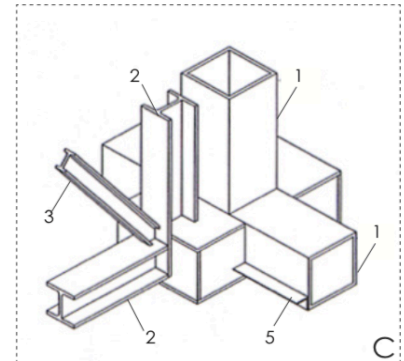
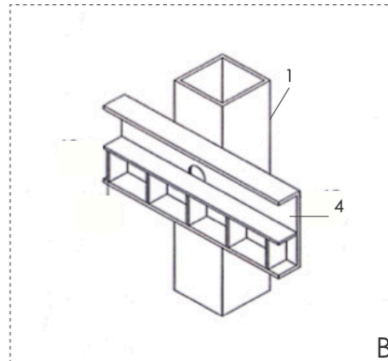
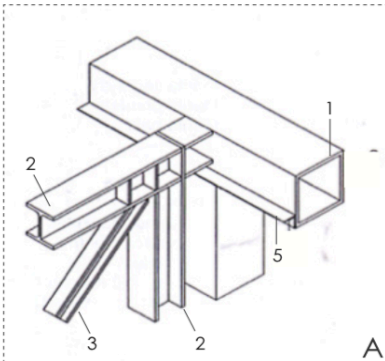
PILARES

Los cuatro pilares de hormigón armado de $f_{ck} = 50$ MPa. se decidieron representar como si de un muro de 2 m. de longitud, 1,2 m. de espesor y 10,8 m. de altura se tratara. De esta forma, los pilares quedan dibujados como superficies de elementos finitos de baja densidad.

Imagen 40: Esquema de los nudos de las cerchas principales.



- 1 Perfil hueco (600/600/50 mm)
- 2 Perfil HEB 340
- 3 Perfil IPE 160
- 4 Perfil C (850/250/12 mm)
- 5 Perfil L (150/150/12 mm)

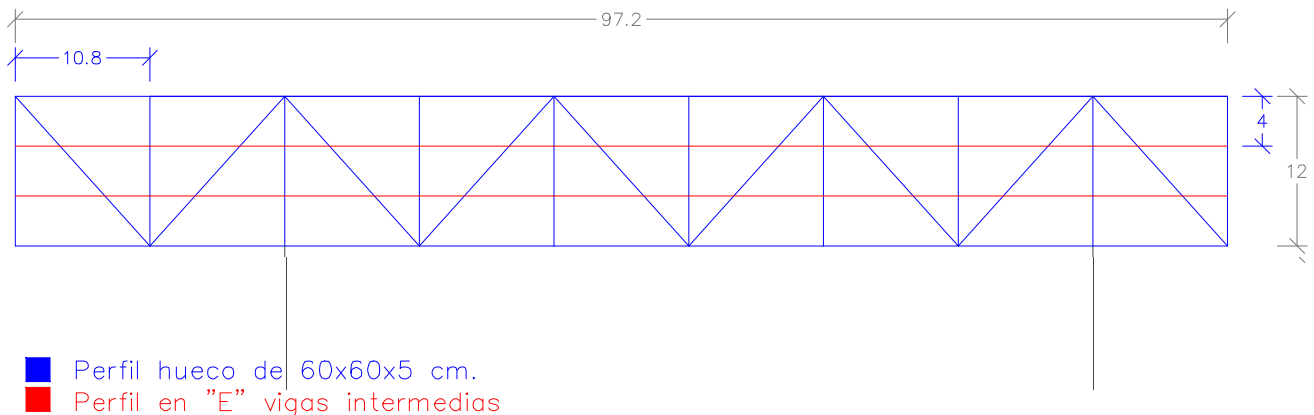


Además, este modo de representación ha sido necesario para abarcar varios puntos de unión entre la cabeza del pilar y la estructura que soporta (el encuentro entre la cercha principal y la celosía de arriostamiento) [Imagen 40 C], y no solo un punto, que es lo que pasaría si la representación del pilar fuera mediante una línea. También se han modelizado los neoprenos zunchados que se encuentran en la coronación de los pilares, como una extensión de los E.F. de 5 cm. pero variando su espesor de 120 cm. a 15 cm. De esta forma, se permite a la cercha principal su libre giro y se evita la transmisión de momentos entre cercha y pilar.

CERCHAS PRINCIPALES

Se trata de las piezas más importantes de la estructura. La cercha está formada por distintos perfiles metálicos, y todos ellos se han modelizado

Imagen 41: Esquema de las cerchas principales acotado.



como líneas antes de su asignación [Imagen 41].

La celosía principal como hemos descrito anteriormente, está compuesta por perfiles metálicos huecos de 60 x 60 x 5 cm., y unas vigas que a la altura de cada forjado se van soldando a los perfiles huecos para servir de apoyo a las placas. Por tanto, tanto en el cordón superior como en el inferior de la cercha se ha considerado

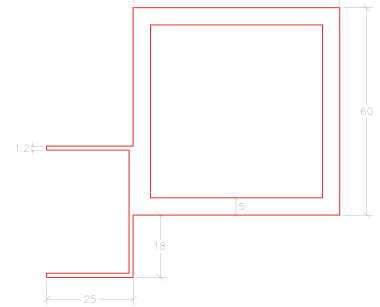


Imagen 42: Cordón superior. Perfil de usuario.

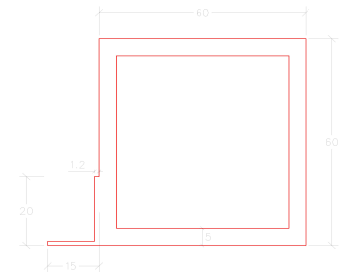


Imagen 43: Cordón inferior. Perfil de usuario.

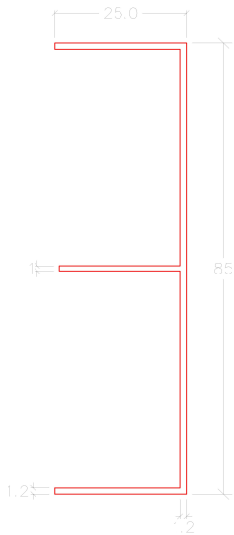
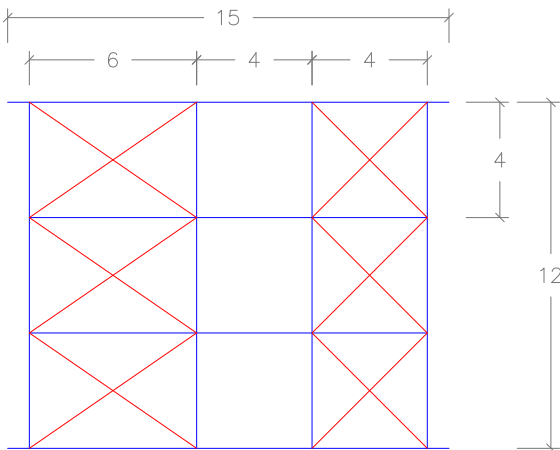


Imagen 44: Viga intermedia en "E". Perfil de usuario.

oportuno la creación de un perfil de usuario [Imagen 42] [Imagen 43], ya que por pequeños que fuesen los perfiles que se sueldan, ofrecerían algo más de inercia. Las otras dos vigas intermedias que recorren toda la longitud de la cercha, y sirven de soporte a los forjados, están compuestas por "perfiles en U" con una chapa continua que les hace convertirse en unos "perfiles en E" [Imagen 44], que van

soldadas a los montantes y diagonales a diferencia de el modelo real, donde únicamente van soldadas a los montantes. Este formato de sección no está

Imagen 45: Esquema de las celosías de arriostramiento acotado.



■ HEB 340
■ IPE 160

estandarizado, y también han sido modelizadas con perfiles de usuario. No obstante, tanto unos como otros, se han modelizado sin los salientes que sostienen las pasarelas debido a su laborioso trabajo, además su modelización se tendría que realizar mediante elementos finitos. Motivo por el cual no interesa, ya que el software ofrecería mapas de isovalores que no son la representación más idónea para lo que realmente se busca, que son los diagramas de esfuerzos globales de la estructura.

PIEZAS DE ARRIOSTRAMIENTO

Se ubican entre los dos pares de pilares, perpendiculares a las cerchas, atándolas. Estas piezas, compuestas por un gran grupo de barras que definen una cuadrícula y otras formando "x" en la mayoría de sus huecos, se unen al resto de la estructura por sus cuatro esquinas [Imagen 45]. Las dos esquinas superiores se unen a las cerchas solamente. Las dos esquinas inferiores se unen a las cerchas apoyando en los pilares. En el modelo real, la conexión de las esquinas inferiores se produce mediante una pieza metálica que actúa como un gran nudo que unifica el apoyo. Los perfiles asignados para este grupo de barras son HEB-340 para las barras ortogonales, e IPE-160 para las barras en "x", siendo este último una decisión intuitiva fundada por fotografías de la construcción y esquemas presentes en algunas revistas.

FORJADOS DE PLACAS ALVEOLARES PRETENSADAS

En un primer momento, se decidió colocar una superficie de reparto unidireccional que transmitiría las cargas aplicadas sobre los forjados a las cerchas de la misma manera que lo harían las placas. Sin embargo, esta modelización no nos permitía visualizar como trabajaban los propios forjados. Tras un primer análisis de cálculo que explicaremos en los siguientes apartados, se concluye que es necesario dotar a los forjado de rigidez. Para ello, se acabarán modelando como superficies de malla triangulada para su calculo por elementos finitos, dándoles espesores de 45 o 47 cm., según sea el forjado de cubierta o los forjados tipo, siendo 40 cm. de placa, más 5 o 7 cm. de capa de compresión, y asignándoles un nuevo material creado para la ocasión al cual se le llama “Placas alveolares + c.c.”, que tendrá las mismas características que tiene el material “Hormigón armado”, variando su peso específico de 2.500 Kp/m³ a 1400 Kp/m³.

4.3. MODELIZACIÓN DE LAS CARGAS

Una vez tenemos generado el modelo estructural, para poder analizar su funcionamiento necesitaremos conocer las cargas que actúan sobre el edificio. Para ello, el *Código Técnico de la*

Edificación (CTE), reserva el llamado *Documento Básico de Seguridad Estructural – Acciones en la Edificación* (DBSE – AE). En este documento se dividen las cargas en tres grupos: permanentes, variables y accidentales.

ACCIONES PERMANENTES

Son las cargas que actúan de forma constante sobre la estructura. Dentro de este grupo podemos encontrar tres variantes que son las acciones producidas por: peso propio, pretensado y acciones del terreno. En este trabajo se aplicarán únicamente las acciones producidas por el peso propio. Se descartarán las acciones del terreno ya que en el modelo no hay sótanos susceptibles de esta acción, y el pretensado de las placas alveolares por no ser parte fundamental de la finalidad del trabajo.

	Fachada NORTE	Fachada SUR (Córdon: usuario e interior)	Fachada SUR (Vaga: interior)
	- Trámex (suelo de rejilla): 0,1764 KN/m - Perfiles de acero: 1,4 KN/m - Perfil UPN-220: 0,29 KN/m	- Trámex (suelo de rejilla): 0,1764 KN/m - Perfiles de acero: 1,4 KN/m - Perfil UPN-220: 0,29 KN/m +(Ámbito 2 m.) - Montantes: 0,183 KN/m - Vidrio serigrafado: 0,7 KN/m	- Trámex (suelo de rejilla): 0,1764 KN/m - Perfiles de acero: 1,4 KN/m - Perfil UPN-220: 0,29 KN/m +(Ámbito 4 m.) - Montantes: 0,36 KN/m - Vidrio serigrafado: 1,4 KN/m
Carga total:	1,866 KN/m	2,75 KN/m	3,626 KN/m

Los valores de pesos propios de algunos elementos se extraen de las fichas técnicas que ofrecen los fabricantes, o en su lugar, del “Anejo C” que ofrece el DBSE – AE. El peso propio de los forjados varía según sea el forjado de cubierta o el forjado tipo:

	Forjado cubierta	Forjado tipo
	-Placa de losa alveolar 40x5: 6,3 KN/m ² -Hormigón de pendiente: 1,45 KN/m ² -Poliestireno expandido: 0,012 KN/m ² -Grava: 1,45 KN/m ²	-Placa de losa alveolar 40x7: 6,8 KN/m ² -Pavimento linoleum + mortero autonivelante: 0,5 KN/m ² -Tabiquería interior: 1 KN/m ²
Carga total:	9,212 KN/m ²	8,3 KN/m ²

Los elementos de cada forjado se han extraído de varios detalles constructivos encontrados en revistas. Estas cargas se sitúan uniformemente distribuidas sobre las superficies de los forjados [Imagen 46].

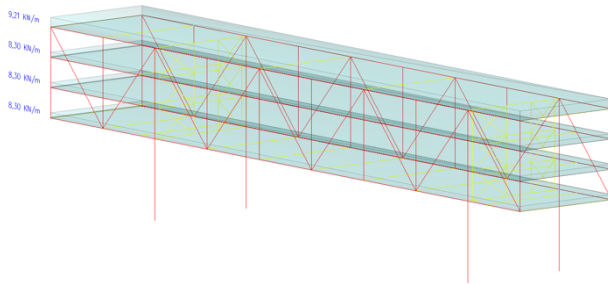


Imagen 46: Esquema cargas permanentes superficiales.

Dentro de los pesos propios también se encuentran los elementos de fachada como son las pasarelas, la piel de vidrio serigrafiado a sur y su subestructura metálica. De igual manera, los pesos propios de fachada variarán, esta vez, en función de la orientación sea norte, o sur:

Estas cargas irán representadas como una carga lineal y uniforme sobre las cuatro vigas de cada celosía [Imagen 47] [Imagen 48].

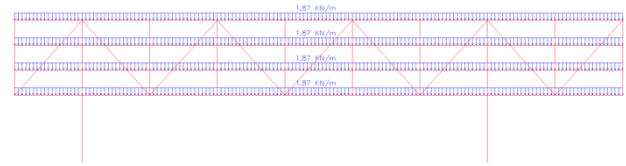


Imagen 47: Esquema cargas permanentes lineales fachada norte.

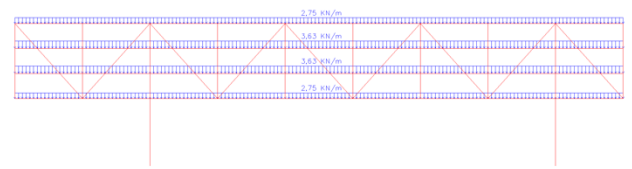


Imagen 48: Esquema cargas permanentes lineales fachada sur.

ACCIONES VARIABLES

Dentro de este grupo se encuentran la sobrecarga de uso, acciones sobre barandillas y elementos divisorios, la acción del viento, acciones térmicas, y la carga de nieve.

La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso [16]. Ésta puede simularse como una carga uniformemente distribuida y se pueden adoptar

como valores característicos los de la tabla 3.1 del DBSE – AE [Imagen 49].

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	C1 Zonas con mesas y sillas	3	4
	C2 Zonas con asientos fijos	4	4
C Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C3 Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
	C4 Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
	C5 Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc.)	5	4
D Zonas comerciales	D1 Locales comerciales	5	4
	D2 Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)		2	20 ⁽¹⁾
F Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾		1	2
G Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾ Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁸⁾	2
	Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁸⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
	G2 Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Imagen 49: Tabla 3.1.

Siendo el edificio considerado como categoría de uso “B”, zona administrativa, la carga repartida uniformemente sobre los forjados tipo es de 2 KN/m².

Imagen 50: Mapa del valor básico de la velocidad del tiempo.

- 4 El valor básico de la velocidad del viento en cada localidad puede obtenerse del mapa de la figura D.1. El de la presión dinámica es, respectivamente de 0,42 kN/m², 0,45 kN/m² y 0,52 kN/m² para las zonas A, B y C de dicho mapa.



Las acciones sobre barandillas y elementos divisorios no se tendrán en cuenta debido a que el modelo se ha realizado sin las pasarelas. Tampoco se tendrán en cuenta las acciones térmicas. Se han considerado fuera del ámbito de este trabajo.

La acción del viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e [16]. Su representación en el modelo se hace sobre las fachadas no representadas, creando superficies de reparto, por ámbitos, que repartirán las cargas q_e calculadas, entre todos los forjados. La carga q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b \times C_e \times C_p$$

Donde q_b es la presión dinámica del viento, que según el anejo D, el territorio está dividido en tres zonas. Benidorm pertenece a la “zona B”, que equivale a un valor de q_b de 0,45 KN/m² [imagen 50].

c_e es el coeficiente de exposición, que varía según el grado de aspereza del entorno. Como indica la tabla 3.4, el ayuntamiento de Benidorm tiene un grado de aspereza IV que equivaldría a un c_e de 1,9 KN/m² [Imagen 51].

Imagen 51: Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

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

El coeficiente eólico de presión c_p , y el de succión c_s , son valores extraídos de la tabla 3.5 y que varían en función de la esbeltez del edificio. Como indica el DBSE – AE en el punto 2 del apartado 3.3.2, la acción del viento se tendrá en cuenta como mínimo en dos direcciones sensiblemente ortogonales cualesquiera, y sobre éstas en ambos sentidos. Por tanto para un viento norte – sur, los valores de c_p y c_s , son 0,8 y -0,6 respectivamente. Y para un viento este – oeste, 0,7 y -0,3 [Imagen 52].

Tabla 3.5. Coeficiente eólico en edificios de pisos

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

Imagen 52: Tabla 3.5.

Por tanto, para una dirección de viento norte – sur:

$$q_{e,p} = 0,45 \times 1,9 \times 0,8; \quad q_{e,p} = \mathbf{0,684 \text{ KN/m}^2}$$

$$q_{e,s} = 0,45 \times 1,9 \times -0,6; \quad q_{e,s} = \mathbf{-0,513 \text{ KN/m}^2}$$

Para una dirección de viento este – oeste:

$$q_{e,p} = 0,45 \times 1,9 \times 0,7; \quad q_{e,p} = \mathbf{0,598 \text{ KN/m}^2}$$

$$q_{e,s} = 0,45 \times 1,9 \times -0,3; \quad q_{e,s} = \mathbf{-0,256 \text{ KN/m}^2}$$

La carga de nieve q_n , como define la real academia de ingeniería es un “factor de peso unitario que se tiene en cuenta en el diseño de un tejado plano o con pendiente para un probable amontonamiento sobre

él” [17]. La carga de nieve se representa únicamente sobre el forjado de cubierta del modelo, como una carga uniformemente repartida. Puede expresarse de la siguiente manera:

$$q_n = \mu \times S_k$$

Donde μ es el coeficiente de forma de la cubierta. Según el punto 2 del apartado 3.5.3 del DBSE – AE, si la inclinación de la cubierta es menor de 30° como es el caso, se tomará $\mu = 1$.

s_k es el valor característico de una carga de nieve sobre un terreno horizontal. Su valor se extrae de la tabla 3.8 y varía según la provincia en que se sitúa el edificio. Benidorm se encuentra en la provincia de Alicante y por tanto s_k es igual a 0,2 KN/m² [Imagen 53].

Por tanto:

$$q_n = 1 \times 0,2; \quad q_n = \mathbf{0,2 \text{ KN/m}^2}$$

Imagen 53: Tabla 3.8.

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

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

ACCIONES ACCIDENTALES

Una carga accidental es aquella que sucede eventualmente en la vida de una estructura, no es constante y puede alcanzar grandes magnitudes. Ésta no se debe al funcionamiento normal del inmueble y se presenta solo durante lapsos breves [23]. Una carga accidental puede ser la ocasionada por sismo, incendio, impacto u otras cargas accidentales.

Según nos puntualiza el *CTE DBSE – AE*, las acciones sísmicas están reguladas en la *NCSE*, norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación [16].

Esta norma es de aplicación al proyecto, construcción y conservación de edificaciones de nueva planta. En los casos de reforma o rehabilitación se tendrá en cuenta esta Norma, a fin de que los niveles de seguridad de los elementos afectados sean superiores a los que poseían en su concepción original [24].

En esta misma norma se clasifican las construcciones en:

- De importancia moderada
- De importancia normal
- De importancia especial

El Ayuntamiento de Benidorm pertenece a las construcciones de importancia normal y tiene una aceleración sísmica básica $a_b = 0,09.g$, siendo “g” la aceleración de la gravedad.

La propia norma establece unos límites a partir de los cuales no es necesaria la aplicación de la norma. Sin embargo, el ayuntamiento sobrepasa estos límites, por lo que la acción sísmica debe estar presente en el cálculo.

Se ha considerado que éste extendería mucho el trabajo, y que no influye en el estudio y comprensión del funcionamiento global de la estructura. Por tanto, no se aplicará.

Las acciones sobre un edificio causadas por un impacto dependen de la masa, de la geometría y de la velocidad del cuerpo impactante, así como de la capacidad de deformación y de amortiguamiento tanto del cuerpo como del elemento contra el que impacta. Quedarán excluidos los impactos premeditados, tales como el impacto de un vehículo o la caída del contrapeso de un aparato elevador [16].

Las acciones debidas a la agresión térmica del incendio están definidas en el DB-SI [16].

Por el mismo motivo que la acción sísmica, se ha decidido no aplicar ni la acción térmica, ni el impacto, para no exceder la extensión del trabajo.

4.4. COMBINACIONES DE CARGA

Para certificar que existe una *seguridad estructural*, el CTE establece unos topes llamados *estados límite*, los cuales, de ser superados puede considerarse que el edificio no cumple alguno de los requisitos estructurales para los que ha sido concebido [18].

Existen dos tipos de estados límite. Los estados límite últimos y los estados límite de servicio.

Los estados límite último (ELU) son los que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio del edificio o el colapso total o parcial del mismo [18].

Para comprobar que los estados límite últimos no son superados pueden haber tres situaciones de carga diferentes: situación de acciones persistentes o transitorias, de acciones extraordinarias y de acción accidental sísmica. Nos centraremos en la primera, situación de acciones persistentes o transitorias y su expresión es la siguiente:

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

Donde:

$G_{k,j}$ cargas permanentes
 P carga de pretensado (se ignora)
 $Q_{k,1}$ carga variable principal

$Q_{k,i}$ el resto de cargas variables secundarias
 γ coeficiente parcial de seguridad (tabla 4.1)
 ψ coeficiente de simultaneidad (tabla 4.2)

En esta expresión, las cargas permanentes $G_{k,j}$ no varían su posición y se mantienen constantes en todas las combinaciones que se planteen. Por otro lado, las cargas variables se van sucediendo en la posición de principal, mientras que las demás asumen el papel de secundarias al ser multiplicadas por un coeficiente de simultaneidad ψ . Por tanto, sabiendo que se tienen cuatro cargas variables, de las cuales dos son de viento, en direcciones norte – sur y este – oeste, y que ambas pueden ir en los dos sentidos, podemos afirmar que el número de combinaciones de hipótesis de carga en ELU son 16 [Imagen 54].

Siendo:

Hipótesis 1: Peso propio

Hipótesis 2 : Sobrecarga de uso

Hipótesis 3: Nieve

Hipótesis 4: Viento p/s (W -> E)

Hipótesis 5: Viento p/s (S -> N)

Hipótesis 6: Viento p/s (E -> W)

Hipótesis 7: Viento p/s (N -> S)

Imagen 54: Combinaciones de hipótesis de carga ELU.

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
1	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.5	0.75	0.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
2	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	1.5	0.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
3	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	0.75	1.5	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
4	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	0.75	0.9	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
5	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.5	0.75	0	0.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
6	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	1.5	0	0.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
7	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	0.75	0	0.9	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
8	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	0.75	0	1.5	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
9	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.5	0.75	0	0	0.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
10	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	1.5	0	0	0.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
11	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	0.75	0	0	1.5	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
12	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	0.75	0	0	0.9	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
13	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.5	0.75	0.9	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
14	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	1.5	0.9	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
15	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	0.75	1.5	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE ULTIMO (E.L.U.)															
16	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1.35	1.05	0.75	0.9	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0

Los estados límite de servicio (ELS) son los que, de ser superados, afectan al confort y al bienestar de los usuarios o terceras personas, al correcto funcionamiento del edificio o a la apariencia de la construcción [18].

La comprobación de estados límite de servicio puede tener tres combinaciones tipo de carga diferentes: combinación característica, combinación frecuente y combinación casi permanente. Nuevamente nos centraremos en la primera de las combinaciones tipo, que se puede expresar de la siguiente manera:

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

Donde:

- $G_{k,j}$ cargas permanentes
- P carga de pretensado (se ignora)
- $Q_{k,1}$ carga variable principal
- $Q_{k,i}$ el resto de cargas variables secundarias
- ψ coeficiente de simultaneidad (tabla 4.2)

La expresión de ELS, funciona de igual manera que en el caso de ELU, salvo por la ausencia del coeficiente parcial de seguridad γ , que multiplicaba a todos los sumandos. Por lo que se puede afirmar que el número de combinaciones de hipótesis de carga en ELS son 16 [imagen 55].

Imagen 55: Combinaciones de hipótesis de carga ELS.

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
1	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	1	0.5	0.6	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
2	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	1	0.6	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
3	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	0.5	1	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
4	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	0.5	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
5	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	1	0.5	0	0.6	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
6	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	1	0	0.6	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
7	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	0.5	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
8	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	0.5	0	1	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
9	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	1	0.5	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
10	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	1	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
11	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	0.5	1	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
12	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	0.5	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
13	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	1	0.5	0	0	0.6	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
14	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	1	0	0	0.6	0.6	0	0	0	0	0	1	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
15	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	0.5	0	0	1	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0

COMBINACION ESTADO LIMITE DE SERVICIO (E.L.S.)															
16	GRUPO 1					GRUPO 2					GRUPO 3				
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	1	0.7	0.5	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Todas las combinaciones se han insertado una a una en la aplicación de *ANGLE* para *AutoCAD*, para que posteriormente el software de cálculo determine cuáles son los más desfavorables, mediante un análisis global de la estructura que sería impensable realizarlo manualmente.

5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

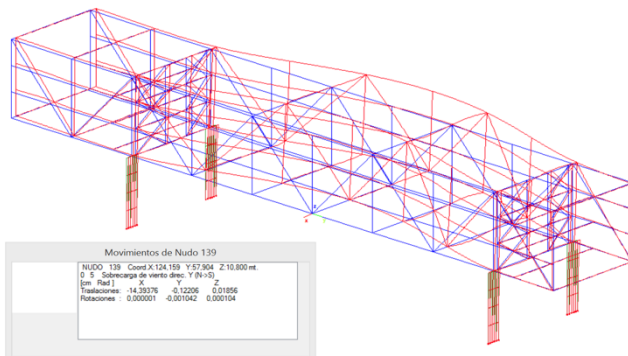


5.1. CONSIDERACIONES INICIALES

Una vez se tiene el modelo de barras y mallas completo, con todos los materiales y cargas aplicados, con todas las hipótesis y combinaciones planteadas, es el momento de exportar el archivo en formato “dxe”, para su reconocimiento en el software de cálculo. Seguidamente, se importa en *ANGLE* el archivo, y se procede a la automatización del cálculo.

A continuación se van a detallar los resultados que se han obtenido a partir del software de cálculo *ANGLE*. Se mostrarán gráficamente los diagramas que nos ofrece el software para su análisis visual, y sobre éstos se realizará una interpretación del funcionamiento global y particular de la estructura. La documentación gráfica está compuesta por diagramas de esfuerzos axiales, cortantes, momentos flectores, deformadas, y mapas de isovalores que

Imagen 56: Deformada provocada por viento sin rigidez de forjados.



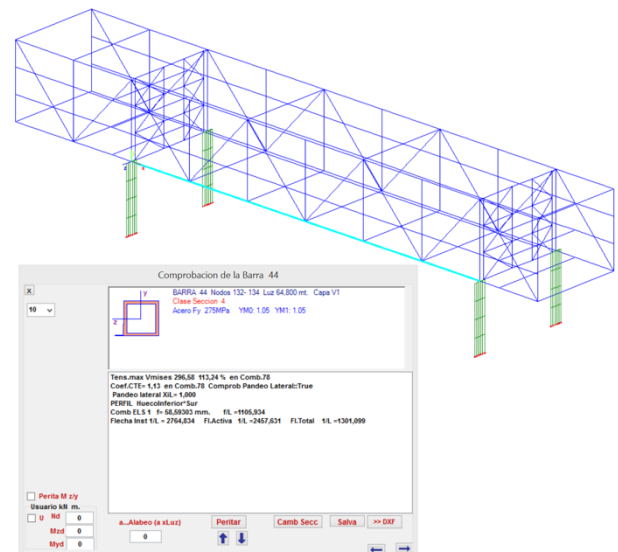
son necesarios para el análisis de los elementos modelizados mediante elementos finitos.

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS RESULTADOS

Tras una primera revisión de los resultados que nos ofrecía el software, se podía apreciar un problema de deformación horizontal, causado por la hipótesis 4, “sobrecarga de viento p/s (S->N)” [Imagen 56].

La flecha era realmente exagerada, llegando a tener en la dirección N-S, un desplazamiento de los nudos centrales de la cercha principal de 14,4 cm.. Consecuencia de ello, era el no cumplimiento de la normativa de alguna de las barras [Imagen 57].

Imagen 57: Confirmación del incumplimiento de la normativa por exceso de flecha.



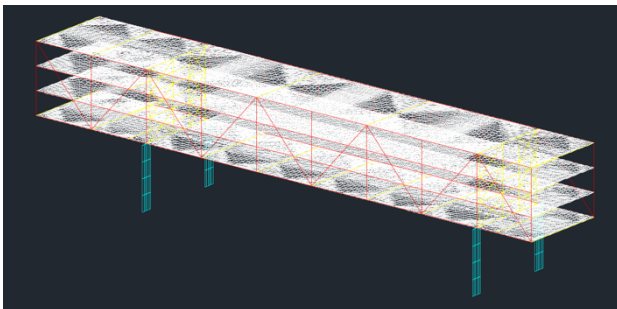
Este problema venía dado por la representación que en un primer momento se hace de los forjados como superficies de reparto. Careciendo de la asignación de materialidad y en consecuencia de resistencia y rigidez.

Una vez detectado el problema, se decide la creación de un nuevo material que se aplicará a los forjados, “placas alveolares + c.c.”. Éste posee las mismas cualidades que el HA-25, a excepción del peso específico, que cambiará de 2500 Kp/m^3 a 1400 Kp/m^3 , ajustándose así más a la realidad.

Seguidamente se decide la modelización de los forjados mediante malla triangulada de alta densidad [Imagen 58], mediante el comando mallado global de la aplicación de ANGLE, a la que se le dará un espesor de 47 cm. para los forjados tipo, y 45 cm. para el forjado de cubierta.

Para comprobar su viabilidad, se vuelve a someter a la misma hipótesis de carga, y de esta manera se confirma ya, el correcto funcionamiento del conjunto global [Imagen 59] [Imagen 60].

Imagen 58: Modelo con forjados mediante E.F.



Resuelto el problema, cabría destacar la importancia que tienen los forjados en la rigidización frente a esfuerzos horizontales, como pueden ser viento o sismo, sobre todo en este tipo de estructuras tan singulares con luces de grandes dimensiones. Aún así, la modelización de los forjados sufrirá diversos cambios a lo largo del proceso, que se relatarán cuando se considere más oportuno.

Imagen 59: Comprobación del efecto de la dotación de rigidez a los forjados.

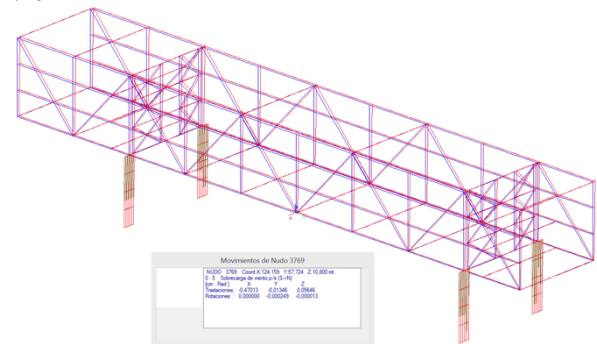
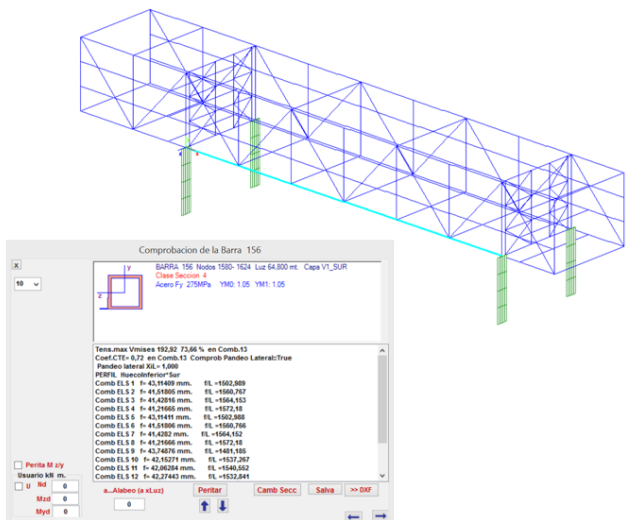


Imagen 60: Confirmación del cumplimiento de la normativa a flecha.



5.2. ESFUERZOS Y DIMENSIONADO

CERCHAS PRINCIPALES

Las dos cerchas principales parecen ser las mayores responsables del funcionamiento y forma del volumen. Éstas son las encargadas de recibir todas las cargas del edificio, soportarlas, y transmitir las a los soportes salvando luces de casi 65 m. Parece lógico por tanto, la necesidad de que las cerchas cubran toda la altura del conjunto, 12 m., confiriéndole así gran inercia.

Las cargas permanentes que recibirá cada cercha serán las correspondientes a los ámbitos de carga de cada forjado. También soportarán las cargas modelizadas como lineales sobre cada cordón de las cerchas correspondientes a las pasarelas, con el añadido del peso propio de la subestructura de montantes de la segunda piel y los vidrios serigrafiados, que se añadirán a la fachada sur.

Para extraer los diagramas, se somete a la estructura a las combinaciones de ELU, para así poder analizar su comportamiento.

En un primer análisis de los resultados se observan comportamientos imprevistos en las diagonales y las vigas en “E”. Tanto los diagramas de axiles [Imagen 61], como los de cortantes [Imagen 62] y flectores [Imagen 63], nos muestran un mismo error, repetidamente, a lo largo de la celosía. Según

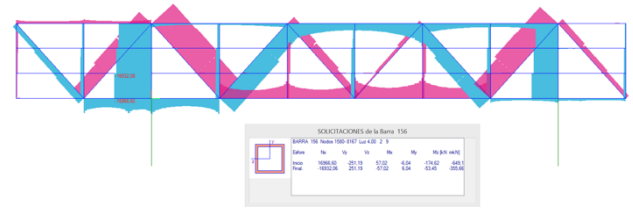


Imagen 61: Diagrama de axiles antes de la modificación. Cercha principal sur.

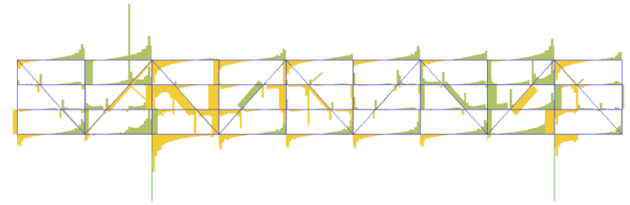


Imagen 62: Diagrama de cortantes antes de la modificación. Cercha principal sur.

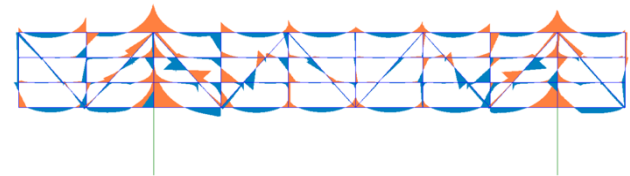


Imagen 63: Diagrama de flectores antes de la modificación. Cercha principal sur.

comentábamos en capítulos anteriores las vigas en “E” van soldadas únicamente en los montantes, evitando transmitir cualquier tipo de esfuerzo a las barras diagonales. En caso contrario induciría flexiones en las diagonales, tal y como se observa en los diagramas, perjudicando al óptimo comportamiento de las diagonales, sobretodo, las que trabajan a compresión.

Para solucionar el problema se tiene que recurrir a un recurso llamado “entorno de captura”. Se parte de que todas las barras se encuentran en el mismo plano y el programa genera automáticamente un

nudo sobre dos barras que se tocan. Por tanto, se hace necesario que diagonales y vigas en “E” estén en distinto plano, pero que tanto unas como otras conecten con los montantes. Para su consecución, se decide desplazar las diagonales 3 cm. hacia fuera, y las vigas en “E” intermedias, 3 cm. hacia el interior, quedando así 6 cm. entre ellas y ambas a 3 cm. del resto de barras de la celosía. Seguidamente se aplica el recurso “entorno de captura”. Este recurso establece un ámbito dentro del cual, cualquier grupo de extremos de barra se considerará un nudo. El entorno de captura por tanto, se ha definido en 5 cm.

Una vez modificado, se vuelve a introducir el modelo en el software de cálculo, y se procede nuevamente al análisis de los resultados.

Si comparamos los resultado del modelo anterior, con los del nuevo modelo, se pueden apreciar los cambios. Tal y como se esperaba, en el diagrama de axiles [Imagen 65], las diagonales han pasado de tener sobresaltos en cada cruce con las vigas intermedias, a tener un axil único y continuo en toda su longitud.

En los cortantes [Imagen 66] y flectores [Imagen 67], igualmente todo encaja con lo esperado. Las barras diagonales no reciben ningún tipo de cortante, ni tampoco lo transmiten a las vigas intermedias. Los

momentos que aparecen en las diagonales son debidos al peso propio de la barra, y los presentes en las vigas intermedias, siguen su curso natural como piezas biempotradas que son de montante a montante.

En el diagrama de axiles, se puede apreciar claramente como los esfuerzos de las barras dibujan el camino de las isostáticas de tracción y compresión, que aparecen normalmente en los elementos resistentes de alma llena equivalente.

Los montantes sobre los pilares son las barras más solicitadas, sobretodo el par de montantes que soportan el voladizo de mayores dimensiones, el voladizo oeste. Estos cuatro montantes son los que reciben prácticamente todas las cargas que gravitan sobre la estructura y que han transcurrido por las diversas barras hasta llegar a ellos. El resto de montantes no son realmente necesarios para el funcionamiento global de la celosía [Imagen 64]. No sirven para reducir la flecha del conjunto.

Imagen 64: Diagrama de axiles. Viga Warren.



Figura 2.5-28. Diagrama de esfuerzos axiales de la viga Warren de luz L: 14.0 m y canto H: 1.4 m.



Figura 2.5-29. Diagrama de esfuerzos axiales de la viga Warren con doble montante de luz L: 14.0 m y canto H: 1.4 m.

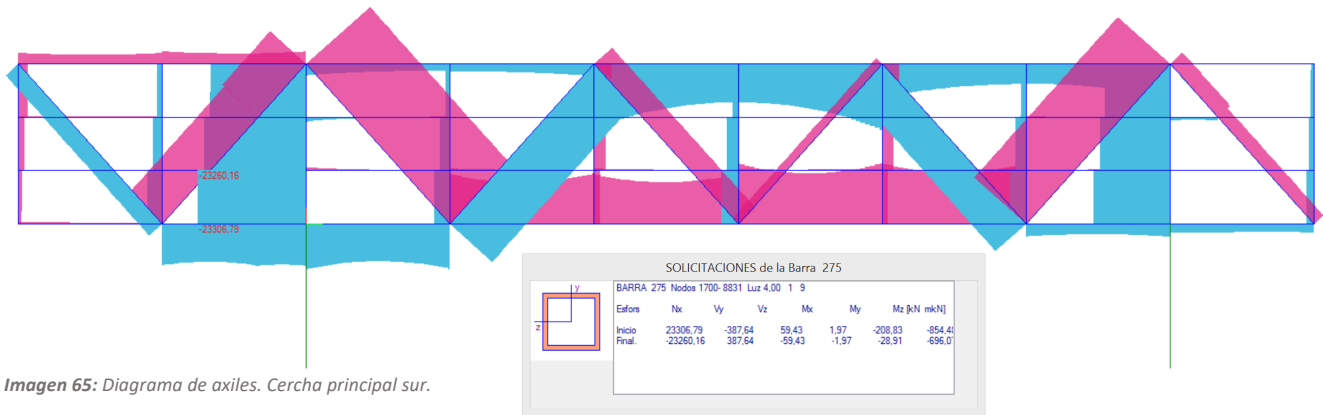


Imagen 65: Diagrama de axiles. Cercha principal sur.

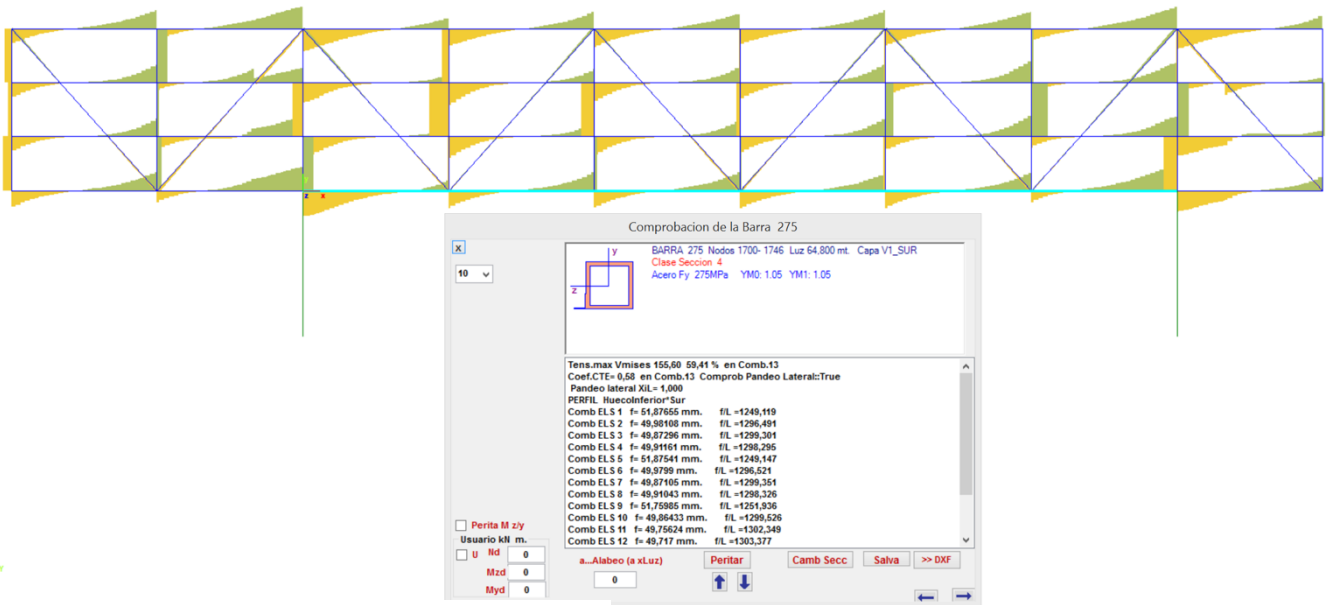


Imagen 66: Diagrama de cortantes. Cercha principal sur.

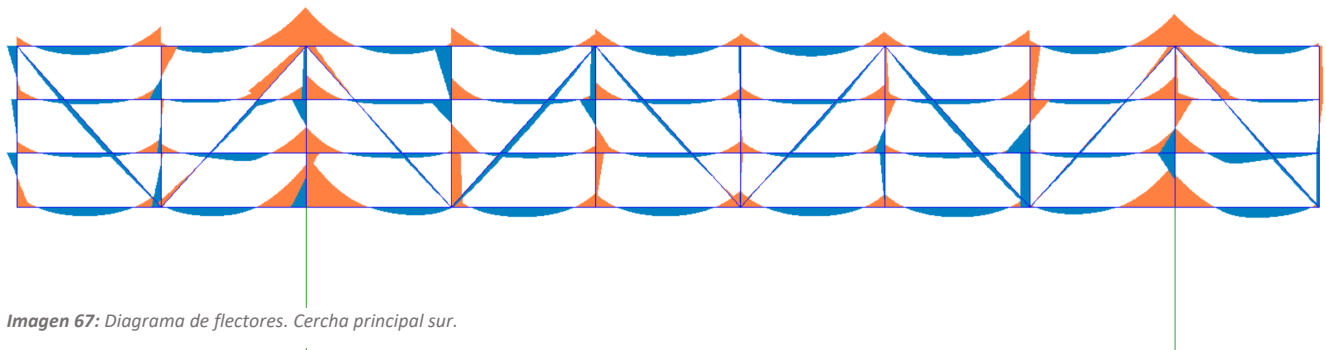


Imagen 67: Diagrama de flectores. Cercha principal sur.

Su existencia se basa en dos puntos fundamentalmente:

- Reducir las luces de las barras del cordón superior comprimido, consiguiendo así mejorar su situación frente al pandeo [Imagen 68].
- Reducir las luces de las barras del cordón inferior, para reducir flexiones sobre las barras [Imagen 68].

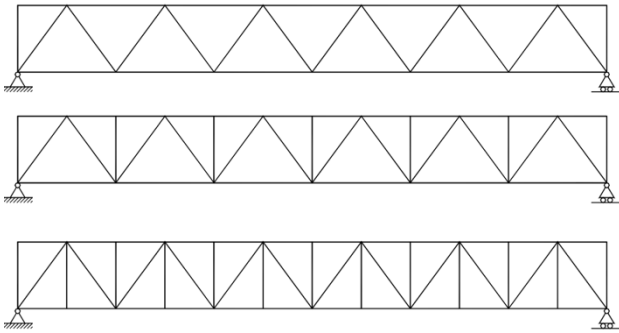


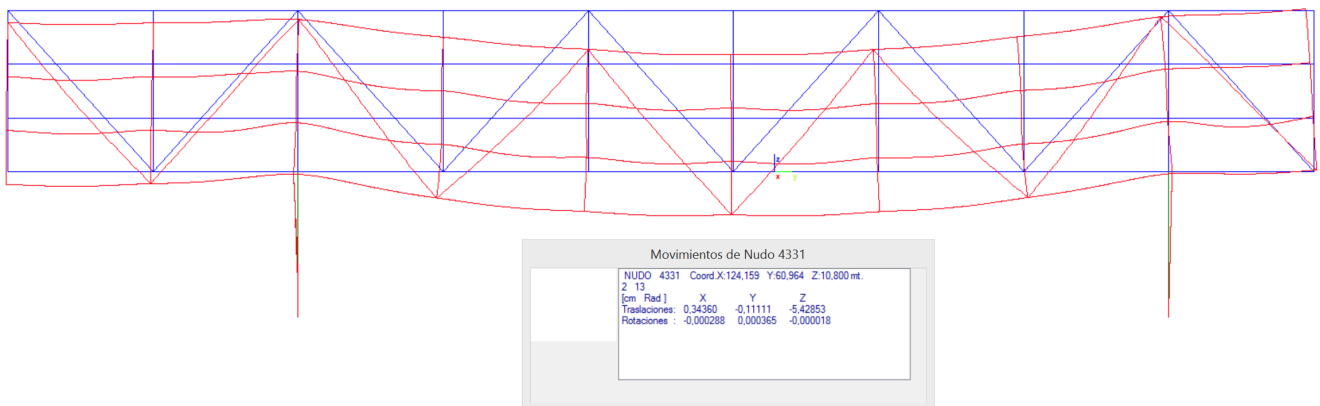
Imagen 68: Viga Warren sin montantes, con montantes intercalados y con montantes.

No obstante, en este proyecto tienen una tercera función, que consiste en servir de apoyo a los perfiles de los dos forjados intermedios, evitando así la necesidad de apoyarse sobre las diagonales sobre las cuales induciría flexiones indeseadas.

Como señala Roger Señís López en su tesis doctoral: “Para acciones gravitatorias se recomienda que la primera diagonal junto a los soportes esté traccionada, ya que es la más solicitada debido a que el cortante general de la cercha, en estos puntos, es máximo” [19]. Esto también se aprecia en las piezas de hormigón armado, donde habitualmente se sitúan con mayor frecuencia los estribos, junto a los apoyos actuando como diagonales traccionados, por la presencia de un mayor cortante.

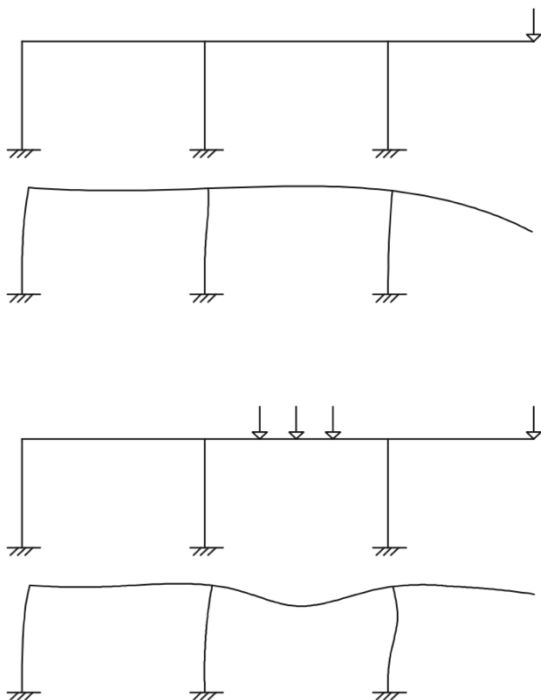
Si dibujáramos una deformada intuitiva del pórtico no sería difícil conseguir acercarnos a la deformada real [Imagen 69]. El conjunto global de la celosía, trabaja prácticamente como si de una viga continua

Imagen 69: Deformada combinación 13 ELS. Cercha principal sur.



simple se tratara. En los voladizos de ambos extremos, aún siendo de gran envergadura, 21,6 m. y 10,8 m., su flecha es muy reducida, e incluso positiva, ... cm. y ... cm. respectivamente. De hecho, no se tratan de las mayores flechas de la pieza. La mayor flecha se encuentra aproximadamente en el punto intermedio de la luz de 64,8 m. entre pilares del pórtico, con un desplazamiento en z de 5,43 cm., lo que significa, que también está muy por debajo de la limitación de la normativa. La reflexión de este fenómeno la explica muy bien el compañero Miguel José Colina Marco, en su trabajo final de grado sobre el centro Botín: “Poniendo de ejemplo un pórtico

Imagen 70: Ejemplo de reducción de deformación en voladizo.



teórico [Imagen 70], una de las maneras de reducir la deformación de un extremo en voladizo sería la de aumentar la luz o las cargas en el vano contiguo.

En el caso del centro Botín, eliminar el pilar en cuestión reduce el desplazamiento vertical del voladizo” [20]. De igual manera sucede en el ayuntamiento de Benidorm, al tener una luz de tal dimensión en el vano intermedio entre los dos voladizos, las flechas de éstos y del propio vano intermedio, se contrarestan. En el caso de este edificio se reducen hasta tal punto que la flecha en el extremo final del voladizo este llega a ser positiva.

Analizando simultáneamente el diagrama de axiles [Imagen 71] y la deformada [Imagen 72] en el voladizo, se puede apreciar la gran compresión a la que están sometidos los montantes sobre los pilares. La deformada nos ilustra el efecto de los esfuerzos que se muestran en el diagrama de axiles, con un caso tan visual, como el que se produce en el voladizo este, y que vamos a relatar a continuación. El diagrama de axiles nos expone una clara diferencia entre el esfuerzo de compresión del montante sobre el pilar, y el montante final del voladizo. Pero para verdaderamente comprender la diferencia, hay que acudir a la deformada, donde se puede ver que el montante sobre el pilar se acorta 6,4 mm., mientras que el montante final del voladizo se acorta solamente 0,4 mm., queda muy visible por tanto, la diferencia de compresión que soporta cada montante.

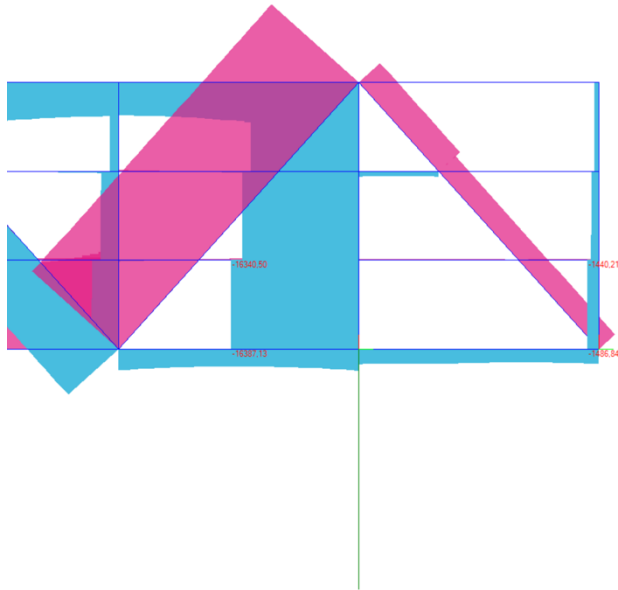


Imagen 71: Detalle esfuerzos axiales en voladizo este. Cercha principal sur.

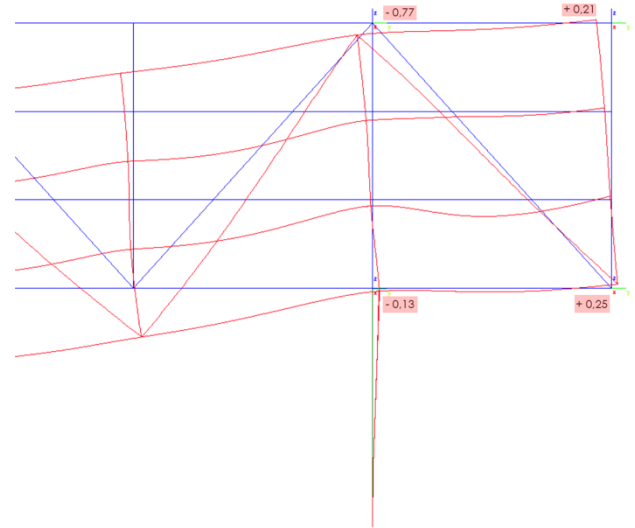


Imagen 72: Detalle deformada con valores en voladizo este. Cercha principal sur.

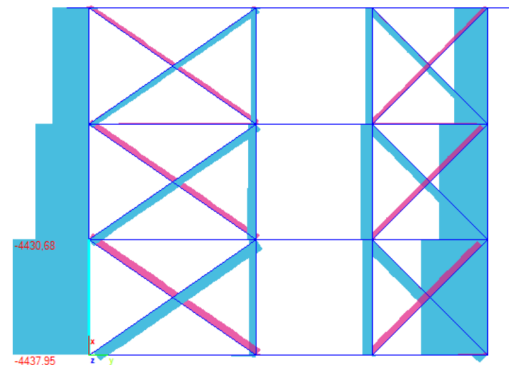
CELOSÍAS DE ARRIOSTRAMIENTO

Las celosías de arriostramiento son parte fundamental para la estabilidad de la estructura tanto durante la ejecución de la estructura, como en su estado en servicio. Se les ha llamado celosías de arriostramiento, precisamente porque parte fundamental de su función, es la de dar estabilidad a la estructura en la dirección perpendicular a la de los pórticos frente a viento y sismo.

Poniendo en carga la estructura, el programa detecta que algunas de las barras de esta pieza de arriostramiento no cumplen la normativa [Imagen 73] [Imagen74]. Analizando sus diagramas, llama la atención la fuerte compresión que sufren los

montantes extremos, teniendo en cuenta que éstos no soportan más cargas que su propio peso y la provocada por la hipótesis de viento. Lógicamente debía ser un problema de modelización, y así era. La modelización de los forjados como E.F. continuos en

Imagen 73: Diagrama de axiles antes de la modificación. Celosía de arriostramiento oeste.



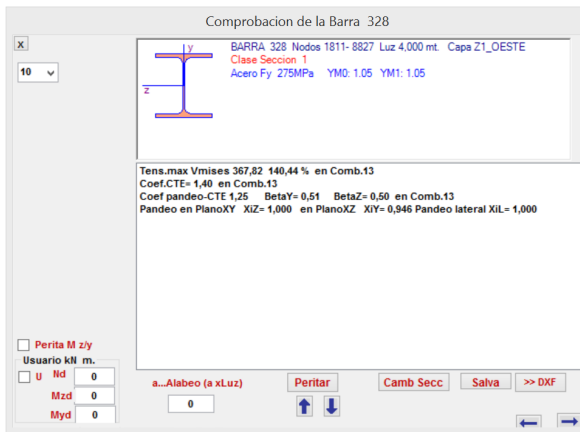


Imagen 74: Comprobación barra que no cumple.

toda la planta, entraban en contacto con las celosías y transmitían parte de las cargas a éstas, las cuales no habían sido dimensionadas para ello. Por tanto se remodelan los forjados, partiéndolos y dejándolos desconectados de las barras de la celosía [Imagen 75].

Se somete nuevamente a las distintas combinaciones de carga y se extraen nuevamente los diagramas, donde se aprecia como los esfuerzos axiles en todos los montantes se han equilibrado además de haberse disminuído considerablemente y se comprueba que la barra ahora sí cumple [Imagen 76] [Imagen 77].

Imagen 75: Forjados partidos y desconectados de las piezas de arriostramiento.

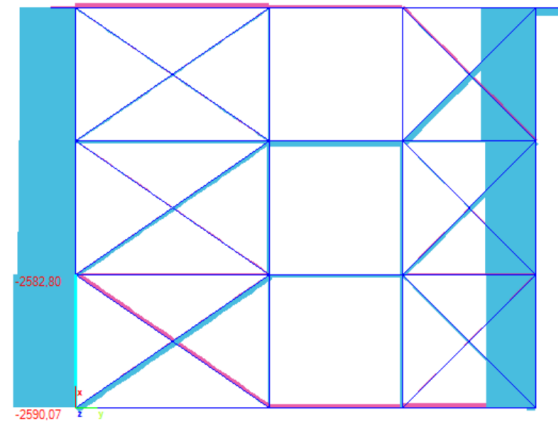
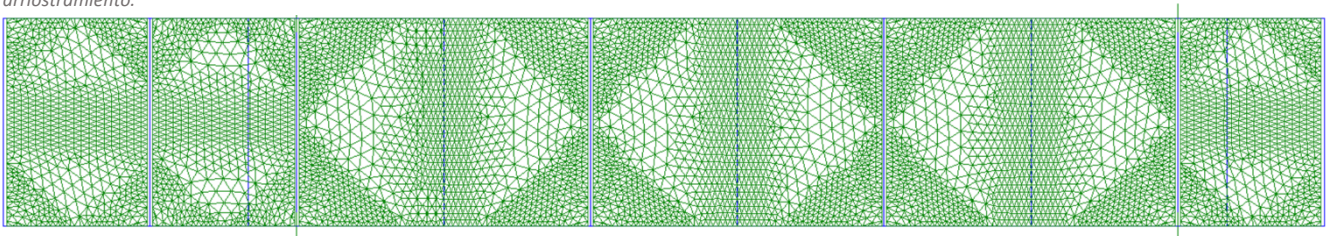


Imagen 76: Diagrama de axiles. Celosía de arriostramiento.

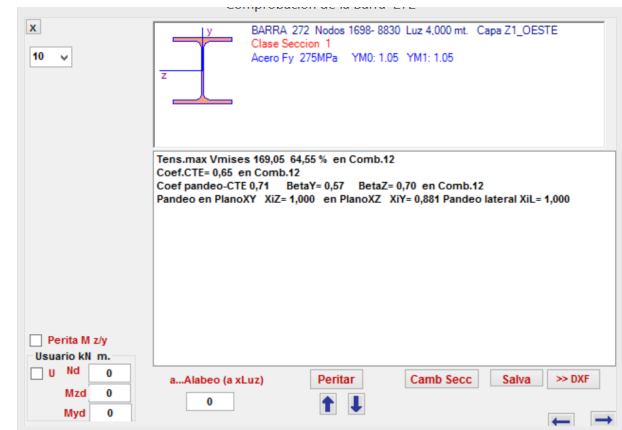


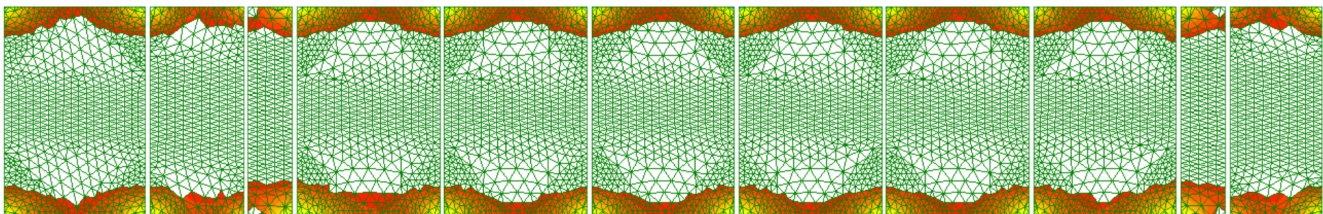
Imagen 77: Comprobación barra tras el cambio en la modelización de los forjados.

FORJADOS DE PLACAS ALVEOLARES PRETENSADAS

Como se relataba al comienzo de este capítulo, los forjados iban a seguir un proceso iterativo, donde los cambios vendrían por necesidades del momento. Primeramente, se modelizaron teniendo en cuenta solo la necesidad de rigidez frente a esfuerzos horizontales. Posteriormente, se han partido para evitar la transmisión de cargas de éstos a las piezas de arriostramiento. Y finalmente, se busca su correcto funcionamiento para su propio análisis.

La última transformación viene dada por la observación de momentos negativos en sus encuentros con las vigas que los soportan [Imagen 78]. Según habíamos comentado en el apartado de estructura y construcción, estas piezas van simplemente apoyadas sobre los perfiles que las soportan. Por lo que al ser una pieza biarticulada, no debe haber presencia de momentos negativos.

Imagen 78: Mapa de momentos M_x negativos. Forjado tipo empotrado a las cerchas principales.

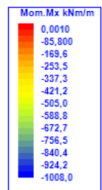


Para el paso de forjados empotrados a forjados articulados, se procede según los siguientes pasos:

Primero, se desconectan los E.F. en contacto con los perfiles, estrechándolos 6 cm. Distancia mínima necesaria por la latencia del recurso de entorno de captura, definido en 5 cm. anteriormente. Como las vigas intermedias habían sido desplazadas 3 cm. hacia el interior, estos forjados se estrechan 9 cm. por ambos frentes.

Después se crean pequeñas barras de 6 cm. Una por cada vértice de E.F., y sirven para conectar los forjados con las vigas donde apoyan. Además, a cada barra se le coloca una articulación en el extremo que engancha con las vigas, para lograr el libre giro y por tanto, el correcto funcionamiento de los forjados.

Una vez resuelto el modelado de los forjados para que funcionen acorde a la realidad. Se procede a su puesta en carga para su análisis.



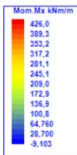
DIMENSIONADO Y ELECCIÓN DEL TIPO DE PLACA

FORJADO 1

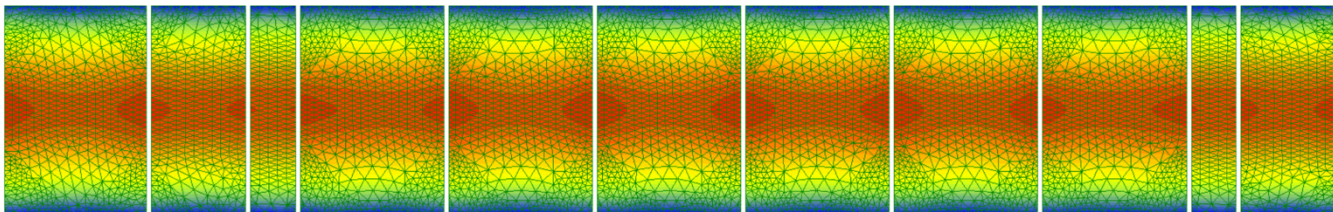
Para el dimensionado de las placas es necesario saber el momento máximo que van a tener que soportar. Para ello se le pide al software que nos muestre los esfuerzos M_x en placas para la combinación más desfavorable, y aparecerá un mapa de isovalores [Imagen 79].

Según muestra el mapa, como era de esperar, aparecen franjas rectas perfectamente delimitadas, lo que significa que todas las placas trabajan con los mismos valores de momentos. Y por tanto, el mismo momento máximo que es: $M_{x,max} = 426 \text{ KN.m/m}$

El paso siguiente es acudir a cualquier empresa que suministre dichas placas. Accediendo a la ficha técnica con el valor de $M_{x,max}$ obtenido, se escoge el tipo de placa [Imagen 80].



Entramos a la tabla por la columna de momento último, y buscamos el inmediatamente superior al valor de



Flexión positiva, esfuerzo por bandas de 1 metro.

TIPO DE FORJADO	TIPO DE PLACA	MOMENTO ÚLTIMO (m kNm)	SECCIÓN TIPO		SECCIÓN MACIZADA (L)	SECCIÓN C (V)(kN/m)	Módulo de inercia según clase de exposición (m ⁴)			β ₁₊₂	Módulo elástico (m ⁴)		RIGIDEZ (m ⁴ /kN)		RED
			SECCIÓN TIPO (L)	SECCIÓN C (V)			M1	M2	M3		E ₁	E ₂	E ₁	E ₂	
40+8	T-1	256.77	281	383	1.16	435	94.80	103.89	229.03	2.03	27992089	278914	72687	30	90
	T-2	276.37	287	383	1.16	435	106.81	115.95	244.37	2.03	28202114	278104	74880	30	90
	T-3	320.08	300	383	1.16	435	133.74	142.84	278.03	2.03	30060306	278014	76384	30	90
	T-4	361.33	318	383	1.16	435	166.06	167.03	304.31	2.03	32129229	276748	81902	30	90
	T-5	398.71	329	383	1.16	435	181.11	192.51	334.64	2.03	32816741	277185	85785	30	90
	T-6	436.87	346	383	1.16	435	201.32	214.05	369.99	2.03	33222819	277627	89885	60	120
	T-7	470.07	367	383	1.16	435	226.20	238.41	389.14	2.03	33288943	277671	94247	60	120
	T-8	504.44	372	383	1.16	435	243.35	257.93	412.39	2.03	33303559	277706	98662	60	120
	T-9	538.33	382	383	1.16	435	260.69	281.17	440.38	2.03	33364587	278075	103446	60	120
	T-10	567.12	392	383	1.16	435	288.93	302.60	468.45	2.03	33415213	278286	108134	60	120
	T-11	594.02	401	383	1.16	435	307.69	323.94	492.44	2.03	33460361	278601	112739	60	120
	T-12	607.26	406	383	1.16	435	318.04	334.58	506.41	2.03	33481932	278853	116665	120	120
	T-13	265.91	287	383	1.16	419	97.51	114.82	231.12	2.03	27986951	275964	100666	120	120
	T-14	305.94	300	383	1.16	419	121.00	139.32	263.87	2.03	30040085	276179	102960	120	120
	T-15	358.86	318	383	1.16	419	155.15	174.89	305.89	2.03	28125165	276714	106684	120	120
	T-16	410.12	335	383	1.16	419	187.26	208.96	345.84	2.03	28202412	277189	110280	120	120
	T-17	458.12	351	383	1.16	419	214.84	237.94	381.20	2.03	28262821	277541	113251	180	180
	T-18	492.32	367	383	1.16	419	246.60	267.42	416.76	2.03	28328163	277923	117281	180	180

Imagen 80: Tabla elección de placa 40+8 cm.

momento máximo extraído del mapa. La placa elegida es la T-6 de 40 cm. de espesor + 8 cm. de capa de compresión, a la que le corresponde un valor de momento último de $436,87 \text{ KN.m/m} > 426 \text{ KN.m/m}$.

DIMENSIONADO MANUAL

El mismo dimensionado se podría hacer manualmente, teniendo en cuenta que las placas actúan como una viga articulada en sus dos extremos.

La carga será la correspondiente a la combinación de hipótesis más desfavorable, que es la combinación 13. En ella, la carga peso propio de $8,3 \text{ KN/m}^2$, está mayorada por un coeficiente de 1,35, y la

Imagen 79: Mapa de momentos M_x . Forjado 1.

sobrecarga de uso de 2 KN/m^2 por un coeficiente de 1,5. Teniendo en cuenta que la tabla de la ficha técnica nos habla de esfuerzo por bandas de 1 m. de ámbito, la carga actuante será [Imagen 81]:

$$q = (8,3 \text{ KN/m}^2 \times 1 \text{ m} \times 1,35) + (2 \text{ KN/m}^2 \times 1 \text{ m} \times 1,5);$$

$$q = 14,205 \text{ KN/m}$$

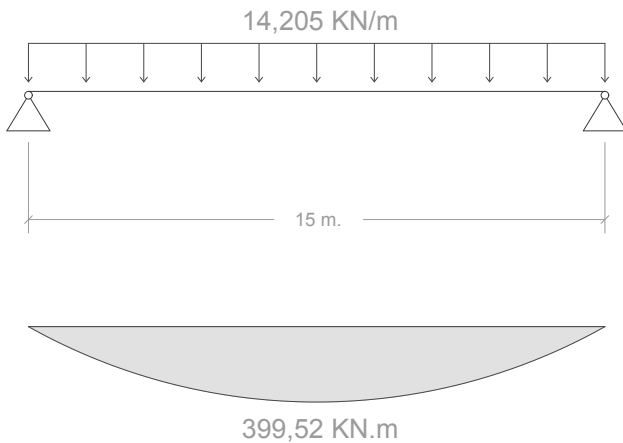
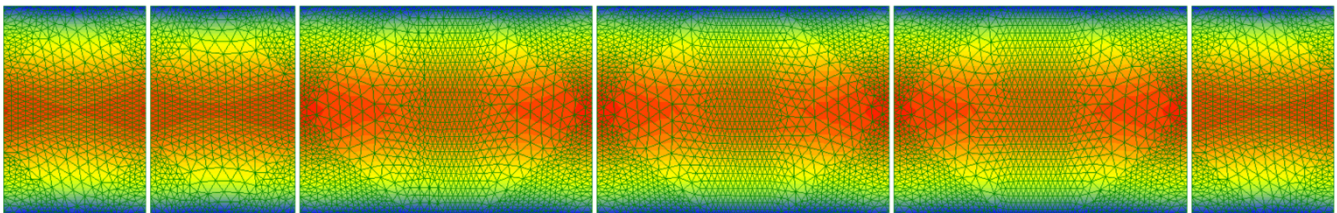


Imagen 81: Esquema del cálculo. Forjado 1.

Por tanto:

$$M_{\text{máx}} = \frac{q \times l^2}{8};$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{14,205 \times 15^2}{8} = 399,52 \text{ KN.m}$$



Entrando en la tabla [Imagen 83], la placa elegida es la T-6, la misma que se ha elegido cogiendo los valores que nos ofrece el software.

FORJADO 4 – CUBIERTA

Seguimos el mismo procedimiento que en el forjado

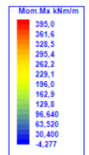
1. El mapa nos muestra un valor máximo $M_{x,\text{máx}}$ de 395 KN.m/m [Imagen 82].

Flexión positiva, esfuerzo por bandas de 1 metro.															
TIPO FORJADO	TIPO DE PLACA	MOMENTO (kNm)	SECCION TIPO	SECCION MACIZADA	++ C	RASANTE	M (en el servicio según clase de exposición (kNm))			β+++	MÓDULO RESISTENTE (cm ⁴)		RESISTENCIA E _s	RESISTENCIA E _c	REI
							M ₁	M ₂	M ₃		FLEXION E _s	FLEXION E _c			
40+5	T-1	235.18	263	309	1.10	406	96.81	104.75	222.05	1.65	25198279	224515	39750	30	90
	T-2	254.29	289	309	1.10	406	107.44	115.73	235.15	1.65	25223272	224686	41833	30	90
	T-3	284.56	281	309	1.10	406	131.87	140.76	264.57	1.65	25259154	225080	43034	30	90
	T-4	334.44	297	309	1.10	406	151.90	162.24	289.48	1.65	25320583	225146	48259	30	90
	T-5	367.95	307	309	1.10	406	174.50	185.44	316.98	1.65	25382016	225499	51846	30	90
	T-6	403.47	322	309	1.10	406	192.89	205.03	339.95	1.65	25399237	225534	55884	40	90
	T-7	437.55	332	309	1.10	406	214.18	227.20	366.38	1.65	25467087	225844	59537	40	90
	T-8	488.92	346	309	1.10	406	230.49	244.95	387.45	1.65	25468513	225829	63564	40	120
	T-9	499.50	355	309	1.10	406	230.94	266.10	412.83	1.65	25521409	226119	67002	40	120
	T-10	529.28	364	309	1.10	406	239.69	285.60	438.48	1.65	25569465	226380	71058	40	120
	T-11	553.88	373	309	1.10	406	288.37	305.02	460.05	1.65	25612274	226600	75434	40	120
	T-12	569.80	377	309	1.10	406	297.68	314.70	471.81	1.65	25634984	226720	79684	40	120
	T-13	263.54	269	309	1.10	390	199.25	114.68	230.80	1.65	25190340	224453	64722	120	120
	T-14	279.79	281	309	1.10	390	150.40	137.10	252.65	1.65	25239714	224999	67358	120	120
	T-15	331.49	297	309	1.10	390	151.14	169.78	260.90	1.65	25316209	225119	70685	120	120
	T-16	378.81	313	309	1.10	390	180.04	200.71	327.24	1.65	25384920	225486	73851	120	120
	T-17	438.25	327	309	1.10	390	204.85	227.70	353.34	1.65	25437882	225717	76825	160	120
	T-18	459.69	342	309	1.10	390	229.83	254.78	381.61	1.65	25494737	226023	79877	180	120

Imagen 83: Tabla elección de placa 40+5 cm.

Entrando en la tabla [Imagen 80] por la columna de momento último y buscando el valor inmediatamente superior se tiene que el tipo de placa elegida es nuevamente la T-6 de 40 cm. de espesor, pero esta vez acompañada de 5 cm. de capa de compresión, a la que le corresponde un valor de momento último de $403,47 \text{ KN.m/m} > 395 \text{ KN.m/m}$.

Imagen 82: Mapa de momentos Mx. Forjado 4 – Cubierta.



DIMENSIONADO MANUAL

La carga peso propio es $9,212 \text{ KN/m}^2$, la cual va mayorada por 1,35. Sobre este forjado no actúa la sobrecarga de uso. Sin embargo, si que lo hace la carga de nieve actuando como carga variable principal con un valor de $0,2 \text{ KN/m}^2$ y su coeficiente de mayoración de 1,5. La carga actuante será [Imagen 84]:

$$q = (9,212 \text{ KN/m}^2 \times 1 \text{ m} \times 1,35) + (0,2 \text{ KN/m}^2 \times 1 \text{ m} \times 1,5)$$

$$q = 12,74 \text{ KN/m}$$

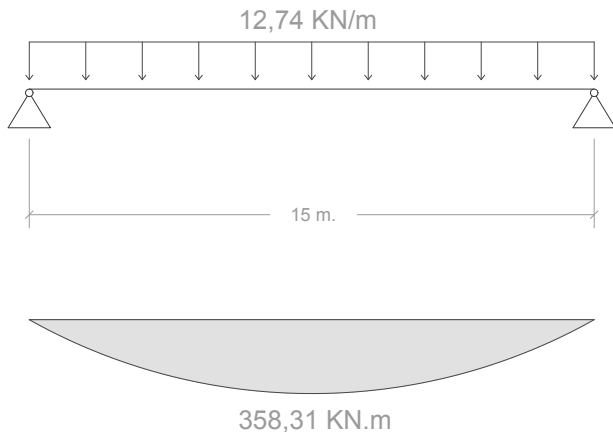


Imagen 84: Esquema del cálculo. Forjado 4 - Cubierta.

Por tanto:

$$M_{\text{máx}} = \frac{12,74 \times 15^2}{8} = 358,31 \text{ KN.m}$$

Entrando en la tabla [Imagen 80], la placa elegida es la T-5. Una placa inferior a la escogida con los datos

del software. Esta diferencia puede ser debida a la precisión de cálculo que nos ofrece el software, que aplica todos los valores de la combinación de hipótesis actuando en toda la estructura.

COMPROBACIÓN A FLECHA

La comprobación de flecha admisible es la encargada de evitar patologías constructivas debidas a deformaciones excesivas. Estas patologías se pueden manifestar como problemas de apariencia, como pérdidas de funcionalidad, o como daños en elementos no estructurales.

Según describe el CTE DB-SE en su apartado 4.3.3.1, sobre flechas: cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:

- 1/500 en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas;
- 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
- 1/300 en el resto de los casos.

Además nos dice que las condiciones anteriores deben verificarse entre dos puntos cualesquiera de la planta, tomando como luz el doble de la distancia entre ellos. En general, será suficiente realizar dicha comprobación en dos direcciones ortogonales [18].

La limitación de flecha en el caso del Ayuntamiento de Benidorm es 1/300.

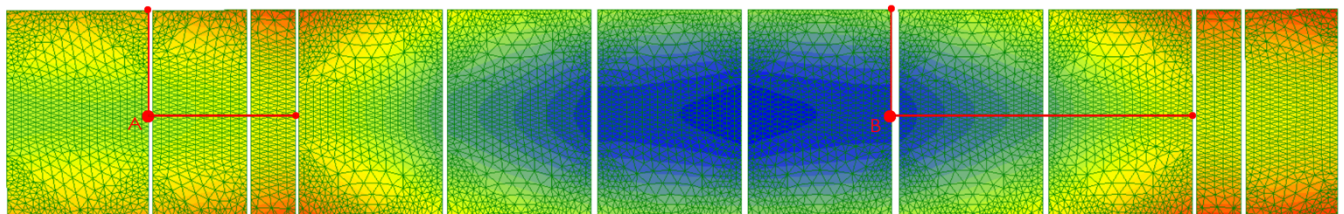
Para realizar la comprobación a flecha del forjado, tendremos que acudir a los mapas de isovalores de deformación vertical. Tomaremos dos puntos de la planta, que aunque sepamos que la deformación tiene que ser la misma, nos servirá de comprobación de que los forjados funcionan correctamente.

FORJADO 1

En el forjado 1, comprobaremos el punto A y B, que son los puntos donde la flecha es mayor, siendo -4,7 cm. y -8,2 cm., respectivamente [Imagen 85]. Estas flechas se comparan con dos puntos situados ortogonalmente a cada uno de ellos.

El primer punto a analizar es el punto A, con un desplazamiento en $z = -4,7$ cm. Se ha comparado con el punto de apoyo de las placas sobre la cercha

Imagen 85: Desplazamiento en z. Combinación 13 ELS. Forjado 1.



principal norte más cercano, que está situado a 7,5 m. y que tiene un desplazamiento en $z = -1,4$ cm. Por tanto, la flecha relativa queda en 3,3 cm.

Flecha máxima admisible = $2 \times d(750) \times 1/300 = 5$ cm.

3,3 cm. < 5 cm.

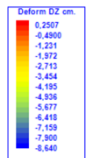
Se cumple el requisito de flecha máxima admisible con respecto a este punto.

El segundo punto a analizar con respecto al punto A, es el situado en el centro de la celosía de arriostamiento oeste, situado a una distancia de 10,8 m., y con un desplazamiento en $z = 3,31$ cm. Por tanto, la flecha relativa queda en 1,39 cm. Esta flecha coincide con la media de las flechas relativas de ambas cerchas principales.

Flecha máxima admisible = $2 \times d(1080) \times 1/300 = 7,2$ cm.

1,39 cm. < 7,2 cm.

Se cumple el requisito de flecha máxima admisible con respecto a este segundo punto.



El segundo punto a analizar es el punto B, con un desplazamiento en $z = -8,2$ cm. Se ha comparado igual que el punto A, con el punto de apoyo de las placas sobre la cercha principal norte más cercano, que está situado a 7,5 m. y que tiene un desplazamiento en $z = -4,88$ cm. Por tanto, la flecha relativa queda en 3,32 cm.

Flecha máxima admisible = $2 \times d(750) \times 1/300 = 5$ cm.

$$3,32 \text{ cm.} < 5 \text{ cm.}$$

Se cumple el requisito de flecha máxima admisible con respecto a este punto.

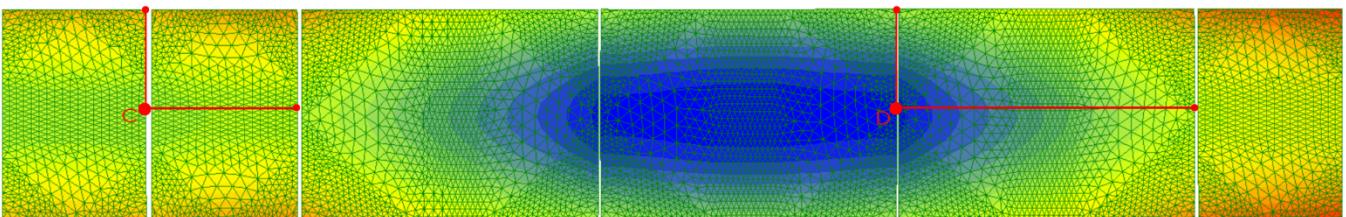
El siguiente punto a analizar con respecto al punto B, es el situado en el centro de la celosía de arriostamiento este, situado a una distancia de 21,6 m., y con un desplazamiento en $z = -3,24$ cm. Por tanto, la flecha relativa queda en 4,96 cm.

Flecha máxima admisible = $2 \times d(2160) \times 1/300 = 14,4$ cm.

$$4,96 \text{ cm.} < 14,4 \text{ cm.}$$

Se cumple el requisito de flecha máxima admisible con respecto a este segundo punto.

Imagen 86: Desplazamiento en z. Combinación 13 ELS. Forjado 4 - Cubierta.



FORJADO 4 – CUBIERTA

En el forjado de cubierta, comprobaremos el punto C y D, que son los puntos donde la flecha es mayor, siendo $-4,91$ cm. y $-8,33$ cm., respectivamente [Imagen 86]. Estas flechas se comparan con dos puntos situados ortogonalmente a cada uno de ellos.

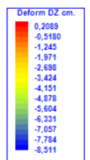
El primer punto a analizar es el punto C, con un desplazamiento en $z = -4,91$ cm. Se ha comparado con el punto de apoyo de las placas sobre la cercha principal norte, que está situado a 7,5 m. y que tiene un desplazamiento en $z = -1,48$ cm. Por tanto, la flecha relativa queda en 3,43 cm.

Flecha máxima admisible = $2 \times d(750) \times 1/300 = 5$ cm.

$$3,43 \text{ cm.} < 5 \text{ cm.}$$

Se cumple el requisito de flecha máxima admisible con respecto a este punto.

El segundo punto a analizar con respecto al punto C, es el situado en el centro de la celosía de arriostamiento oeste, situado a una distancia de 10,8 m., y con un



desplazamiento en $z = -4,37$ cm. Por tanto, la flecha relativa queda en 0,54 cm.

Flecha máxima admisible = $2 \times d(1080) \times 1/300 = 7,2$ cm.

$$0,54 \text{ cm.} < 7,2 \text{ cm.}$$

Se cumple el requisito de flecha máxima admisible con respecto a este segundo punto.

El segundo punto a analizar es el punto D, con un desplazamiento en $z = -8,33$ cm. Se ha comparado igual que el punto A, con el punto de apoyo de las placas sobre la cercha principal norte más cercano, que está situado a 7,5 m. y que tiene un desplazamiento en $z = -4,75$ cm. Por tanto, la flecha relativa queda en 3,58 cm.

Flecha máxima admisible = $2 \times d(750) \times 1/300 = 5$ cm.

$$3,58 \text{ cm.} < 5 \text{ cm.}$$

Se cumple el requisito de flecha máxima admisible con respecto a este punto.

El siguiente punto a analizar con respecto al punto D, es el situado en el centro de la celosía de arriostramiento este, situado a una distancia de 21,6 m., y con un desplazamiento en $z = -4,21$ cm. Por tanto, la flecha relativa queda en 4,12 cm.

Flecha máxima admisible = $2 \times d(2160) \times 1/300 = 14,4$ cm.

$$4,12 \text{ cm.} < 14,4 \text{ cm.}$$

Se cumple el requisito de flecha máxima admisible con respecto a este segundo punto.

6. CONCLUSIONES



El Ayuntamiento de Benidorm está situado en la entrada al parque de l'Aigüera. Un sitio perfecto para un consistorio, pues le da cierto carácter de amabilidad y parece tener intención de acercarse al ciudadano. Una plaza amplia bajo el volumen elevado a 11 m. de altura, que da sensación de amplitud, y que como he podido comprobar personalmente tras una visita al lugar, la afluencia es continua. La gente pasea, descansa, merienda y los niños juegan. Ésta te permite el paso sin interponerse en tu camino.

El edificio parece ser la puerta al parque. Ser el dueño de éste, y ofrecerlo al pueblo sin pedir nada a cambio.

La idea del edificio puente según José Luis Camarasa, surge con dos objetivos fundamentales. El primer objetivo era conservar el funcionamiento del aparcamiento subterráneo durante la ejecución de la obra. El segundo era permitir un paso libre en cota 0, para dar acceso al parque sin obstáculos.

Creo importante destacar, la capacidad de resolver tal estructura con aparente sencillez. Parece que en lugar de hacer alarde de la barbaridad que se lleva a cabo con su gran vano de 70 m. y sus voladizos de 22 y 11 m., lo hace de la sencillez con la que lo ha conseguido resolver. En resumen son dos pórticos con dos pilares cada uno, resueltos con dos grandes vigas en celosía, y dos piezas de arriostamiento entre ellas que sujetan los 4 forjados de placas alveolares pretensadas de 15m.

Además, sabia decisión toma a la hora de elegir un tipo de dibujo para la cercha. La elección de una viga Warren, como nos indica Roger Señís López en su tesis doctoral en el capítulo 2 (estudio comparativo del rendimiento estructural de vigas de celosía planas según su geometría), es inteligente por su buen comportamiento estructural ante grandes luces, con respecto a muchas otras geometrías como son lo Pratt, Howe, Vierendeel, etc.



La estructura del ayuntamiento de Benidorm se sitúa en la tradición más pura y limpia de la ingeniería estructural. Elementos pensados para trabajar en su forma más óptima, para conseguir un claro objetivo, sin recurrir a forzados alardes estructurales.

Aprovechar el dibujo de la celosía principal, para darle carácter y personalidad. Demostrar que la estructura puede ir ligada al diseño y que además

pueda hacerlo destacadamente. Son cuestiones que le añaden valor a este edificio.

Para la comprensión del proyecto se ha recurrido a una gran cantidad de información y documentación gráfica presente en revistas, libros y artículos, encontrados en distintas bibliotecas y online.

Toda esta documentación se ha gestionado y ha ayudado a comprender el edificio, en ocasiones con bastante precisión técnica, que ha sido aprovechada para la elaboración del modelo informático.



El modelo se ha realizado mediante barras y mallas trianguladas. A las barras se les ha asociado distintos perfiles metálicos. Unos estandarizados y otros de usuario. Las mallas han servido para representar tanto los pilares a los que se les ha asignado un HA-50, como los forjados a los que se les ha asignado un material creado para la ocasión. Se trataba de un HA-25, al que se le ha reducido el peso específico para conseguir un comportamiento similar al de las placas alveolares. Éste material se ha llamado “placas alveolares + c.c.”

Respecto a las cargas, se han estudiado todas las posibles hipótesis que actúan sobre el edificio recurriendo al DBSE – AE, y se han aplicado siguiendo las indicaciones del CTE, en 16 combinaciones diferentes para los Estados Límite Último, y otras 16 para los Estados Límite de Servicio.

También cabe destacar lo importante que ha sido el proceso iterativo en la elaboración del modelo informático. Como por ejemplo los cambios en la modelización de los forjados, evitando así la torsión en las cerchas principales, o la desconexión de los forjados y las piezas de arriostramineto. Un proceso de ensayo y error, que nos ha llevado a analizar resultados considerados erróneos, gracias a los conocimientos previos del funcionamiento de la estructura, y a partir de ahí, buscar soluciones y resolver la estructura.

Se han analizado e interpretado los distintos gráficos aportados por el software de cálculo. Siendo muy interesante ver la similitud de transmisión de esfuerzos que se aprecia en el diagrama de axiles de la cercha principal, y las isostáticas de tracción y compresión que se dibujan normalmente en los elementos resistentes de alma llena equivalente. Se han dimensionado y comprobado elementos de la estructura. Comparado con el modelo real, e incluso con cálculos propios simples de predimensionado realizados a mano.

Para finalizar escribo una cita poética de un escritor anónimo que nos habla sobre el Ayuntamiento de Benidorm:

“De todo esto nos dice cosas el edificio, la enorme potencia artificial, la tensión que se manifiesta al levitar sobre la plaza, recostándose una torre que nunca lo será, salvando un río que solo vemos en nuestra memoria.”

7. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

7.1. BIBLIOGRAFÍA

On diseño «Nueva sede del Ayuntamiento de Benidorm. Alicante».

<http://www.ondiseño.com/proyecto.php?id=119>

eEconomista.es «Los mejores edificios de España: El Ayuntamiento de Benidorm». Agosto, 2015.

<https://www.economista.es/construccion-inmobiliario/noticias/6937670/08/15/Los-mejores-edificios-de-Espana-que-no-sabias-que-existian-I-El-Ayuntamiento-de-Benidorm.html>

euroinmo «Benidorm inaugura el primer edificio emblemático de la ciudad: el Ayuntamiento». Octubre, 2014.

<https://www.euroinmo.com/noticia/9732/autonomias/benidorm-inaugura-el-primer-edificio-emblematico-de-la-ciudad:-el-ayuntamiento.html>

puntodis «Ayuntamiento».

<https://puntodis.com/mpv/paginas.php?id=4&url=aytobenidorm&idioma=Español>

COACV «Ayuntamiento».

<http://www.coacv.org/docs/amccv/amccv/ficha102.htm>

Cristina Muñoz – Illustration&graphic design «Ayuntamientos del siglo XXI». Agosto, 2011.

<http://www.cristinamunoz.es/ayuntamientos-del-siglo-xxi/>

ABC Comunidad Valenciana «Espectacular izado de la estructura del nuevo Ayuntamiento de Benidorm». Enero, 2002.

https://www.abc.es/espana/comunidad-valenciana/abc-espectacular-izado-estructura-nuevo-ayuntamiento-benidorm-200201220300-73642_noticia.html

PLAZATIO CTAA «El rascacielos horizontal, Benidorm». Junio, 2018.

<https://www.plazatio.com/es/noticias/el-rascacielos-horizontal-benidorm>

Diario Información «Diez años del nuevo ayuntamiento de Benidorm: símbolo e identidad». Junio, 2013.

<https://www.diarioinformacion.com/arte-letras/2013/06/27/diez-anos-nuevo-ayuntamiento-benidorm/1389722.html>

YOROKOBU «Rascacielos contra apoyanubes: capitalismo contra socialismo». Octubre, 2017.

<https://www.yorokobu.es/apoyanubes/>

AIC EQUIP «Ayuntamiento de Benidorm».

<http://www.aicequip.es/ver/34/Ayuntamiento-de-Benidorm.html>

Beninter «Conoce el Ayuntamiento de Benidorm: el edificio más peculiar». Noviembre, 2018.

<https://www.beninter.com/blog/2018/11/21/ayuntamiento-benidorm/>

Visit Benidorm «Ayuntamiento de Benidorm». <https://www.visitbenidorm.es/ver/1308/ayuntamiento-de-benidorm.html>

EL PAÍS «El nuevo edificio del Ayuntamiento de Benidorm costará 26 millones, más del doble de lo previsto». Febrero, 2004. https://elpais.com/diario/2004/02/10/cvalenciana/107644429_3_850215.html

Ajuntament de Benidorm «Ayuntamiento de Benidorm». <https://benidorm.org/content/ajuntament-de-benidorm-parc-de-l'aigueera>

CYPE ingenieros «Obras destacables». <http://www.cype.es/estudiosproyectos/ampliadas/AytoBenidorm.htm>

CYPE ingenieros «CYPE ingenieros opta por el premio CONSTRUMAT 2003». Abril, 2003. <http://noticias.cype.es/2003/04-29.htm>

YouTube «Método de los estados límite según el CTE - UPV». Enero, 2016. <https://www.youtube.com/watch?v=5dd5A0TJrnk>

RiuNet «Diseño y predimensionado de una celosía de cordones paralelos». <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30631/predimensionado%20de%20una%20celos%C3%ADa.pdf>

UPC - Tesis doctoral Roger Señís López «Optimización de mallas estructurales de acero envolventes de edificios en altura». Mayo, 2014. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/95358/7/RSL3de8.pdf>

Diario Información «L'Aigüera: renovarse o morir». Febrero, 2010. <https://www.diarioinformacion.com/benidorm/2010/02/14/lai-guera-renovarse-o-morir/979500.html#>

EL PAÍS «Benidorm invertirá 2.000 millones en construir un parque diseñado por Bofill». Diciembre, 1985. https://elpais.com/diario/1985/12/17/espana/503622022_850215.html

EL MUNDO «Bofill supervisará el proyecto para revitalizar el parque que construyó en Benidorm». Marzo, 2010. <https://www.elmundo.es/elmundo/2010/03/10/alicante/1268238863.html>

Tripkay «Parque de l'Aigüera de Benidorm». <https://tripkay.com/destination-guides/puntos-interes/parque-de-la-aiguera-benidorm/>

LEVANTE «Ricardo Bofill: “Si se han equivocado con el urbanismo, que vuelvan a empezar preguntando a gente que sepa”». Abril, 2010. <https://www.levante-emv.com/comunitat-valenciana/2010/04/04/ricardo-bofill--han-equivocado-urbanismo-vuelvan-empezar-preguntando-gente-sepa/693300.html>

La guía W – La guía definitiva «Parque de l'Aigüera de Benidorm». https://laguiaw.com/parque_de_l-aig-era_de_benidorm

EL PAÍS «Bofill presenta el proyecto de un “monumento verde” para Benidorm». Junio, 1984. https://elpais.com/diario/1984/06/07/espana/455407219_850215.html

Brutalment Valencià «Ricardo Bofill en la Comunidad Valenciana».

<https://merxenavarro.com/una-valenciana-en-valencia/ricardo-bofill-en-la-comunidad-valenciana/#>

VivirenBenidorm «El pulmón más verde de Benidorm, el parque de l'Aigüera». Noviembre, 2016.

<http://www.vivirenbenidorm.com/el-pulmon-mas-verde-de-benidorm-el-parque-de-laiguera/>

Ajuntament de Benidorm «Benidorm informe municipal - 1». Enero, 1985.

https://benidorm.org/sites/default/files/documentos/1985-1-marca_agua_0_0.pdf

Ajuntament de Benidorm «Benidorm informe municipal – 11 y 12». Diciembre, 1985.

https://benidorm.org/sites/default/files/documentos/1985-11-12-marca_agua_0_0.pdf

Wikipedia «Benidorm».

<https://es.wikipedia.org/wiki/Benidorm>

Visit Benidorm «Historia de Benidorm».

<https://www.visitbenidorm.es/ver/1322/benidorm--una-tierra-llena-de-historia--historia-del-turismo-de-benidorm.html>

Biblioteca virtual Miguel de Cervantes «Años y leguas». http://www.cervantesvirtual.com/obra-visor/aos-y-leguas/html/dcd85824-2dc6-11e2-b417-000475f5bda5_2.html

VÍA Arquitectura V.12 «Nuevo ayuntamiento de Benidorm. Alicante».

Concejalía de cultura del Ayuntamiento de Benidorm «Benidorm. Los orígenes de la ciudad vertical». Diciembre 2006 – Febrero 2007.

M^a Nieves Higuera López «Benidorm, estudio de su modelo urbanístico». Julio, 2012.

hna «Integrar la Ambigüedad».

AV Monografías 99-100 «Ayuntamiento, Benidorm (Alicante)». 2003.

area – arch 69 «New City Hall, Benidorm». Agosto, 2003.

DETAIL 2 «Ayuntamiento de Benidorm». 2003

Premis FAD «Nova seu de l'Ajuntament de Benidorm (Alacant)». 2003.

CERCHA 71 «Ayuntamiento de Benidorm». Octubre, 2003.

Diseño Interior nº 135 «Ayuntamiento de Benidorm, Alicante». Octubre, 2003.

AIT «Neue Stadtverwaltung in Benidorm, Spanien». Diciembre, 2003.

Bauwelt «Ayuntamiento de Benidorm». Enero, 2004.

Publicaciones APTA «Ayuntamiento de Benidorm».

7.2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Inicios y primera Carta Puebla. (En línea).

Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Benidorm#Historia>

[2] Concejalía de Cultura del Ayuntamiento de Benidorm. Exposición: los orígenes de la ciudad vertical, 2007

[3] Historia de Benidorm, Visit Benidorm. (En línea).

Disponible en:

<https://www.visitbenidorm.es/ver/1322/benidorm--una-terra-llena-de-historia--historia-del-turismo-de-benidorm.html>

[4] Gabriel Miró, Libro Años y leguas, 1928

[5] Parque de la Aiguera. (En línea).

Disponible en:

<https://www.esturismo.eu/Espana/Benidorm/Bdom-parque.html>

[6] Joaquim Genis, Benidorm invertirá 2000 millones en construir un parque diseñado por Bofill.

El país, Alicante 1985

[7] Isabel Llorens, Bofill presenta el proyecto de un "Monumento Verde" para Benidorm.

El país, Alicante 1984.

[8] Nuevo Ayuntamiento de Benidorm, Alicante.

Revista Vía Arquitectura 12.

[9] CTA, El rascacielos horizontal, Benidorm. Plazatio, 2018.

[10] M.Ballesteros, Espectacular izado de la estructura del nuevo ayuntamiento de Benidorm. ABC, Comunidad Valenciana 2002.

[11] Andrés Martínez Medina, Diez años del nuevo Ayuntamiento de Benidorm: símbolo e identidad.

Diario Información, Alicante 2013.

[12] La energía solar, un gran motor que no acaba de despegar en nuestro país.

Revista Cercha 71, 2003.

[13] CYPE Ingenieros opta por el Premio CONSTRUMAT 2003.

CYPE Ingenieros, España 2003.

[14] Placa Alveolar. Aljema S.L. (En línea).

Disponible en:

<http://www.prefabricadosaljema.com/doc/p40.pdf>

[15] M.Pozuelo, Benidorm inaugura el primer edificio emblemático de la ciudad: el Ayuntamiento. Euroinmo,

Alicante 2014.

[16] Documento Básico de Seguridad estructural y Acciones de la edificación.

Código Técnico, 2009.

[17] Real Academia de Ingeniería. Definición Carga de nieve.

[18] Documento Básico de Seguridad estructural.

Código Técnico, 2009.

[19] Roger Señís López, Optimización de mallas estructurales de acero envolventes de edificios en

altura.

Universidad Politécnica de Cataluña, tesis doctoral, 2014.

[20] Miguel José Colina Marco, Aproximación arquitectónica y análisis estructural del Centro Cultural Botín.

Universidad Politécnica de Valencia, trabajo de fin de grado, 2018.

[21] ANGLE. Software de cálculo estructural desarrollado por el profesor Adolfo Alonso.

[22] Análisis de cargas accidentales.

Universidad de las Américas Puebla.

[23] Ministerio de Fomento, Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación

NCSE-02, 2009.

7.3. REFERENCIAS DE IMÁGENES

Imagen 1. Primera carta puebla.

Fuente: Archivo del Reino de Valencia.

https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Carta_puebla_de_Benidorm_02_-_Archivo_Reino_de_Valencia.jpg

Imagen 2. Gráfica de demografía.

Fuente: INE (Instituto Nacional de Estadística).

<https://es.wikipedia.org/wiki/Benidorm>

Imagen 3. Estado de la edificación en 1956.

Fuente: Plano del expediente del PGOU.

Exposición 50 aniversario: Benidorm, los orígenes de la ciudad vertical.

Imagen 4. Plano de zonificación.

Fuente: Plano del expediente del PGOU.

Exposición 50 aniversario: Benidorm, los orígenes de la ciudad vertical.

Imagen 5. Publicidad del turismo de Benidorm.

Fuente: Portada del periódico “Ciudad” de 1971. Exposición 50 aniversario: Benidorm, los orígenes de la ciudad vertical.

Imagen 6. Publicidad de los hoteles-fábrica. Fuente:

Página del periódico “Ciudad” de 1970.

Exposición 50 aniversario: Benidorm, los orígenes de la ciudad vertical.

Imagen 7. Edificio Frontalmar.

Fuente: Proyecto del edificio “Frontalmar” (V. Aliena Goiti, 1963), el primer rascacielos de Benidorm.

Exposición 50 aniversario: Benidorm, los orígenes de la ciudad vertical.

Imagen 8. Noticia de los primeros vuelos turísticos.

Fuente: Página del periódico “Ciudad” de 1970.

Exposición 50 aniversario: Benidorm, los orígenes de la ciudad vertical.

Imagen 9. Paseo central del parque de L’Aigüera.

Fuente: Archivo Wikipedia.

https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Vista_del_parc_de_l%27Aigüera,_Benidorm.jpg#file

Imagen 10: Presentación del proyecto por el autor del mismo, Ricardo Bofill.

Fuente: Benidorm informe municipal – 11 y 12.

https://benidorm.org/sites/default/files/documentos/1985-11-12-marca_agua_0.pdf

Imagen 11. Barranco de l’Aigüera antes de la actuación de Bofill.

Fuente: Revista Informe municipal – Benidorm 11 y 12.

https://benidorm.org/sites/default/files/documentos/1985-11-12-marca_agua_0.pdf

Imagen 12. Plano del diseño del parque de l’Aigüera de Taller de Arquitectura.

Fuente: Taller de Arquitectura.

<https://www.plazatio.com/es/noticias/el-rascacielos-horizontal-benidorm>

Imagen 13. Auditorio Julio Iglesias.

Fuente: Fernando Monzón. Archivo Wikipedia.

<https://goo.gl/maps/ALwkjpaZZrpNQdhN8>

Imagen 14. Plaza a medio construir, antes del comienzo de las obras de la nueva sede del ayuntamiento.

Fuente: AIC EQUIP

Imagen 15. Plano de la casa consistorial diseñada por Bofill.

Fuente: Taller de Arquitectura.

<https://www.plazatio.com/es/noticias/el-rascacielos-horizontal-benidorm>

Imagen 16. Edificio consistorial de Sant Vicent del Raspeig.

Fuente: AIC EQUIP.

<http://www.aicequip.com/ver/112/Ayuntamiento-de-Sant-Vicent-del-Raspeig.html>

Imagen 17. Portada El proyecto.

Fuente: Fernando Mutio.

<https://www.flickr.com/photos/fernandoamutio/1951255256/in/album-72157602486393086/>

Imagen 18. El edificio insertado en el entorno.

Fuente: ECISA

<https://www.ecisa.es/proyecto/32/nuevo-edificio-consistorial-del-ayuntamiento-de-benidorm>

Imagen 19. Alzado sur del ayuntamiento de Benidorm.

Fuente: Revista Vía arquitectura.

<https://www.via-arquitectura.net/12/12-038.htm>

Imagen 20. Vestíbulo de acceso al ayuntamiento.

Fuente: AIC EQUIP.

<http://www.aicequip.com/ver/209/Ayuntamiento-de-Benidorm.html>

Imagen 21. Interior del volumen de oficinas distribuida con elementos móviles.

Fuente: AIC EQUIP.

<http://www.aicequip.com/ver/209/Ayuntamiento-de-Benidorm.html>

Imagen 22. Los dos sistemas de construcción material.

Fuente: Revista CERCHA.

<http://www.arquitectura-tecnica.com/cercha/pdf/71.pdf>

Imagen 23. Alzado sur.

Fuente: Revista 02. Área-arch.

<http://actualidadcomarcal.com/benidorm-el-ayuntamiento-pedira-a-conselleria-que-le-ceda-el-tramo-de-benidorm-de-la-cv-70/>

Imagen 24. Modelo de la estructura metálica sobre pilares de hormigón. 3Ds Máx.

Fuente: archivo propio.

Imagen 25. Alzado norte.

Fuente: Plazatio.

<https://www.plazatio.com/es/noticias/el-rascacielos-horizontal-benidorm>

Imagen 26. Modelo de la estructura metálica sobre pilares de hormigón. 3Ds Máx.

Fuente: Archivo propio.

Imagen 27. Modelo de la estructura metálica. 3Ds Máx.

Fuente: Archivo propio.

Imagen 28. Neopreno zunchado.

Fuente: Apoyos elastoméricos CYMPER.

<https://www.cymper.com/blog/apoyos-elastomericos-cosas-que-debes-saber/>

Imagen 29. Celosía de arriostamiento. 3Ds Máx.

Fuente: archivo propio.

Imagen 30. Sección de una placa alveolar pretensada de 40 cm con capa de compresión.

Fuente: Aljema S.L.

<http://www.prefabricadosaljema.com/doc/p40.pdf>

Imagen 31. Sección constructiva. Apoyo de las placas alveolares sobre la cercha principal.

Fuente: Revista CERCHA.

<http://www.arquitectura-tecnica.com/cercha/pdf/71.pdf>

Imagen 32. Acopio de las estructuras metálicas en obra.

Fuente: Cype ingenieros.

<http://www.cype.es/estudiosproyectos/ampliadas/AytoBenidorm.htm>

Imagen 33. Montaje final en obra.

Fuente: Cype ingenieros.

<http://www.cype.es/estudiosproyectos/ampliadas/AytoBenidorm.htm>

Imagen 34. Elevación de la primera cercha.

Fuente: Cype ingenieros.

<http://www.cype.es/estudiosproyectos/ampliadas/AytoBenidorm.htm>

Imagen 35. Aprovechamiento de la estructura mediante las piezas de arriostramiento.

Fuente: Cype ingenieros.

<http://www.cype.es/estudiosproyectos/ampliadas/AytoBenidorm.htm>

Imagen 36. Estructura aprovisionada a falta de voladizos.

Fuente: Cype ingenieros.

<http://www.cype.es/estudiosproyectos/ampliadas/AytoBenidorm.htm>

Imagen 37. Estructura completada.

Fuente: Cype ingenieros.

<http://www.cype.es/estudiosproyectos/ampliadas/AytoBenidorm.htm>

Imagen 38. Pasarela accesible de mantenimiento y limpieza.

Fuente: Glastec experts.

<http://glastec-lamellen.de/en/projekte/nubbb/>

Imagen 39. Sistema de protección solar mediante lamas de vidrio serigrafiado.

Fuente: Glastec experts.

<http://glastec-lamellen.de/en/projekte/nubbb/>

Imagen 40. Esquema de los nudos de las cerchas principales.

Fuente: Revista DETAIL.

Imagen 41. Esquema de las cerchas principales acotado.

Fuente: Archivo propio

Imagen 42. Cordón superior. Perfil de usuario.

Fuente: AutoCad 2019.

Imagen 43. Cordón inferior. Perfil de usuario.

Fuente: AutoCad 2019.

Imagen 44. Viga intermedia en "E". Perfil de usuario.

Fuente: AutoCad 2019.

Imagen 45. Esquema de las celosías de arriostramiento acotado.

Fuente: Imagen de elaboración propia.

Imagen 46. Esquema cargas permanentes superficiales.

Fuente: AutoCad 2019.

Imagen 47. Esquema cargas permanentes lineales fachada norte.

Fuente: AutoCad 2019.

Imagen 48. Esquema cargas permanentes lineales fachada sur.

Fuente: AutoCad 2019.

Imagen 49. Tabla 3.1.

Fuente: CTE DBSE-AE.

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>

Imagen 50. Mapa del valor básico de la velocidad del viento.

Fuente: CTE DBSE-AE.

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>

Imagen 51. Tabla 3.4.

Fuente: CTE DBSE-AE.

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>

Imagen 52. Tabla 3.5.

Fuente: CTE DBSE-AE.

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>

Imagen 53. Tabla 3.8.

Fuente: CTE DBSE-AE.

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>

Imagen 54. Combinación de hipótesis de carga ELU.

Fuente: AutoCad 2019.

Imagen 55. Combinaciones de hipótesis de carga.

Fuente: AutoCad 2019.

Imagen 56. Deformada provocada por viento sin rigidez de forjados.

Fuente: ANGLE.

Imagen 57. Confirmación del incumplimiento de la normativa por exceso de flecha.

Fuente: ANGLE.

Imagen 58. Modelo con forjados mediante E.F.

Fuente: Aplicación de ANGLE para AutoCad.

Imagen 59. Comprobación del efecto de la dotación de rigidez a los forjados.

Fuente: ANGLE.

Imagen 60. Confirmación del cumplimiento de la normativa a flecha.

Fuente: ANGLE.

Imagen 61. Diagrama de axiles. Cercha principal.

Fuente: ANGLE.

Imagen 62. Diagrama de cortantes antes de la modificación. Cercha principal SUR.

Fuente: ANGLE.

Imagen 63. Diagrama de flectores antes de la modificación. Cercha principal SUR.

Fuente: ANGLE.

Imagen 64. Diagrama de axiles. Viga Warren. Fuente: Tesis doctoral de Roger Señís.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/95358/TRSL1de8.pdf>

Imagen 65. Diagrama de axiles. Cercha principal SUR.
Fuente: ANGLE.

Imagen 66. Diagrama de cortantes. Cercha principal SUR.
Fuente: ANGLE.

Imagen 67. Diagrama de flectores. Cercha principal SUR.
Fuente: ANGLE.

Imagen 68. Viga Warren sin montantes, con montantes intercalados y con montantes.
Fuente: Diseño y predimensionado de una celosía de cordones paralelos. Arianna Guardiola.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30631/predimensionado%20de%20una%20celos%C3%ADa.pdf>

Imagen 69. Deformada combinación 13 ELS. Cercha principal sur.
Fuente: ANGLE.

Imagen 70. Ejemplo de reducción de deformación en voladizo.
Fuente: TFG Miguel José Colina Marco.
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/116418/memoria_21804288.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Imagen 71. Detalle esfuerzos axiles en voladizo este. Cercha principal sur.
Fuente: ANGLE.

Imagen 72. Detalle deformada con valores en voladizo este. Cercha principal sur.
Fuente: ANGLE.

Imagen 73. Diagrama de axiles antes de la modificación. Celosía de arriostramiento oeste.
Fuente: ANGLE.

Imagen 74. Comprobación barra que no cumple.
Fuente: ANGLE.

Imagen 75. Forjados partidos y desconectados de las piezas de arriostramiento.
Fuente: ANGLE.

Imagen 76. Diagrama de axiles. Celosía de arriostramiento.
Fuente: ANGLE.

Imagen 77. Comprobación barra tras el cambio en la modelización de los forjados.
Fuente: ANGLE.

Imagen 78. Mapa de momentos M_x negativos. Forjado tipo empotrado a las cerchas principales.
Fuente: ANGLE.

Imagen 79. Mapa de momentos M_x . Forjado 1.
Fuente: ANGLE.

Imagen 80. Tabla elección de placa 40+8 cm.
Fuente: Ficha técnica ALJEMA.

Imagen 81. Esquema del cálculo. Forjado 1.
Fuente: archivo propio.

Imagen 82. Mapa de momentos Mx. Forjado 4 –
Cubierta.

Fuente: ANGLE.

Imagen 83. Tabla elección de placa 40+5 cm.

Fuente: Ficha técnica ALJEMA.

Imagen 84. Esquema del cálculo. Forjado 4 -
Cubierta.

Fuente: archivo propio.

Imagen 85. Desplazamiento en z. Combinación 13
ELS. Forjado 1.

Fuente: ANGLE.

Imagen 86. Desplazamiento en z. Combinación 13
ELS. Forjado 4 - Cubierta.

Fuente: ANGLE.



PARKING L AIGUERA

20

20

ATTENZIONE
PER INFORMAZIONI
SULLA GESTIONE DEL PARCHING
CONTATTARE IL SERVIZIO CLIENTI