

RESUMEN

La Torre Marenostrum (Barcelona), Sede de Gas Natural, es una de las últimas grandes obras de Enric Miralles. Construida póstumamente, supone el culmen de su arquitectura, entendida como un elemento de carácter casi aleatorio al servicio del programa y del lugar. Este edificio supone un hito arquitectónico a nivel urbano y también una imagen simbólica y representativa de la evolución y la historia del gas natural en el país, íntimamente relacionado con la ciudad de Barcelona y su costa, y más concretamente con el barrio de la Barceloneta.

El edificio Gas Natural encuentra su cénit en el diálogo entre la verticalidad de la torre y la horizontalidad de su potente ménsula emergente, que parece retar a la gravedad. Todo esto nos habla, sin citarla directamente, de la estructura y de su papel protagonista como recurso proyectual, intrínseco en el propósito arquitectónico y tenido en cuenta como idea generadora de proyecto desde sus primeras fases.

El presente trabajo estudiará, analizará y expondrá las claves, las soluciones y las audacias necesarias para hacer de este singular y emblemático edificio una realidad tangible tanto constructiva como estructuralmente, a partir de la evaluación de cargas y la definición de un modelo de cálculo y posterior análisis en el programa de cálculo Architrave®.

Palabras clave: Torre Marenostrum, análisis estructural, estructura metálica, voladizo autoportante, cercha en ménsula.

SUMMARY

The Marenostrum Tower (Barcelona), headquarters of Natural Gas, is one of the latest works of Enric Miralles. Built posthumously, it represents the culmination of its architecture, understood as an element of almost random character at the service of the programme and the place. This building is an architectural landmark at an urban level and also a picture symbolic and representative of the evolution and history of the gas natural in the country, closely associated with the city of Barcelona and its coast, and more specifically with the District of the Barceloneta.

The Gas Natural building is its zenith in the dialogue between the verticality of the tower and the horizontality of its powerful cantilever emerging, that seems challenge to it gravity. All this speaks to us, without citing it directly, the structure and its protagonist role as a planning resource, intrinsic in the architectural purpose and taken into account as a generating idea for project from its early stages.

This paper will examine, analyze and expose the keys, solutions and the boldness necessary to make this singular and emblematic building a tangible reality both constructive and structurally way, from the evaluation of loads and the definition of a model calculation to the analysis on the calculation program Architrave®.

Key words: Torre Marenostrum, structural analysis, steel structure, cantilevered-self-supporting, truss cantilever.



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

EDIFICIO GAS NATURAL

APROXIMACIÓN ARQUITECTÓNICA Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

EDIFICIO GAS NATURAL. APROXIMACIÓN ARQUITECTÓNICA Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA
AUTOR: JESÚS SAORÍN GÓMEZ
TUTOR: ERNESTO FENOLLOSA FORNER

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar me gustaría agradecer a todas y cada una de las personas que con su tiempo, ayuda o sabiduría, han ayudado a que este trabajo sea posible:

A mi compañero Carlos Gandía, cuya inestimable ayuda ha sido clave para las fases iniciales de éste trabajo.

A Ernesto Fenollosa, por su disponibilidad y ayuda para guiarme y tutelarme en su desarrollo, así como a todos esos profesores que a lo largo de mi vida académica -universitaria o no- de alguna forma han sembrado en mí los conocimientos que hoy me forman y, lo que es más importante, las ganas de seguir aprendiendo.

A todos los compañeros con los que me he encontrado a lo largo de esta carrera y de los que espero quedarme con mucho en mi memoria y en mi forma de ser.

A mis padres, Jesús y María José, por haberme apoyado siempre en todo y en último lugar, y sobre todo, a Beatriz, mi máximo apoyo en todo momento.

“Cuando la piel se vuelve preponderante por su valor estético, tiende a ser escultura; si el predominio es técnico, tiende a ser ingeniería constructiva; si el énfasis es el sitio, tiende a ser paisajismo; si se da una armonía entre todos los sistemas, estamos en presencia de una buena obra arquitectónica. Cada obra tiene su proporción y la justa medida es tarea del arquitecto, que si hace de su diálogo y síntesis una sinergia poética, tenemos una obra de arte.”

IBO BONILLA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	04
1.1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	05
1.2. CONTEXTO ARQUITECTÓNICO: MIRALLES. PENSAMIENTO, TRAYECTORIA Y OBRAS	06
1.3. CONTEXTO HISTÓRICO-CULTURAL: BARCELONA, LA BARCELONETA Y EL GAS NATURAL	12
2. EL PROYECTO	16
2.1. ENTORNO E IDEA	17
2.2. FORMA Y VOLÚMENES	20
2.3. ORGANIZACIÓN: PLANTAS Y USOS.....	23
2.4. MATERIALIDAD	25
3. LA ESTRUCTURA.	28
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	29
3.2. SIMPLIFICACIÓN Y MODELIZACIÓN.....	39
3.3.EVALUACIÓN DE CARGAS	42
4. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	48
4.1. COMPORTAMIENTO POR ELEMENTOS	49
4.2. COMPORTAMIENTO GLOBAL	60
5. CONCLUSIONES	65
6. ANEXOS	69
ANEXO I: PLANOS.....	70
ANEXO II: PROCESO CONSTRUCTIVO	75
ANEXO III: ARTÍCULOS RELACIONADOS.....	78
7. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES	82
7.1. FUENTES.....	83
7.2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
7.3. REFERENCIA DE IMÁGENES	87

1. INTRODUCCIÓN



1.1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El edificio de Gas Natural o Torre Marenostrum en Barcelona (1999-2005) es una obra ampliamente publicada en las monografías y webs dedicadas a Enric Miralles y analizada desde un punto de vista compositivo y conceptual en varias revistas de arquitectura y diseño, haciéndose destacable su potencia visual y estructural. A pesar de eso, en el ámbito específico de las estructuras, apenas se ha estudiado acerca de las soluciones constructivas y el sistema estructural concreto, siendo muchas las preguntas acerca de las leyes que rigen este singular edificio y que permiten la ejecución y sustentación de sus heterogéneas formas, las cuales encuentran su valor primordial en su gran voladizo autoportante, una tipología tan espectacular como poco frecuente.

El objetivo de este trabajo será conocer en detalle estas soluciones de tipo mixto, basadas en la combinación del acero y el hormigón, y analizar el planteamiento estructural del edificio en su conjunto y de los elementos individuales que conforman su estructura. Todo ello, con el fin de poder obtener conclusiones sobre este tipo de estructuras que se puedan extrapolar al diseño de edificios que deban combinar grandes cuerpos volados con la edificación en altura. La meta será conocer la lógica estructural que deriva de este proyecto en particular, así como comprender las limitaciones y efectos que tiene una estructura de este tipo sobre el diseño arquitectónico y aplicar los conceptos subyacentes a edificios de similares características y esquemas estructurales.

Para ello, se propone la siguiente metodología: a partir de la información que se recopilará sobre el edificio real, se realizará un modelo de su estructura, con la ayuda del programa informático de análisis y cálculo estructural Architrave. Este modelo será sometido a las cargas propias de la edificación estimadas según el documento CTE DB SE-AE sobre Seguridad Estructural y Acciones en la Edificación, lo que permitirá realizar un exhaustivo estudio de su comportamiento. De los resultados obtenidos, se extraerán una serie de conclusiones sobre el modelo, que arrojen luz sobre la realidad estructural de cada una de las partes del edificio y de su conjunto global respecto a los distintos esfuerzos a los que está sometido.



1.2. CONTEXTO ARQUITECTÓNICO: MIRALLES. PENSAMIENTO, TRAYECTORIA Y OBRAS

El pensamiento y el proceso proyectual de Eric Miralles Moya (Barcelona 1955 - Sant Feliu de Codines, 2000)[1], arquitecto y diseñador español, es difícil de interpretar y comprender. Él mismo se refería al trabajo del arquitecto como un enredar y desenredar[2], defendiendo un modo de trabajar muy ligado a la idea de curiosear y distraerse[3], y desarrollando un comportamiento errático[4] a la hora de aproximarse al proyecto, donde los saltos y el continuo diálogo con lo existente -manteniendo siempre la idea personal en un segundo plano[3]-, son fundamentales. Todo esto da lugar a un nuevo modo de imaginar y representar la arquitectura, y un discurso resultante de carácter incorpóreo y dislocado[5]. En definitiva, una arquitectura compleja que aparece sin que exista vocabulario aplicable a cada una de sus partes -puesto que no es un ejercicio de composición de elementos arquitectónicos dispersos puestos juntos[5]- y que, por tanto, no debemos abordar desde las usuales convenciones analíticas ni desde las habituales clasificaciones e interpretaciones visuales o formales, a riesgo de topár con un universo



Figura 1. Cubiertas Paseo Icaria_Barcelona

hermético, inaccesible, difícil, seductor, laberíntico e impenetrable[2].

Partiendo de una posición heredada de su formación en la Escuela de Arquitectura de Barcelona ETSAB (hasta 1974) y de su práctica en el estudio Viaplana-Piñón (1973-1983)[1], donde ya dio muestras de su energía y talento[6], adquiere el gusto por la precisión en el dibujo técnico, la delineación sobre papel vegetal o el grafismo constituido exclusivamente a base de líneas del mismo grosor. Pronto evoluciona hacia un método caracterizado por un personal uso del sistema diédrico, vinculado a una concepción fragmentaria de la planta de arquitectura y del espacio mismo[7], representando, de alguna manera, la destrucción de un edificio para encontrar cuál es su forma o para hacer aparecer cuál había sido su proceso de formación, su hacerse[8]. Este proceso de configuración espacial basado en criterios constructivos, no visuales[3], se ilustra con el empleo reiterado de un léxico personal: "desmembrar", "repartir", "romper" la planta, pensando cada



Figura 2. Cementerio de Igualada_Barcelona

fragmento de manera individualizada y buscando que cada una de las piezas tenga un carácter reconocible en sí misma, que se pueda sacar del todo sin perder completamente su identidad[3]. Crea así una arquitectura simultáneamente fragmentaria y unitaria, compuesta por piezas que son autónomas y relativas entre sí, formando un todo mayor a través de posiciones relativas de tangencia, adyacencia, discontinuidad, relación horizontal o vertical[7].

Se inclina por procesos compositivos de yuxtaposición, referida a una relación horizontal, no necesariamente plana, en la que las piezas se disponen sobre una misma base o soporte; y de superposición, en relación vertical, generada por estratificación sucesiva de unas piezas sobre otras. Sin embargo, no parte nunca de una idea a priori del espacio que está intentando construir. Comienza a trabajar siempre desde las plantas, de las secciones horizontales, para ir trazando las sucesivas a distintos niveles, construyendo al final a partir de estos estratos (en vertical) o fragmentos yuxtapuestos (en horizontal) las secciones casi automáticamente y generando la forma tridimensional, que acostumbraba a definir mediante el uso de maquetas, sobre todo a partir de su etapa en EMBT. "La planta como contorno, la maqueta como sección"[7].

En su primera etapa creativa, junto a la arquitecta Carme Pinós (1983-1990), proyectó alguna de sus obras más poéticas[1]. Es un momento fervoroso, la manifestación de un proyectar natural. Sus trabajos presentan la pedagógica provocación propia de quien, además de para construir, proyecta para enseñar a proyectar[9].

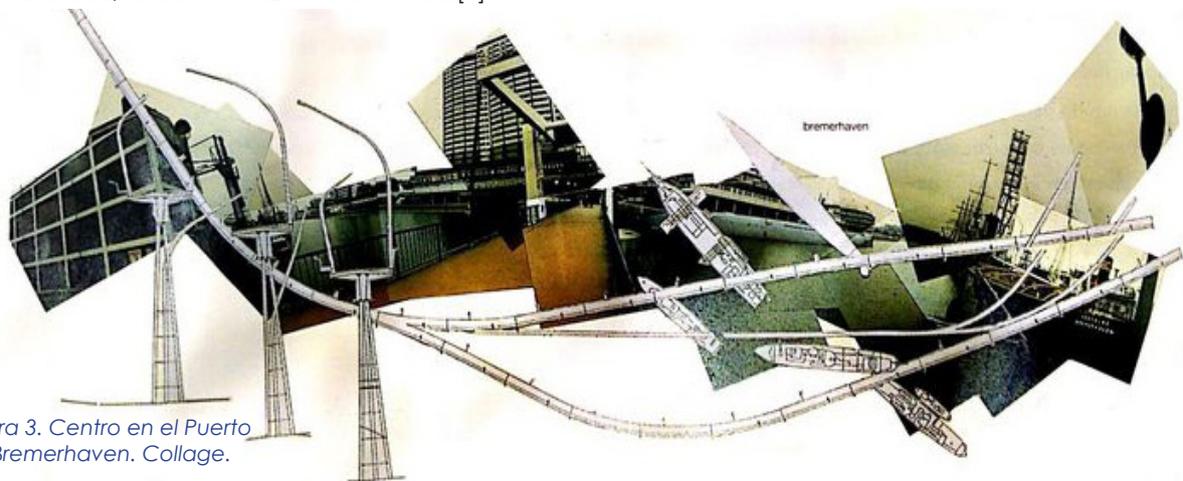


Figura 3. Centro en el Puerto de Bremerhaven. Collage.

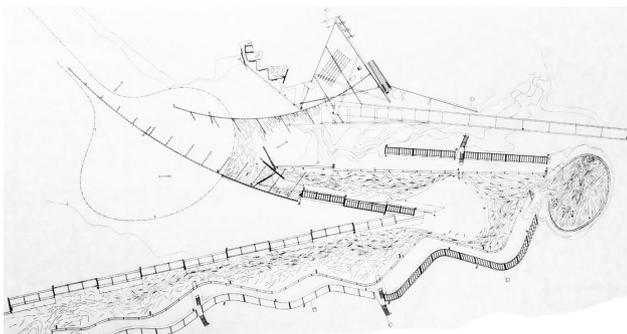


Figura 4. Planta del Cementerio de Igualada_Barcelona..

"Siempre empezábamos por el plano de situación, y el proyecto en definitiva era saber quedarse con unas líneas" Pinós, Carme [10]

El mundo arquitectónico de Enric Miralles es vibrante e intenso, agitado y exuberante[6]. Posee una concepción dinámica del espacio que niega la ortogonalidad como geometría por defecto[7] y cuyo afán es activar y expandir el espacio evitando toda sensación de quietud y estatismo. Los elementos directamente relacionados con el uso y el movimiento del hombre[11] -rampas, puentes, plataformas, galerías, escaleras, bancos, peldaños, barandillas- reciben un tratamiento espectacular. Desarrolla unas determinadas familias geométricas en planta, independientemente de escala o función[7], guiadas por diversos impulsos que tienen que ver con la lectura del programa y el lugar, y con la idea sobre los vínculos que se dan entre las actividades humanas y las trazas preexistentes en el paisaje geográfico y cultural[5]: se repiten formas como triángulos -Centro Cívico Hostalets o Pasarela Río Segre-, zigzags, planos inclinados y acentos diagonales, horizontales flotantes, fragmentos inflexionados, audaces incisiones y relaciones ambiguas entre figura y fondo.

Los materiales, cuyo manejo innato dota a sus obras de un definido perfil sensorial[6], y la estructura están implícitos en las líneas de sus dibujos, como también lo están la luz, el espacio, las vistas y el detalle[5].



Figura 5. Centro cívico de Hostalets de Balenyà_Barcelona.

En cuanto a la estructura -ya sea de hormigón, acero o madera-, se trata de un modo dinámico. Se sirve de su código geométrico personal para buscar las soluciones estructurales más adecuadas consiguiendo, además de las cualidades narrativas propias de las formas, el carácter ingrávido e inestable tan admirado en sus referentes de las vanguardias rusas[2], resolviendo conceptual y estructuralmente la construcción de sus edificios. En las Pérgolas en Parets del Vallés, por ejemplo, la figura zigzagueante se convierte en una jácena que se pliega libremente en el espacio y sobre la que se posan las pérgolas, como unas sombras con continuidad narrativa[7].



Figura 6. Pérgolas en Parets del Vallés_Barcelona.



Figura 7. Palacio Municipal de los Deportes_Huesca

A finales de la década de los 80, realiza varios proyectos característicos por sus grandes y complejas cubiertas, configuradas con estructuras metálicas espaciales, que canalizan espacios comprimidos y expandidos sobre planos que esculpen en el terreno. En éstos proyectos la sección cobra gran importancia, intensificándose la espacialidad y los juegos de luz aprovechando la excavación en el terreno. Son proyectos como el Polideportivo de Huesca, el CNAR Alicante o las instalaciones de Tiro con Arco, en las que crea una dialéctica material entre el binomio basamento + cubierta: hormigón frente a metal, topografía frente a aéreo, tectónico frente a estereotómico[7].

Desde 1990 se inicia un periodo de transición para él, en el que abandona el estudio que comparte con Pinós y afronta en solitario las fases de ejecución proyectos ideados en su anterior etapa[7].



Figura 8. C.N.A.R_Alicante.

El estudiante ligero y espigado que salió de la Escuela de Barcelona es ahora todo un gigante al que dota de autoridad una poblada barba negra[6]; que se implica de forma directa en la docencia -fue profesor de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona ETSAB con la Cátedra de Arquitectura desde 1996, Director y Profesor de las clases magistrales en el Städleschule de Frankfurt-am-Main desde 1990, profesor en la Universidad de Harvard, en la Cátedra Kenzo Tange desde 1992, profesor invitado y conferenciante en varias universidades de los Estados Unidos, Alemania, Reino Unido, Italia, Holanda y miembro de la Royal Incorporation of Architects in Scotland)[1] mientras trabaja sin descanso y participa en concursos, como el de la nueva sede del Círculo de Lectores en Madrid. Así, comienza a recibir sus primeros encargos en el extranjero, dando lugar a trabajos más maduros donde los principios planteados en sus primeras obras encuentran justo desarrollo[6].



Figura 9. Nuevo Centro Círculo de Lectores_Madrid.

Comienzan a aparecer en sus proyectos geometrías curvas que crean una alternancia de espacios cóncavos y convexos, lo que en principio podría parecer una condición para inducir al caos y alejarle de su sistema de trabajo por familias de geometrías en planta. Sin embargo, esto pronto se revelará solo como un estímulo, un inicio en su método de proyecto[7].



Figura 10. Parlamento escocés. Maqueta de trabajo.

A partir de 1993 trabaja asociado con **Benedetta Tagliabue**, su segunda esposa, dando lugar al todavía vigente estudio EMBT.

Puede decirse que está concluyendo una etapa de su obra: lo que en un primer momento se trataba de mostrar proyectos que enseñaran a proyectar. Es el momento fervoroso, la manifestación de aquel proyectar natural, pero que, en este momento de su carrera, está dejando paso, no a una actitud más retraída, sino a poder prescindir del estímulo pedagógico de la provocación, del ejemplo[9].



Figura 11. Escuela de música para jóvenes_Hamburgo.

El éxito logrado en los concursos para la Escuela de Arquitectura en Venecia, el Parlamento de Escocia (Edimburgo, Gran Bretaña) o nuestra Sede de Gas Natural consolidan definitivamente su trayectoria. Son sus proyectos de mayor tamaño y trascendencia, donde deberán desarrollarse actividades institucionales y administrativas, y en los que el mejor Miralles es capaz de mostrar una vez más su talento enfrentándose a delicados emplazamientos urbanos -en los que es fundamental la incorporación activa del contexto histórico del lugar al proyecto[7]- y a complejos programas[6]. Inicia un proceso de liberación, en el que se vuelve innecesario revestir los proyectos de formulaciones generales y en los que incrementa su destreza para convertir prácticamente cualquier geometría, trazo o figura en plano de arquitectura mientras el estudio extiende en paralelo sus capacidades de experimentación con maquetas de alambre, madera o metacrilato, permitiendo probar un número cada vez mayor de configuraciones formales[7].



Figura 12. Parc dels Colors en Mollet del Vallés, Barcelona.

Abandona de alguna manera la pedagógica provocación de proyectos anteriores, propia de quien no construye y proyecta sólo para enseñar a proyectar, y la sustituye por el primer volumen de sus 'obras completas', donde los principios no están enunciados sino que cada proyecto es capaz de defenderse solo: destacan edificios públicos de entidad en territorio nacional e internacional, como el Aulario del Campus Universitario de Vigo, la Biblioteca pública en Palafolls o la Jugendmusikschule, Escuela de música para jóvenes (Hamburgo, Alemania).



Figura 13. Mercado de Santa Caterina_Barcelona

Enric Miralles ahora, está en el puro inicio de su trabajo. Mientras realiza proyectos públicos de carácter en su provincia natal, como el Parc Diagonal Mar (Barcelona), el Parc dels Colors (Mollet del Vallés), y sobre todo, la remodelación del Mercado de Santa Caterina; amplía sus fronteras realizando trabajos como sus seis viviendas en Amsterdam o Pabellón de meditación en Unazuki (Japón) que le dan el reconocimiento a nivel europeo y mundial, lo que hará que sea galardonado, entre otros premios, con el Premio Nacional de Arquitectura, concedido por el Ministerio de Cultura, en 1995 y con el 'León de Oro' a la Bienal de Arquitectura de Venecia el 1996[1].

Murió prematuramente, a la edad de 45 años, en julio del año 2000, en el punto álgido de su carrera profesional, dejando a Benedetta Tagliabue y a sus compañeros del estudio EMBT la dolorosa pero honorable obligación de dar término a sus obras inacabadas y seguir su troncada labor creativa y didáctica.

Apodado como el enfant terrible de la arquitectura española, nos legó un mundo arquitectónico exuberante y edificios arrolladores, pero sobre todo, nos dejó un lenguaje genuinamente nuevo sin postergar un profundo respeto al lugar, además de una prolífica obra intelectual: escritos, dibujos, bocetos, fotomontajes, diarios, y casi un millar de maquetas originales. [1]



Figura 14. Pabellón de la meditación en Unazuki_Japón

"Enric Miralles ha sido un fulgurante cometa que ha brillado con luz propia en el panorama de la última arquitectura española. Breve, para nuestra desgracia, en el tiempo, el arco descrito por la carrera profesional de Enric Miralles ha sido generoso y rotundo, limpio y claro, atributos todos que también se daban en su persona. [...] Enric Miralles será desde ahora el guardián invisible de una de sus obras más logradas, el cementerio de Igualada."

Rafael Moneo[6].

1.3. CONTEXTO HISTÓRICO-CULTURAL: BARCELONA, LA BARCELONETA Y EL GAS NATURAL

El solar que Miralles se encuentra se sitúa en el barrio de la Barceloneta, junto a la Ronda Litoral. Se trata de un emplazamiento bastante particular en el cual, a lo largo del tiempo, han confluído diversos usos y en el que se han desarrollado varios hechos históricos determinantes para la ciudad de Barcelona, quedando como testigo de todo ello en la actualidad una gran diversidad de tejidos, ejes y preexistencias que se pueden encontrar en el lugar y que nos hablan de su memoria. Esto a Miralles no fue indiferente y trató de incorporarlos a su proyecto.

En 1753 se puso la primera piedra de la Barceloneta. La construcción del barrio fue muy rápida: dos años después ya se ha levantado el templo de San Miguel y pronto se construye el mercado de abastecimiento, dos cuarteles de infantería cerca de la línea del mar, un matadero próximo a la puerta de la Ciudadela -construida por mandato de Felipe V durante la primera mitad del siglo XVIII para dominar la ciudad tras la Guerra de Sucesión española- y junto al puerto, unos almacenes [12]. Durante las primeras décadas

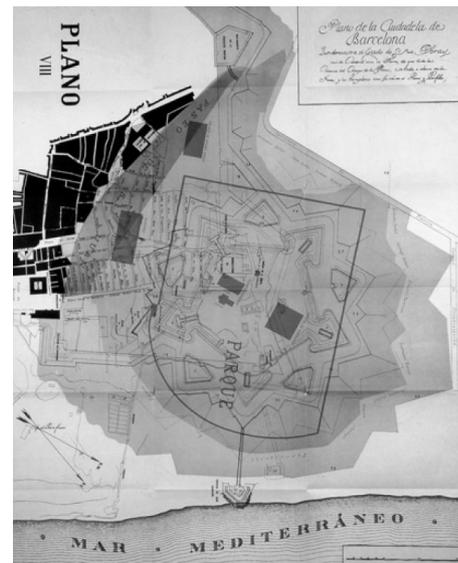


Figura 15. Antigua planta de la Ciudadela.

del siglo XIX, el barrio se fue extendiendo hacia el sur y en 1808 se aprueba la edificación por parte de particulares. Así las manzanas alcanzaron el borde de la línea de mar[13]. En 1835 se construyó la primera plaza de toros de la ciudad, el Torín, donde había estado situado el matadero, cerca de las murallas de la Ciudadela. En ella, el 25 de julio de 1935, se originó un importante motín contra los carlistas, en el que los frailes dominicos del convento de Santa Caterina -otro solar en el que Miralles intervino- fueron asesinados y el edificio incendiado, corriendo la misma suerte más religiosos y otros edificios de culto. En 1848 se construye la primera línea de ferrocarril de España, la línea Barcelona-Mataró, cuyas vías transcurren entre la Ciudadela y El Torín [14].

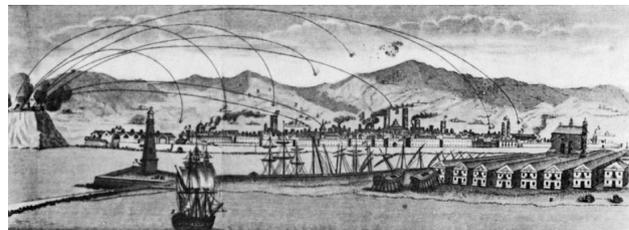


Figura 16. Vista de Barcelona bombardeada en 1842.

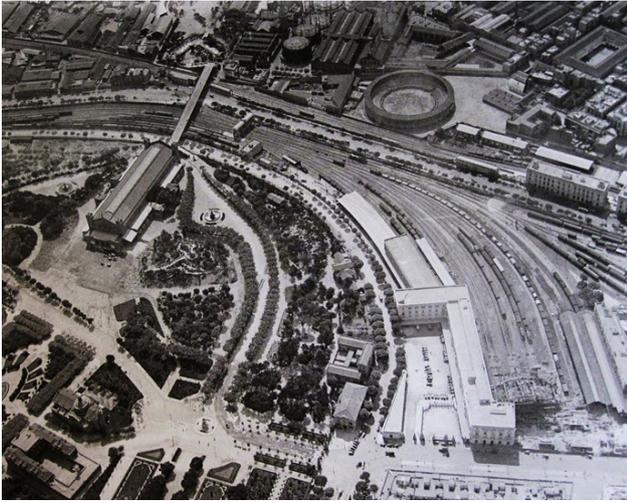


Figura 17. El Toriñ y la Estación de Francia. Ronda litoral.

En 1841, el financiero Pere Gil cede una gran porción de terreno cerca de la puerta de Don Carlos a favor del técnico francés Charles Lebon, ganando el contrato del alumbrado público por gas de la ciudad de Barcelona [15]. Este terreno, junto al litoral, lugar despejado y libre de edificaciones, reunía las características necesarias para alojar la industria gasista y la construcción de gasómetros, por lo que en 1842, el mismo año en que la Barceloneta es bombardeada por las tropas de Espartero, previo permiso de la autoridad militar que todavía contaba con cuarteles en la zona, se comienza a construir la primera fábrica de gas manufacturado del país. Así nace la Sociedad Catalana para el Alumbrado de Gas en 1843, que por contrato público, sufragaba los gastos de conservación de las instalaciones de gas en la ciudad y proporcionaba alumbrado interior a hospitales, cuarteles y colegios en sustitución de los candiles y antorchas de aceite; poco más tarde empezaría a dar alumbrado en los domicilios y en los comercios.

En 1862, se plantean algunas reformas urbanísticas en la ciudad, como la desaparición de las murallas y el inicio de la construcción del Ensanche. La Barceloneta sigue extendiéndose hacia el norte, hasta las vías



Figura 18. Arco del Triunfo. "Eje monumental" de Barcelona.

del tren y se propone unir las manzanas de dos en dos, suprimiendo la mitad de las calles interiores y transformándolas en patios de manzana. Se inicia un proceso de densificación en altura que se sumaba a la densificación interior de los edificios [13].

La Ciudadela fue demolida definitivamente durante la revolución de 1868 y en 1873 las instalaciones de la fábrica de gas van creciendo, hasta llegar a la altura de la plaza de toros, muy cerca de las líneas del tren y de la Ciudadela. Las actividades industriales se consolidaban y extendían en el perímetro del barrio. La Barceloneta se convierte en la ubicación industrial idónea para la ciudad, hasta convertirse en una de las cunas de la industria mecano-metalúrgica catalana. La Exposición Universal de 1888 supuso la recuperación del espacio de la Ciudadela militar para la ciudad, reconvertida en un gran parque urbano que acoge en su interior la prolongación del paseo de San Joan, a través del Arco del Triunfo, y cuya continuidad visual - Miralles lo llama el "eix monumental" - dirige hacia el solar en cuestión. También se realiza la construcción de un mercado central de abastecimiento y La Estació de França [12].

En 1893 el arquitecto modernista Josep Domènech i Estapà recibe el encargo del edificio de la Sociedad catalana de Gas y Electricidad en la calle Portal del Àngel. En 1906, Domènech construye el elemento más singular: la Torre de las Aguas, con un depósito cilíndrico de 450 m³.

Al comienzo del s.XX, la buena accesibilidad a la playa del barrio -el resto del frente marítimo estaba ocupado por instalaciones industriales y el paso de tren- convierte la Barceloneta en uno de los espacios de ocio más importantes de la ciudad. La extensión y el éxito de las actividades ligadas a la playa y al mar se completaron un año antes de la Exposición Internacional de 1929, con la construcción de los baños y el casino de Sant Sebastián, al final del Paseo Nacional. La Escola de Mar y el Hospital de Infecciosos completaban el programa de revolución higienista que los tiempos modernos de la II República implantaron en la sociedad [12].



Figura 19. Torre de las Aguas_La Barceloneta

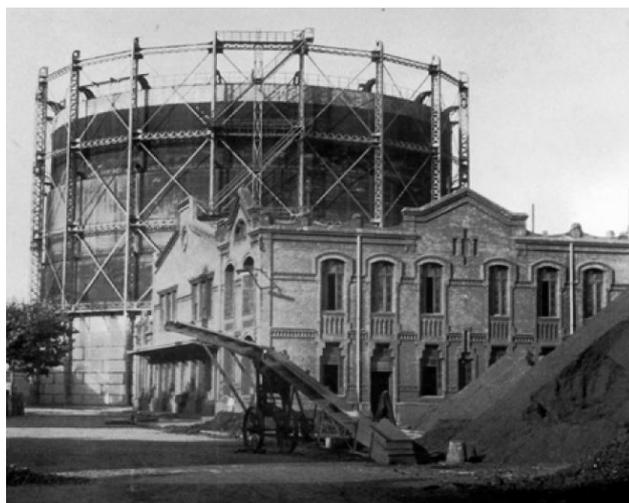


Figura 20. Gasómetro. Antigua fábrica de Gas_La Barceloneta.

En 1912 se constituirá Catalana de Gas y Electricidad para competir con otras nuevas empresas basadas en energía hidroeléctrica. Ese mismo año en Madrid se fundará Union Eléctrica Madrileña [15]. En 1924 el Torín es clausurado, los terrenos de la plaza de la Barceloneta pasaron después a la Sociedad Anónima Plaza de Toros de Barcelona, constituida en 1893 [14]. Más tarde, al disolverse ésta sin liquidación, una porción del terreno original fue adquirida por Catalana de Gas y fue ocupada por un campo de fútbol para los empleados de la fábrica. El solar que Miralles ocupó en el concurso empieza a definir sus límites.

Entre 1936 y 1939, durante la Guerra Civil, los bombardeos de la aviación fascista tuvieron como uno de sus principales objetivos el puerto de Barcelona. El más importante en intensidad fue el asedio que vivió el puerto entre mayo y junio de 1938. (Figura 21)



Figura 21. Bombardeo 1937. Comissariat de Propaganda de la Generalitat de Catalunya.

La década de los años cuarenta y cincuenta presenciaron la densificación del barrio con la intensificación de las alturas de los edificios que en ningún momento respetó las fachadas históricas de los edificios. También se sumaba el gran asentamiento de barracas sobre la playa.

En los años 60, se produce un gran desarrollo tecnológico en el país y en las instalaciones de la fábrica. Se consigue iniciar el suministro de gas natural directo gracias a acuerdos con Argelia y Libia, y construir el primer metanero español con tecnología criogénica [15].



Figura 22. Gaseoducto en la Barceloneta. Actualidad.

Una década más tarde tras una importante internacionalización y modernización, la compañía, resultado de la fusión de todas las distribuidoras de gas del país bajo el nombre de Gas Natural regresa al origen, a su lugar de nacimiento, estableciendo esta ubicación para su nueva sede, cuya proximidad a la antigua Ciudadela, junto a la coexistencia de las antiguas arquitecturas del Torín y el baluarte de Don Carlos dejan la traza de la destrucción en su memoria[12].

Con el "Plan Parcial de Ordenación Urbana de la Ribera de Barcelona", propuesto por una sociedad creada por iniciativa vecinal y apoyada por empresas como Catalana de Gas o RENFE, se plantea la remodelación de todo el frente marítimo desde la Barceloneta. Algunas industrias ya habían abandonado los terrenos de la Barceloneta en sus éxodos a nuevas zonas industriales de Barcelona y es a partir del 1971, cuando las líneas de producción de la factoría de la Barceloneta dejaron de fabricar gas manufacturado, iniciándose desde esa fecha el cierre de gasómetros, tuberías, iniciando un proceso de introducción de nuevos usos cívicos en las antiguas instalaciones. En 1986, Catalana de Gas cedió a la ciudad terrenos que poseía en la Barceloneta y otras zonas, planteándose la transformación de los equipamientos de la empresa con la creación de un gran parque urbano que enlazara con el de la Ciudadela y en el que aún hoy, testigo de su trabajo, quedan la torre de las Aguas restaurada, el almacén desnudo de un gasómetro y un pabellón de oficinas. En 1989 cerraba definitivamente la centenaria fábrica que sirvió gas desde la Barceloneta a la ciudad de Barcelona cerca de un siglo y medio[12].



Figura.23. Gaseoducto. Torre Gas Natural al fondo. Actualidad.

"Tres son los "valores simbólicos" de la sede de la firma: un edificio transparente que "expresa la manera de trabajar ética y constructiva"; la ubicación, integrada en el barrio de la Barceloneta y que supone un "reconocimiento a la historia", y el Mediterráneo, que "representa el sentido internacional de la compañía y el impulso de moverse por todo el mundo"[16]." Gabarró, Salvador. Presidente de Gas Natural.

Reclamar la ~~seu~~ transformació urbana dels carris de
pedra als seus voltants...



e incorporar la memòria de les velles construccions del 900 i

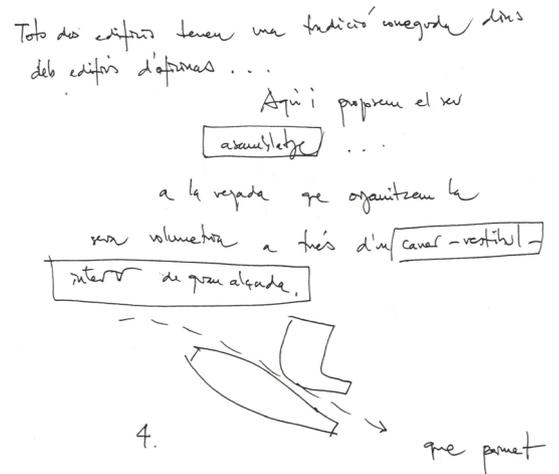
2. EL PROYECTO

APROXIMACIÓN ARQUITECTÓNICA



front me pose porta que permet
dirigir al baix de la finestra...





2.1. ENTORNO E IDEA

Las grandes firmas que levantan rascacielos para alojar sus oficinas buscan en ellos una potente imagen que los identifique y que asuma, en consecuencia, la función simbólica y de representatividad de la marca. La arquitectura se convierte así en el emblema más significativo de la empresa. Y ambas, corporación y arquitectura, se refuerzan y potencian mutuamente[17].

En julio de 1999, se convoca el Concurso de Ideas restringido[1] para construcción de la nueva sede de Gas Natural en el antiguo solar de la empresa en la Barceloneta. Buscando la perpetuación de la historia de la compañía, se convocan únicamente a ocho equipos de arquitectos catalanes. El jurado, después de estudiar todas las propuestas, acuerda por unanimidad la selección de dos de ellas (las realizadas por los equipos de Martínez Lapeña-Torres y Miralles-Tagliabue), quedando la decisión definitiva en manos de la compañía, que finalmente se decanta por la propuesta de EMBT, de la que destacan que "constituye una apuesta por el futuro, un intento de invención de una nueva tipología de edificio en altura, altamente representativo que, al mismo tiempo,

Figura 24. Bocetos de ideación de E. Miralles.

aporta espacios públicos de gran calidad, [...] supone una apuesta por la arquitectura inédita y por la experimentación, intento que puede ser positivo para la empresa y para la ciudad al poder disfrutar de una obra tan impactante y sugerente"[12].

La experimentación es el rasgo con el que se identifica la empresa, a la vez que se valora el impacto y la sugerencia de la imagen que propone Miralles, no mencionando en ningún momento la palabra "torre" o "rascacielos", lo que parecería rechazar el diálogo con la historia del lugar, hablándose de una nueva tipología[18].

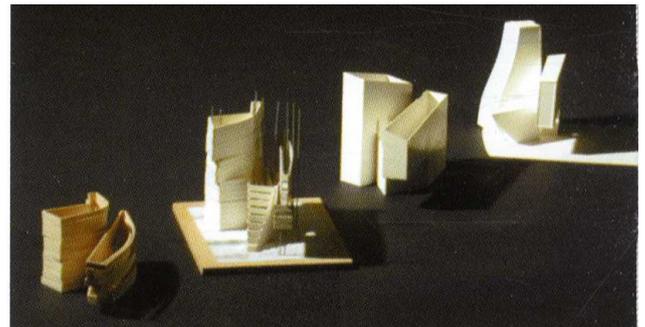


Figura 25. Maquetas previas de trabajo. Edificio Gas Natural.



"Huye de considerar los edificios en altura desde cualquier apriorismo"[19]. Como afirma Lahuerta, Hans Scharoun era uno de los arquitectos favoritos de Miralles, y el proyecto del complejo de apartamentos Romeo y Julieta (1954) en Sttocarda un referente visual que permite explicar el nuevo proyecto de EMBT. Romeo una torre compacta. Julieta un bloque horizontal. Pero no solo es este el proyecto del admirado Scharoun que presenta semejante composición. La Bolsa de Königsberg (1922), y el Palacio de negocios en la Friedrichstrasse de Berlín (1921) son otros ejemplos[2].

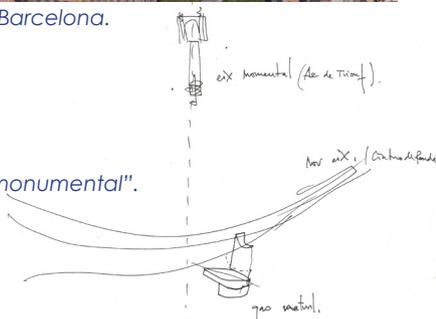
Figura 26. Complejo residencial Romeo y Julieta_ Zuffenhausen, Stuttgart

Desde los primeros esquemas en planta se aprecia que el edificio no es indiferente al lugar donde se encuentra y se deja formar por todas las fuerzas, movimientos y trazos urbanos que confluyen en el punto en el cual va a ubicarse: se sitúa de forma tangencial a la ronda litoral, absorbiendo la potente fuerza del cinturón y las vías del tren que llegan a la Estación de Francia, todo el tránsito de coches y gente, que pasa y que observa el edificio y con cuya rapidez debe relacionarse[20], manteniendo además un diálogo sordo con el eje monumental de la ciudad y su Arco de Triunfo de la exposición de 1888 (Figura 27 y Figura 28). También pretende establecer diálogo con la fuerza de la ciudad olímpica y su crecimiento, y hacer una relación con la geometría de las torres olímpicas[21] aspirando a representar una puerta al barrio de la Barceloneta, con su tejido más plano y finalmente al mar, cuya continuidad y relación con la ciudad estaban interrumpidas[22].



Figura 27. Vista aérea Barcelona.

Figura 28. Conexión con el "eix monumental". Boceto de Miralles.



Partiendo de las características del emplazamiento, Miralles define la operación arquitectónica como un "ensamblaje"[23], una macla de dos modelos (que se realiza literalmente en las maquetas): el modelo A, la torre en altura, que pronto encontrará su homónimo en las torres análogas del cinturón litoral que rematan el eje monumental de Rambla Marina; y el modelo B, el bloque horizontal, en voladizo, un "rascacielos horizontal"[21] con el que incorpora el "dinamismo estático" de las vanguardias rusas[2] (Figura 29) y que se reconoce en las tradicionales y vecinas construcciones de la Barceloneta, constituyendo una nueva puerta urbana de acceso a éstas, generando a su vez una gran plaza pública delante del edificio, regalando parte del terreno a la ciudad[20] y haciendo participe al peatón de la actuación arquitectónica, culminando así una coherente operación de simbiosis con el entorno.



Figura 29. Wolkenbügel (1925) El Lizzizky. Vanguardia Rusa.

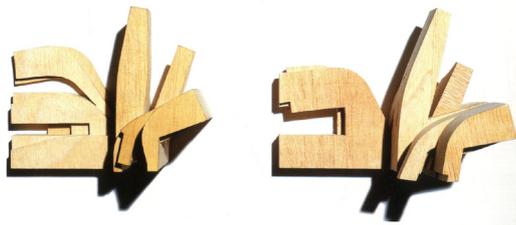
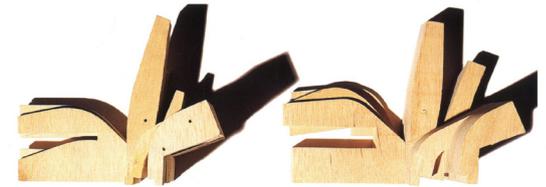


Figura 30. Maquetas de trabajo a partir de estratos.



Entre ambos modelos, en el campo ambiguo de la figuración, aquél en el que muchos de los proyectos de Miralles parecen definirse[12], aparece un volumen recortado que parece evocar las ruinas de los descarnados edificios de la Barceloneta tras el bombardeo de 1938 (Figuras 31a-31b): "Un día con un lápiz, rellenó en una de las perspectivas el espacio comprendido entre los bloques, que descubrirían, recortada en el cielo, una llama". Llamas de gas, como las que producen muchas de las bombas que asolaron la historia del lugar, Destrucción, como proceso creativo[12].

Sin embargo, antes de llegar a una volumetría concreta con estos dos modelos, Miralles trabaja con piezas arquitectónicas "eminentemente horizontales" sucesivas, en las que lo que va cambiando y generando el resultado final es la huella (el contorno de la planta) y el espesor (nº de plantas) de cada estrato.(véase Anexo I, pág. 74) Más que de una superposición se puede hablar de una apilación[7] (Figura 30), producto de considerar los edificios en altura, por razones de densidad, como algo donde fienes que ir almacenando cosas ("conglomerate"[20]), mirando más allá del apriorismo formal, estilístico o icónico[19].



Figura 31a y 31b. Volumen quebrado. Evocación de la ruina.



Figura 32. Fachada dorsal del Edificio Gas Natural. Edificio Torre.

Un almacenamiento en vertical del que el propio arquitecto pudo tomar nota al observar la instalación de Rebecca Horn en la playa de San Sebastián, El lucero herido (1992). Un homenaje a las arquitecturas efímeras y populares que desaparecieron en el Paseo de la Barceloneta. Una escultura que formaba parte de un recorrido que unía el barrio de la Ribera con el de la Barceloneta. Una torre formada por cuatro habitáculos irregulares, en equilibrio inestable, a punto de caer en cualquier momento. Quizás la instalación de Horn si sea una auténtica torre. Cajas amontonadas de la memoria[12].



Figura 33. El Lucero Herido_La Barceloneta.

2.2. FORMA Y VOLÚMENES

Gas Natural quería un edificio reconocible y singular. Se hizo un gran esfuerzo para poder construir en esa parte de la Barceloneta con una altura y una volumetría que no se podían plantear hasta entonces. No obstante, el hecho de limitarse la altura máxima a 20 plantas[20] fue uno de los determinantes para distribuir el programa y esculpir el edificio en varios volúmenes.

El interés volumétrico de la propuesta es la fragmentación del volumen edificable en una serie de construcciones que al final se maclan entre sí para formar un volumen unitario[24] con una intensa colaboración visual y estructural. Desde la fase de proyecto básico, se denominó a cada uno de estos cuerpos mediante términos fácilmente comprensibles y descriptivos de su forma, para ayudar a la localización y rápida identificación. Éstos, pronto fueron tomados tanto por los operarios durante el desarrollo de la obra, como por los trabajadores de Gas Natural una vez ésta concluyó, por lo que, a partir de ahora, en el presente documento nos referiremos



Figura 34. Edificio Gas Natural. Vista bajo el edificio 'Portaaviones'.

a cada una de las partes del edificio en estos mismos términos, los cuales son (Figura 35):

- **“PORTAAVIONES”**. Potente cuerpo alargado de 5 plantas (6 forjados, más una planta superior para instalaciones), una de cuyas mitades longitudinales sobresale horizontalmente en voladizo respecto al resto, con un vuelo de 40 m, y queda situado a 20 m de altura sobre la plaza inferior sobre la que se sitúa el complejo.

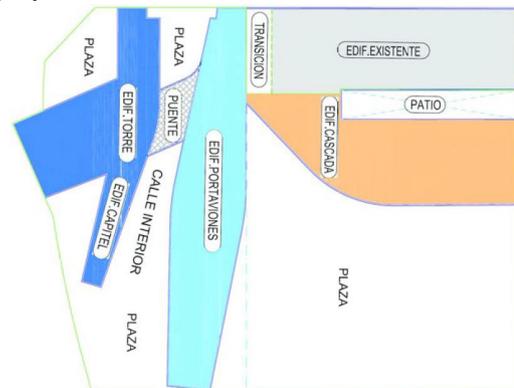


Figura 35. Planta general del complejo.



Figura 36. Edificio 'Torre'.

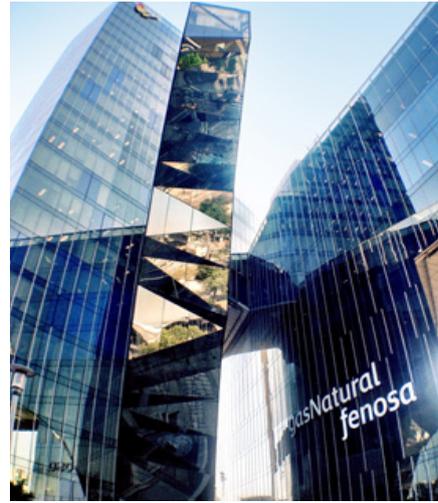


Figura 37. Edificio 'Capitel'.

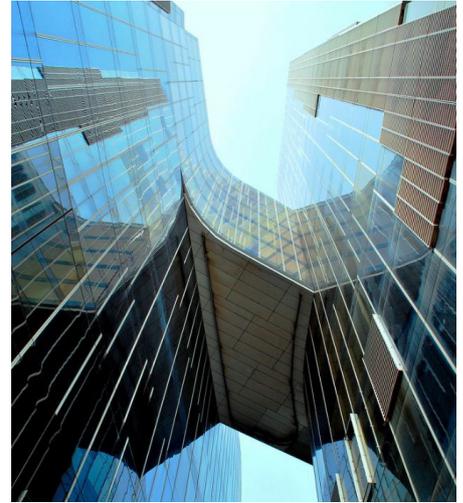


Figura 38. Edificio 'Puente'.

- **“TORRE”**. De carácter convencional, aunque subdividido en dos zonas de diferentes alturas: una, al norte, colindante con la Ronda Litoral, de 20 plantas (21 forjados) más la planta baja, más además dos niveles superiores exteriores con acceso restringido para instalaciones y que suponen la coronación de los núcleos de comunicación vertical; y la segunda, definiendo dorsalmente la transición con el edificio preexistente, de 12 (13 forjados) más la planta baja, que se macla en su parte superior con el edificio Puente y con el edificio Portaaviones en su parte intermedia.

- **“CAPITEL”**. Cuerpo de 7 plantas (8 forjados), que marca tangencialmente el acceso principal del edificio y que está conectado desde su arranque con la Torre. Recibe este nombre por su parecido a la forma con que se remata una columna corintia, al presentar en su frente exterior una serie de “volutas” en forma de superficies curvadas o poliédricas, que van sobresaliendo en voladizos crecientes con la altura.

- **“PUENTE”**. Pequeño cuerpo de 5 plantas (6 forjados) de altura que ocupa los niveles 8 y 12, ambos inclusive, y que se sitúa sobre la calle interior de acceso principal, uniendo los edificios Torre y Portaaviones formando la pieza que su nombre indica.

- **“PÉTALO”**. Pequeño cuerpo inferior de 4 plantas, ubicado bajo el Portaaviones y que se encuentra en contacto con él (aunque más tarde veremos que sus sistemas estructurales son independientes frente a las cargas verticales) con su vértice frontal dispuesto bajo la zona volada. Horizontalmente deja una amplia zona abierta entre su remate superior y el fondo del portaaviones.



Figura 39. Edificio 'Pétalo', bajo 'Portaaviones'.

- **“CASCADA”**. Bloque de 3 plantas más la baja (4 forjados) muy compacto, cuya fachada dorsal se une parcialmente en planta con un edificio preexistente y con el cual forma también un patio semiinterior que sirve de acceso al garaje del sótano. En su fachada frontal hacia la plaza, las plantas se disponen sucesivamente retranqueadas desde la primera hacia arriba, creándose la especie de cascada que origina su nombre. Bordes exteriores principales curvos desfasados en forma escalonada.

Todo el conjunto antedicho se completa con un **ZÓCALO DE TRES SÓTANOS**, que ocupa la totalidad del solar, dejando libre en planta baja, al nivel de calle, una gran plaza de carácter público, ajardinada, que libera y da amplia espacialidad a todo el complejo, el cual está dispuesto en la esquina más alejada de las edificaciones próximas ya construidas en la zona[25].

Como contrapunto, la esbelta torre establece relaciones con un territorio más amplio, dialogando con otras construcciones similares: aquellas que han ido aflorando a lo largo del litoral marítimo barcelonés - enumeradas de Norte a Sur, las Tres Chimeneas de Sant Adrià, el Parc del Fórum de Herzog & de Meuron y el Parc Diagonal-Mar, las Torres Olímpicas (Mapfre) que hoy albergan oficinas (Iñigo Ortiz-Enrique de León) y el Hotel Arts (Bruce Graham), el Parque de Investigación Científica, el World Trade Center y el Hotel Vela de Ricardo Bofill[26] - a los que se le unen además otras, dispersas por distintos puntos de la ciudad, como la Sagrada Familia de Gaudí o la Torre Agbar de Jean Nouvel en la Plaza de las Glorias, creando una malla de hitos que puntean el perfil reciente de Barcelona y contribuyendo a esa escala global y configurando así un nuevo skyline, alterando pero enriqueciendo la silueta la ciudad[17] (Figura 40).

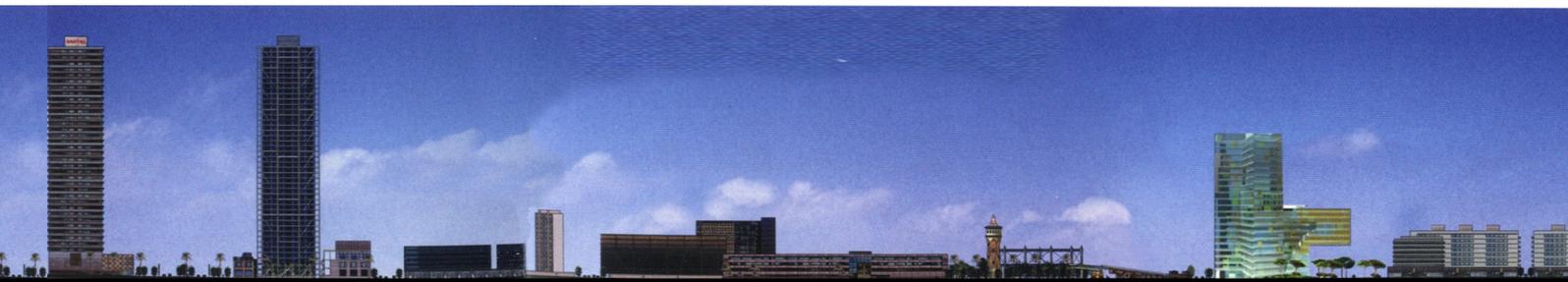


Figura 40. Cinturón litoral. Skyline.

La configuración volumétrica definitiva tiene la voluntad clara de adaptarse a varias escalas, que se solapan y se fusionan en la misma obra.

En primer lugar, la creación del ya mencionado espacio público singular hace que la construcción descienda hasta el suelo, hasta formar un paisaje urbano de diferentes dimensiones[24] a escala de peatón, mostrándose un respeto por las reducidas dimensiones de las edificaciones que forman la Barceloneta mediante volúmenes abstractos de menor entidad que se confunden con ellas, ya sean las antiguas casas de pescadores o los bloques de no más de cinco plantas[12] a lo largo del cinturón.



Figura 41. Cinturón litoral (Torres Olímpicas al fondo).

2.3. ORGANIZACIÓN: PLANTAS Y USOS

Como resulta evidente al tratarse de las oficinas de una gran corporación, el uso principal de edificio es administrativo. La organización interior de la sede responde a dos criterios: la funcionalidad propia de este tipo de edificios y la ubicación de todo el personal de la compañía en el edificio, aproximadamente un millar de personas, que antes estaban diseminadas en varios emplazamientos. Los espacios se caracterizan por sus vistas espectaculares al exterior, la transparencia y la luminosidad.



Figura 43. Auditorio en sótanos 1º y 2º.

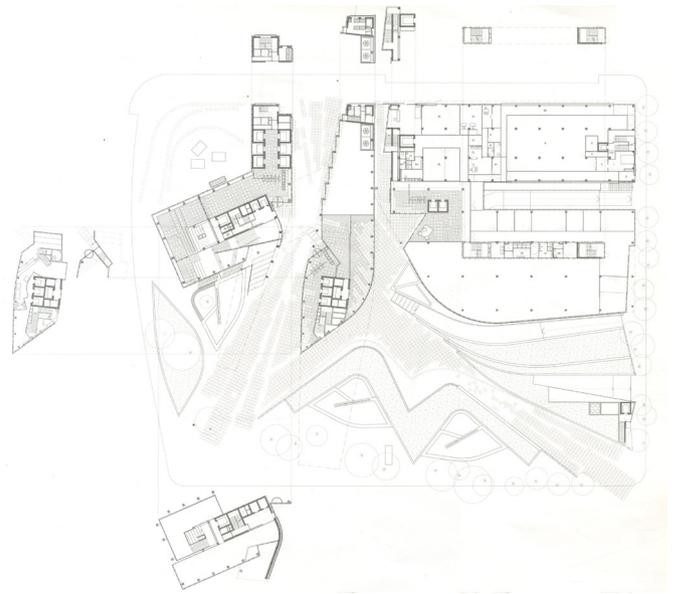


Figura 42. Edificio Gas Natural. Planta de cota cero: Hall + Plaza.

El edificio dispone de una parte enterrada con tres plantas de sótano, destinadas principalmente al estacionamiento y dotadas con 553 plazas, 150 de ellas alquiladas a vecinos de la zona. También se ubica un auditorio con 142 plazas, al que se accede tanto desde el primer como el segundo sótano, así como las principales salas de instalaciones del edificio: aljibes, salas de bombas, salas de máquinas, áreas técnicas de los fosos de los ascensores, trasteros y almacenes. En el nivel -1, bajo la huella del edificio Cascada, se encuentran la sala de baterías, la sala de S.A.I.S, la central telefónica, el centro de transformación y seccionamiento, las instalaciones de baja tensión y los vestuarios de los trabajadores[17].

Sobre la rasante, a nivel de planta baja cabe destacar el acceso principal, con los correspondientes vestíbulos de comunicación vertical y una sucesión de escalinatas y atillos que conectan con las diversas partes del edificio desde el espacio exterior pasante, entre el edificio Torre y el Pétalo, cubierto parcialmente por el edificio Puente.

El uso de las transparencias y la continuidad de los pavimentos hacen que éstos sean espacios en los que se funden y confunden la delimitación entre el interior y el exterior, creándose una transición casi intangible entre el interior del edificio y la plaza pública exterior.

En el edificio Cascada, en planta baja, se disponen espacios destinados a distintas instalaciones como el centro de procesamiento de datos o el depósitos de gas-oil, y distintos espacios relativos a la dotación de servicios, como el muelle de descarga, la consulta médica que la compañía oferta a sus empleados con la correspondiente sala de curas, varias aulas para la formación y el estudio, la administración o el archivo.

En las sucesivas plantas, se encuentran los espacios de trabajo propiamente dichos: despachos, salas de reuniones, etc. que se configuran y compartimentan con un sistema de mamparas divisorias. A medida que vamos escalando en las alturas del edificio vamos encontrando los departamentos más importantes de la empresa. En las plantas superiores, por tanto, se encuentran los despachos del consejero delegado y del presidente, así como la sala del consejo de administración, con sala de espera, secretaría y conserjería, cocina y lavabos.

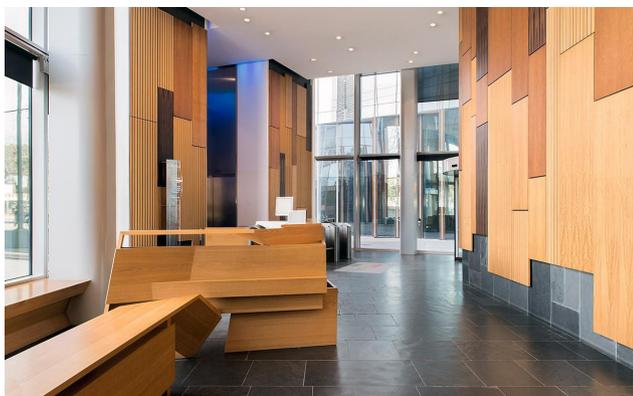


Figura 44. Hall de acceso.



Figura 45a y 45b. Sistema de escalinatas y altillos de acceso.

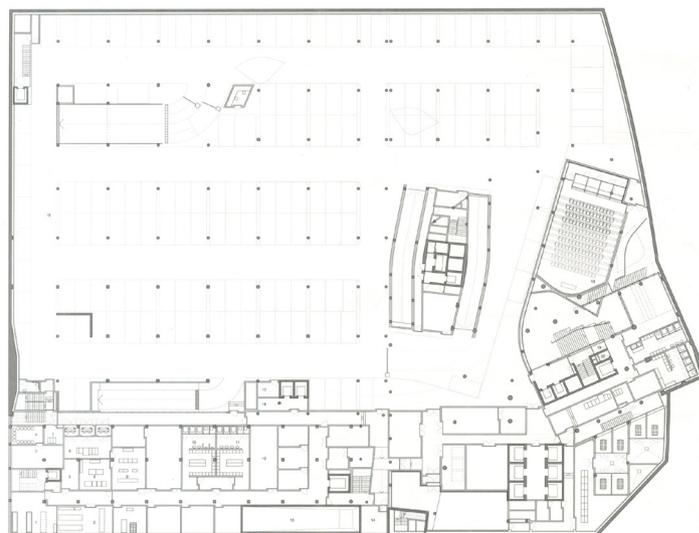


Figura 46. Sótano -1: Parking + Servicios + Auditorio.

No existen grandes lujos. El edificio no dispone de restaurantes -los hay a pocos metros; la zona es turística-, pero cuenta con comedores para los empleados en cada planta.

En las instalaciones también existe una sala polivalente, que acoge exposiciones temporales del Museo de Arte Contemporáneo Gas Natural Fenosa y un espacio para reuniones por videoconferencia avanzada[27].

2.4. MATERIALIDAD

FACHADAS

La fachada destaca como la parte más intensa del lenguaje constructivo del edificio. En ella, una delicada retícula de vidrios de diferente luminosidad, opacidad y transparencia, fabricados específicamente para darle una deformación milimétrica reflectante, provocan una "vibración continua"[22], un ritmo inestable que crea imágenes cambiantes "que oscilan como si fueran una llama de gas"[28] y que entran en diálogo con los cambios de claridad y nubosidad del cielo marítimo de Barcelona.

Las rejillas de ventilación y montantes de aluminio del muro cortina escalan verticalmente esta fachada con un ritmo irregular, desdibujando en un juego de ambigüedades la horizontalidad de los volúmenes superpuestos con la verticalidad de la torre[7]. La fachada está modulada en planta siguiendo el módulo de 60 cm. En altura se siguen distintos módulos que se adaptan a la altura de los forjados, acoplándose siempre a los falsos techos y a los suelos técnicos.



Figura 47. Muro cortina. Vidrios con distintos aplomos y tonalidades.

Para la limpieza de la fachada, se propone una solución consistente en la instalación de únicamente 5 góndolas en las cubiertas de los edificios.



Figura 48. Montaje del muro cortina en edificio 'Capitel'.



Figura 49. Montaje del muro cortina en 'Portaaviones' y 'Torre'.

SUELOS

Los suelos técnicos del edificio de oficinas están realizados con pavimentos elevados registrables de aglomerados de alta densidad a base de sulfato de calcio. Estos suelos están enteramente modulados en piezas de 60x60x3 cm.

El perímetro de entrega de estos suelos con las distintas fachadas es continuo.



Figura 50. Suelo técnico registrable.

FALSOS TECHOS

Se compone de bandejas de acero brillante anodizado, las cuales siguen un módulo de 30x120 cm. Los espacios intersticiales, resultado de las formas irregulares en planta, se han construido con cartón-yeso tipo Pladur de 60 mm para facilitar la entrega con el falso techo.

En torno a la fachada se sitúa un perímetro conformado con placas de módulo 30x120. La disposición de las placas se ha realizado partiendo de las fachadas y marcando perpendiculares a éstas, llegando de forma oblicua al eje del edificio.



Figura 51. Falsos techos aluminio y forro de pilares y diagonales.

MAMPARAS Y ACABADOS INTERIORES

El conjunto de las plantas del edificio se han pensado para albergar oficinas compartimentadas con un sistema de mamparas divisorias siguiendo el módulo de 60 cm.

Se opta por un sistema de mamparas divisorias de la firma DESMON, que permite realizar tanto las entregas de arranques, como de finales de manera perpendicular u oblicua contra cualquier paramento vertical (otras mamparas, fachadas o paredes).

Para su correcta instalación, no es necesario que las mamparas estén sujetas a los perfiles de fachada o de falso techo, siendo esta una opción que responde a criterios estrictamente visuales o estéticos[29].

Observamos, además, que los acabados de estas mamparas, así como de los demás paramentos verticales, varían en función del nivel en que nos encontremos dentro del propio edificio -recordemos que los despachos de mayor entidad se encuentran en las zonas más altas, por lo que el material de acabado se dispone acorde a esta circunstancia- o del uso al que esté destinado cada espacio dentro de una misma planta. De esta forma, existen acabados en madera, lisa o con diferentes texturas y tonalidades (Figuras 51a y 51b) para el Hall y los despachos principales, mientras que se utiliza un acabado blanco neutro para las zonas de trabajo



Figura 52a y 52b. Acabados en plantas superiores. Despachos.

INSTALACIONES CLIMATIZACIÓN (véase Anexo I, pág.74)

El sistema elegido para climatizar los distintos edificios es el VRV (Volumen Refrigerante Variable): la variación principal llevada a cabo en la aplicación de este sistema para este proyecto es la colocación de las máquinas exteriores en cada una de las plantas en lugar de en cubierta, concretamente en un conjunto de salas que ventilan al exterior a través de grandes aberturas en las fachadas. Para integrar este conjunto al resto de fachadas se ha proyectado un tipo de rejilla especial.



Figura 53. Disposición de unidades exteriores de climatización.

El sistema se complementa con las máquinas interiores situadas en los falsos techos de las oficinas. La aportación y extracción de aire se hace a través de grandes conductos situados en los núcleos interiores de las plantas.

En las cubiertas de los edificios se colocan los ventiladores que impulsan y extraen el aire. Junto a estos ventiladores se colocan los extractores de aire de los servicios y los que garantizan la presurización de los vestíbulos de independencia y de las escaleras especialmente protegidas.

Existe un sistema de climatización exclusivo para el auditorio del edificio: un sistema por aire cuyas máquinas se sitúan junto al patio del auditorio, en el sótano del edificio.



Figura 54. Paso de instalaciones a través de los alveolos.

3. LA ESTRUCTURA. DESCRIPCIÓN Y MODELIZACIÓN



3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Una vez hemos realizado el análisis más genérico del edificio, abordando sus aspectos puramente estéticos y funcionales, vamos a adentrarnos en el estudio particular de la estructura y sus componentes. Pese a no habernos referido a ella explícitamente todavía, muchos de los puntos explicados con anterioridad nos dan importantes pistas de como acometer el estudio estructural del edificio: expresiones como la búsqueda de un 'equilibrio dinámico' o una 'levedad' nos hará pensar en sistemas estructurales de gran ligereza. Además, el hecho de que el ejercicio compositivo del edificio implique la macla de dos tipologías diferenciadas con una clara connotación estructural -la torre, traducida en un elemento esbelto cuyas cargas gravitatorias producen una concentración de esfuerzos principalmente axiles en la base, y el voladizo, cuya definición misma nos evoca unas leyes de esfuerzos caracterizadas por un momento flector negativo que provoca tracciones en las fibras superiores de la sección y compresiones en las inferiores- hace que de alguna forma, de los apartados anteriores subyaga, sin citarla directamente, una solución estructural, un concepto físico-mecánico intrínseco en el proyecto y que Miralles ya comienza



Figura 55. Ejecución de la estructura.

a engendrar desde las primeras fases del proyecto y que Julio Martínez Calzón y la ingeniería MC2 [30] se encargan de diseñar y calcular, de manera definitiva.

El edificio en última instancia trabaja estructuralmente como un conjunto único. Pese a la particularidad de cada una de sus partes, todas ellas colaboran entre sí para la absorción de las distintas acciones, suponiendo un sistema con unas características globales de comportamiento, unas propiedades y unos elementos comunes. No obstante, la distinta configuración de la edificación sobre rasante -esbelta, compleja y ligera- y de la parte del edificio enterrada -compacta y relativamente simple- condujo claramente a un desdoblamiento lógico de sus estructuras: de carácter metálico-mixto dominante en todos los edificios exentos; y de hormigón para las zonas bajo rasante que, además debían situarse por debajo del nivel freático en tres cuartas partes de su profundidad.

En toda la parte edificada **sobre rasante** (salvo el edificio Cascada, que posteriormente trataremos) se plantean los siguientes criterios:

- Se utilizan **soportes** metálicos resistentes a las acciones verticales, exclusivamente. Se opta por aceros S275JR y S355J2G3 -utilización específica en casos de exigencias especiales de alta soldabilidad o de insensibilidad a la rotura frágil[31]- en la parte alta del edificio. Esto permite reducir las dimensiones en planta de estos elementos, reducir el peso y mejorar la economía de la solución. La gama de perfiles adoptados es HEB300 y HEM280 (versión pesada, más área)[32], ignifugados con sistema adecuado de acabado (forro). De esta forma, se limitan las dimensiones en planta a valores aproximados de 30 x 30 cm, incorporando en los casos necesarios refuerzos adicionales de chapa, dispuestos ligeramente rehundidos entre las alas, para mantener en toda su altura una presencia en forma de H y aplicar el revestimiento arquitectónico sugerido, que refleja una disposición no excesivamente compacta. La compleja disposición en planta de los edificios, con su maclado e interconexión, genera unas intersecciones de alineaciones, modulaciones y tramas entre sectores, que no pueden ser resueltas con una única disposición vertical de soportes, requiriéndose en muchas ocasiones interrumpir tales elementos o desplazarles unas distancias apreciables.[25]

- Los **forjados** son mixtos, de chapa plegada colaborante, armados con barras de refuerzo apropiadas para resistir las acciones de incendio por sí solas, sin necesidad de tratamiento ignífugo de la chapa metálica. El espesor total es de 16 cm (10 cm de capa de compresión maciza + 6 cm de chapa tipo QL60 de ROBERTSON de 1 mm de espesor) y se apoya en las viguetas transversales. Se realiza el macizado del canto total del forjado en las zonas en que los desvíos de las piezas inclinadas provocan fuertes transferencias de esfuerzos horizontales (p.ej: edificio capitel).

- Las **viguetas**, separadas unos 2,4 m entre sí, son perfiles IPE tipo S275JR con un canto máximo IPE220. De esta manera, el canto máximo de forjado+viguetas es igual a 38 cm permitiendo así holgadamente el paso transversal de instalaciones.



Figura 56. Vigas principales del edificio 'Portaaviones'.

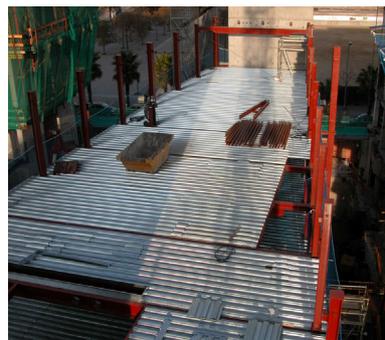


Figura 57. Ejecución del forjado colaborante.

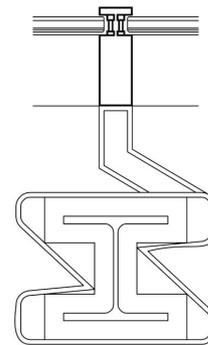


Figura 58. Pilar HEB con forro.



Figura 59. Pernos de conexión en alma superior de vigas.

- Estas viguetas se sueldan, apoyadas en casquillo inferior, a las **vigas principales** de tipo IPE-600 (máximo), alineándose sus alas superiores en un mismo plano de apoyo. Las vigas se conectan con la chapa a través de pernos para garantizar la colaboración mixta y el valor adecuado de las flechas y constan de alveolos circulares en su alma y acartabonamientos en los extremos, para el paso de las distintas instalaciones en los falsos techos.

Por otra parte en el volumen subterráneo del edificio, relativo al zócalo de sótanos, encontramos:

- La **cimentación** está resuelta con una losa de hormigón armado de 80 cm de canto con engrosamientos de 0,6, 0,8 y 1,2 m de canto bajo los núcleos de hormigón y los soportes muy cargados, en los que las acciones verticales no podían ser asumidas por dicha losa en solitario. Las armaduras están protegidas contra las filtraciones con una placa de tipo mixto que actúa como cámara para derivar las filtraciones del suelo hasta las cámaras bufas [25] de los laterales de las plantas situadas bajo nivel freático que recogen estas posibles filtraciones -de la losa y también de las pantallas- canalizándolas hasta los pozos de bombeo, incluidos en la misma losa, sin juntas de dilatación. Los fosos de ascensores se dispusieron con una pendiente del orden del 1% para conducir las eventuales filtraciones hasta los pozos de bombeo. El sistema se completa con un forjado sanitario tipo Caviti. La parte de la losa que no contiene el edificio en su parte superior, es decir la zona plaza pública, ha sido reforzada con un sistema de pilotes hincados prefabricados que trabajan como anclajes (tracción) para hacer frente a los esfuerzos ascendentes derivados de la subpresión del terreno[17].

- La **contención del terreno** se plantea mediante muros de sótano de 60 cm de espesor, arriostrados mediante anclajes al terreno, y 11,8 m de longitud hasta el plano inferior de la losa y otros 11m de empotramiento en el terreno bajo la cota de máxima excavación. La profundidad de las pantallas, a partir del citado borde inferior de la losa, debía atender no sólo a las consideraciones de empotramiento a flexión y transferencia de axiles provocados por las losas de sótanos y planta baja en dichas pantallas y las cargas de los eventuales soportes metálicos actuando en su coronación, sino al hecho de garantizar que en la fase de máxima excavación y con las peores condiciones de altura de la capa freática, no se produjera ni el sifonamiento de las arenas en el interior del recinto, ni la rotura del fondo de la excavación producida por el desequilibrio entre la subpresión y el peso del terreno confinado entre pantallas. Los desplazamientos



Figura 60. Losa de cimentación de los sótanos.

máximos horizontales de las pantallas de 21 mm en la coronación de las mismas y 31 mm en la zona intermedia entre anclajes y máxima excavación.

- En cuanto a las condiciones del terreno, la **tensión admisible** era $4,5 \text{ kp/cm}^2$, en la situación de mínima subpresión y el **coeficiente de balasto** considerado de $2,5 \text{ kp/cm}^3$.

- Los **forjados** de las plantas de sótano y de la planta baja son losas de hormigón de 28 cm y de 35 cm canto, respectivamente, articuladas en su encuentro con las pantallas perimetrales y con una única junta de dilatación entre la zona con edificios de altura y la zona básicamente de plaza en la planta baja. Los soportes son de hormigón armado o mixtos, de sección exterior circular en las plantas sótano de diámetros variables entre 30 y 60 cm[17].

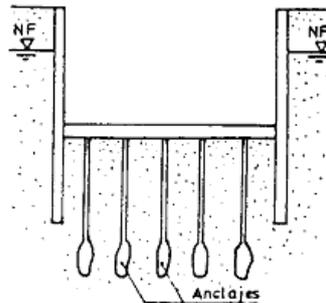


Figura 61. Esquema de cimentación.

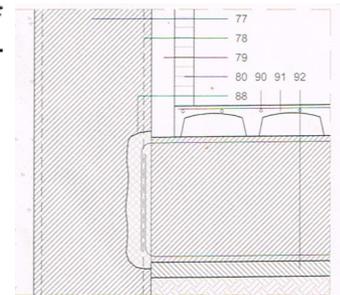


Figura 62. Sección muro de sótano y losa cimentación.

Entre estos dos sistemas tan dispares, fue necesario establecer una continuidad y una disposición estructural óptima que garantizara la interactividad entre ellos[25]. Para ello se dispusieron 6 núcleos de 25 cm de hormigón armado (2 de ellos en el edificio Cascada) que contienen las galerías de instalaciones verticales y las cajas de escaleras y ascensores[17]. Estos núcleos, a los cuales nos referiremos numerándolos del 1 al 6 (Figura 63), son los encargados de transmitir las cargas horizontales desde los forjados al terreno, a través del sistema de sótanos. Constructivamente, se ejecutaron mediante encofrados autotrepantes, en los cuales se dejaban ancladas las placas metálicas apropiadas para la posterior colocación de los casquillos de apoyo y fijación de las vigas metálicas de las plantas que apoyan en aquellos.

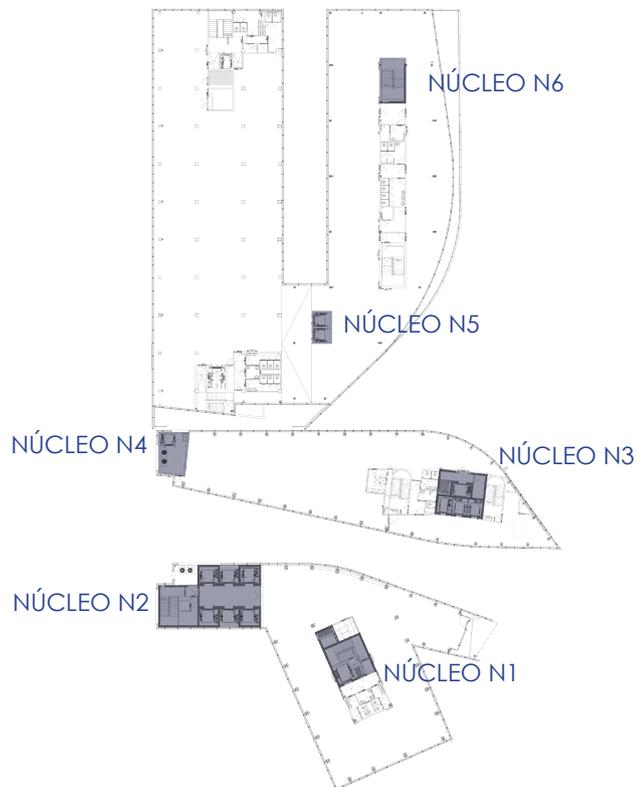


Figura 63. Planta general. Núcleos rígidos verticales.

Sin embargo, el objeto de este trabajo es estudiar y comprender la parte más singular del edificio, es decir, la que se encuentra sobre la rasante. Atendiendo solo a ésta, cabe decir que pese a las generalizaciones establecidas, lo cierto es que cada uno de los volúmenes característicos del conjunto -ya citados- posee una idiosincrasia propia, pudiéndose considerar, tanto por el sistema estructural específico que presentan como en la forma en que responden frente a las cargas, como cuerpos estructuralmente independientes. La disposición interconectada, con sus especiales ideas y formas arquitectónicas proponían un gran reto en relación a una resolución estructural armónica y regulada, no sólo en lo referente a las formas y dimensiones de los elementos a integrar, sino en sus aspectos tipológicos, resistentes y constructivos. Para ello se plantearon sistemas estructurales capaces de aprovechar las máximas dimensiones externas de las formas arquitectónicas requeridas, para lograr, disponiendo las piezas más ligeras posibles -y por consiguiente, más económicas- respuestas deformacionales de gran rigidez y máxima funcionalidad, aprovechando los grandes cantos de tales conjuntos. Pero, además, esta disposición también da lugar a conseguir procesos constructivos muy favorables, que aprovechan la capacidad autoevolutiva de estas tipologías* (véase Anexo II: Proceso constructivo) evitando el empleo de grandes cimbras o sistemas auxiliares provisionales importantes.



Figura 64. Encofrado autotrepante del núcleo N1.



Figura 65. Encofrado autotrepante de núcleos N1 y N3.

EDIFICIO PORTAAVIONES.

Esta pieza, que bien podría considerarse protagonista del conjunto, presenta un **gran cuerpo volado** de cerca de 40 m de longitud, casi 20 m de altura y está situado también a 20 m de altura sobre el suelo de la Plaza (Figura 66).

Estructuralmente, incorpora cuatro elementos característicos:

- El núcleo vertical N3 de hormigón, prácticamente centrado en el edificio
- El núcleo vertical N4 dispuesto en el extremo dorsal
- Dos grandes piezas de celosía dispuestas en las fachadas longitudinales del edificio Vigas celosía tipo "Pratt"
- Un potente sistema de suspensión en la coronación del núcleo N3.

La presencia del gran cuerpo volado requiere, para conseguir una adecuada funcionalidad, económica y constructiva, el empleo de un sistema de tipo "megaestructura", y no recurrir a sistemas de dimensiones discretas, de tipo planta a planta, porticadas.[25]

En primera instancia puede sorprender el hecho de que el volumen en ménsula posea, además del notable vuelo, un total de 5 alturas que se "levitan" sobre el vacío; 5 alturas, con sus correspondientes cargas

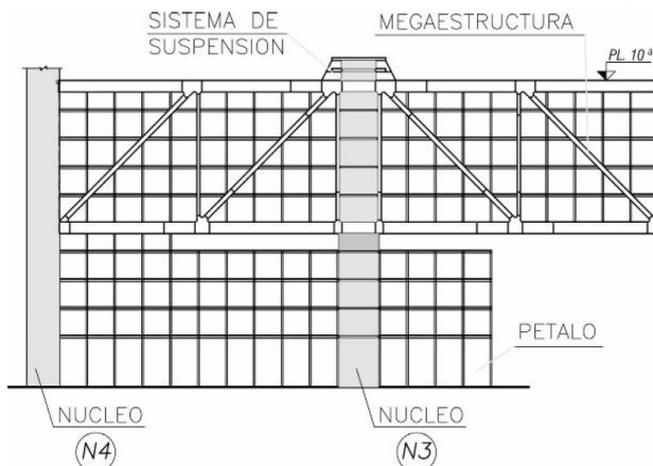


Figura 66. Edificio 'Portaaviones'. Esquema estructural.

gravitatorias, permanentes (forjados, cerramientos, tabiquería ligera...) y variables (sobrecarga de uso, nieve...), cuya acumulación origina una resultante importante. Sin embargo, el considerable canto ($5 \times 3,66 = 18,3$ m) es la clave estructural de este volumen, ya que se aprovecha para lograr la sobredimensión necesaria para alcanzar la inercia que se precisa mediante la colocación de sendas **vigas en celosía** tipo Pratt, en cada una de las dos fachadas longitudinales. El canto de esta forma, en relación con los 40 m de luz de voladizo definen una ménsula corta ($V/H = 40/18,3 = 2,19$), colaborando de forma extraordinariamente eficaz frente a las acciones de uso y en especial, a las debidas al sismo en su componente vertical.[5]

Cada una de estas celosías presentan dos módulos a cada lado del núcleo central N3 y reciben la práctica totalidad de las cargas verticales del volumen a través de los soportes verticales, únicamente situados en las fachadas longitudinales, integrados en los planos de la celosía. Para lograr que el cruce de las diagonales de los módulos de celosía se produzcan siempre a la altura de los forjados, la relación de altura y modulo de fachada deben ser constantes : cada celosía tiene módulos de 18 m (5 módulos de soportes de 3,60 entre los montantes) por 18,30 m de altura (5 plantas de 3,66 m), dando lugar a diagonales ideales de 25,67 m entre ejes de nudos.



Figura 67. Ejecución de la estructura del 'Portaaviones'.

Todas las barras de esta gran estructura exterior se disponen con secciones en cajón de 30 cm de anchura que permiten su integración en las fachadas y presentan espesores importantes de chapas, con un máximo de 80 mm; utilizándose en ciertas zonas acero especial S460M, laminado termomecánico de grano fino[33] para conseguir tales condiciones.

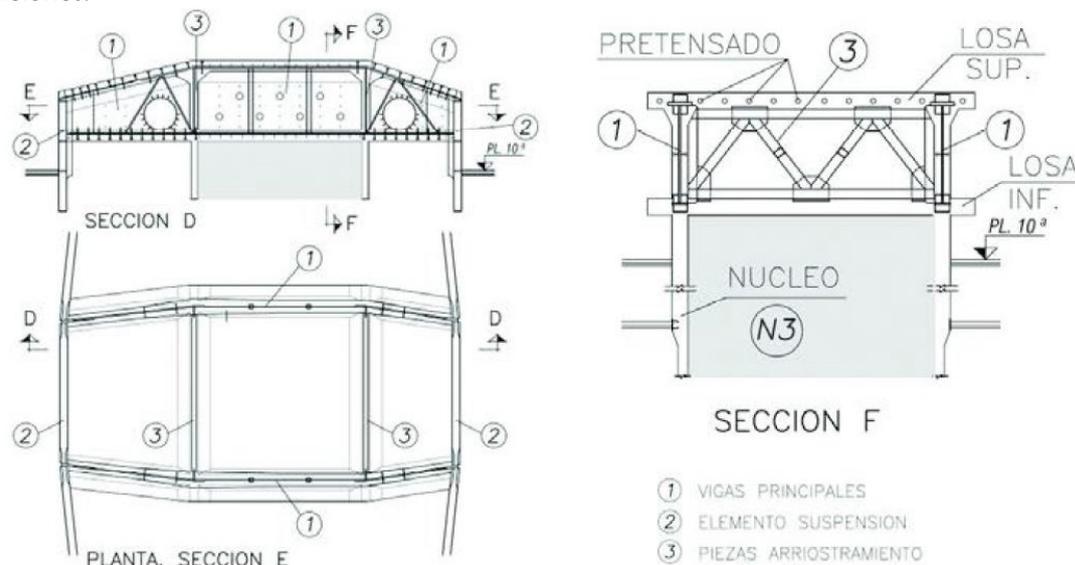


Figura 68. Viga cajón de suspensión. Detalle constructivo.

El uso de **aceros en calidad S460** para perfiles estructurales presenta varias ventajas para la construcción de edificios en altura y rascacielos gracias a su óptima relación entre coste y eficiencia: su superior resistencia permite reducir el tamaño de los perfiles y de esta manera construir edificios más ligeros con la misma seguridad estructural.

Se fabrican por laminación termomecánica (el nombre correcto es S460M o S460ML según la norma europea EN10025:2004), un proceso que afecta a la composición química del material y reduce el contenido de impurezas. Ésto se traduce en mejor soldabilidad, ya que generalmente los perfiles no requieren precalentamiento, permitiendo de esta manera reducciones adicionales de coste y tiempo. Otra ventaja es el hecho que se necesita menos material de soldadura debido al menor tamaño de los perfiles en S460.

Dependiendo de la aplicación, la reducción del peso al usar S460 (en comparación con S355) se encuentra en general entre un 10 y un 30 por ciento. Para pilares, el peso se puede reducir una media del 15% y las cerchas normalmente son de un 20 a un 30% más ligeras.

Por lo tanto los perfiles en calidad S460 se usan normalmente para pilares en edificios en altura, puentes de luces cortas o medianas y como diagonales o tensores en cerchas. [33]

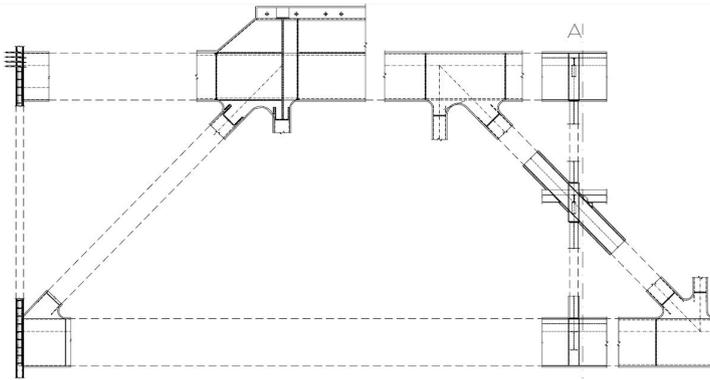


Figura 69. Celosía del 'Portaaviones'. Alzado constructivo.

La parte central de las celosías, coincidentes con el núcleo N3, determinan un módulo sin diagonales; es decir, en la que solamente están presentes los cordones superior e inferior ya que, en los montantes internos de cada celosía que limitan dicha zona, es donde se efectúa el apoyo en suspensión sobre dicho núcleo. En este tramo central, los cordones adoptan una leve curvatura en planta para recoger el cambio de alineaciones longitudinales de las fachadas del cuerpo frontal y dorsal.

Así, la estructura completa de cada fachada se suspende en los nudos superiores del antedicho módulo central, mediante un **gran elemento estructural pretensado** con doble acción mixta -con conexión de los grandes perfiles metálicos con sendas losas de hormigón en sus alas superior e inferior[34]-, dispuesto ortogonalmente a las dos celosías de fachada. Esta potente pieza mixta se configura como un gran cajón de canto y ancho ligeramente variables, para conseguir que las dos almas de la misma, recubiertas también de hormigón, coincidan en planta con el plano medio de los muros del núcleo de hormigón N3 y lograr que se produzca una perfecta transferencia de las acciones de uno a otro sistema. El sistema está traspasado por dos huecos circulares de paso de

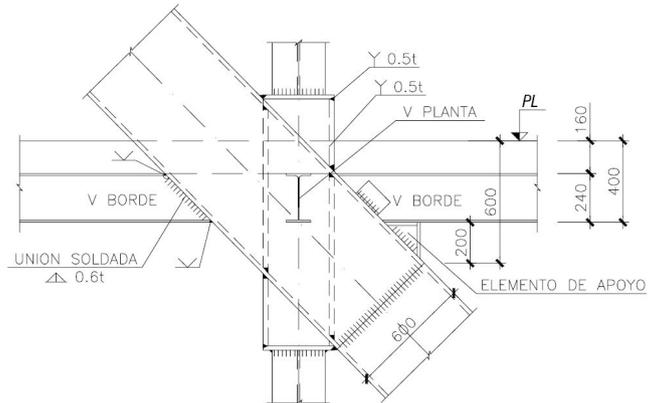


Figura 70. Encuentro tipo: diagonal-soporte-zuncho borde.

hombre, para acceso a las zonas centrales y entre alas de la cubierta de este edificio.

Los extremos dorsales de las grandes celosías antes descritas, se unen al núcleo de hormigón N4, que forma uno de los patios principales de instalaciones y recoge también parte de las cargas del edificio Torre, en su cuerpo de 14 plantas, a través del edificio Puente.

Por otra parte, la estructura principal de celosía se completa con la presencia de los soportes verticales interiores a la misma, separados entre sí la distancia modular de 3,60 m, que se cruzan con las diagonales mediante la disposición de elementos de apoyo y reparto a un lado y otro de las mismas, para permitir la recepción y transmisión de esfuerzos. Este conjunto de pilares recibe la incidencia de las vigas de cada planta y las transfiere desde su base al sistema de celosía. En la zona dorsal, la mayor parte de los soportes citados continúan hacia los sótanos, produciéndose una discontinuidad de los soportes en la parte lateral del portaaviones que se transcribe en un retranqueo del cerramiento y que evidencia la idea de ingravidad de este volumen, cuyos únicos pilares de fachada, en este lateral, se interrumpen en el cordón inferior de la gran celosía.

Debido a las diferentes cotas existentes entre el borde superior de los cordones de las celosías y el inferior de las almas de la pieza cajón de suspensión, motivado por las condiciones funcionales requeridas por la colocación de la maquinaria de ascensores del núcleo N3, se hizo necesario disponer unos elementos intermedios de cuelgue para conectar adecuadamente ambos sistemas. Por esta razón, la losa de la planta cubierta desaparece en la zona de dicho núcleo N3, dejando solamente un nervio horizontal a modo de continuidad, y es sustituida en esta zona por una potente losa de hormigón de 40 cm de espesor situada 1,70 m por encima de aquella. Esta losa, conectada inferiormente a las almas de las dos grandes vigas metálicas, conforma el ala inferior de la pieza cajón (Figura 71) que configura el sistema de suspensión, trabajando a compresión. Dichas almas metálicas están, asimismo, recubiertas por hormigón, de manera que, en combinación adicional con otra gran losa superior de igual espesor, levemente quebrada en alzado y fuertemente pretensada, constituyen un gran elemento mixto de **carácter muy monolítico**, pero plenamente activo frente a cualquier tipo de **solicitud transversal** por desequilibrio de cargas -como la mencionada torsión-, viento, acciones especiales: góndolas de cubierta, térmicas, etc.

Para recoger todo tipo de fuerzas de desvío en estas zonas de intersección, el sistema se completa con dos diafragmas transversales, compuestos por barras trianguladas unidas por cartelas (Figura 68. Elemento 3), paralelos a los planos de las celosías, situados sobre las caras longitudinales del núcleo y que contribuyen al adecuado y perfecto reparto de cargas en el mismo, para su traslado hasta la cimentación. El arriostramiento entre las dos celosías principales de ambas fachadas, así como la indeformabilidad horizontal entre las mismas está garantizado por el conjunto de las losas de las plantas y las vigas de apoyo de las mismas.



Figura 71. Viga cajón de suspensión. Encofrado losa inferior..



Figura 72. Ejecución de la estructura del 'Portaaviones'.

EDIFICIO TORRE.

Por su gran representatividad visual, es el volumen que afronta la relación con la escala de mayor entidad, la escala urbana, y es el que da nombre al complejo: Torre Mare Nostrum. Está constituido por dos zonas:

- **Cuerpo alto**, de 21 alturas (contando baja) más una zona superior para instalaciones. Engloba los núcleos N1 y N2. Sus singularidades específicas se centran en la disposición ligeramente inclinada de los soportes de su borde recto frontal que da lugar a una fachada curva reglada, la presencia de algunos entrantes o retranqueos en la zona de la fachada dorsal que genera la presencia de ligeras oquedades en la misma y la disposición de vigas cargadero en balcón. Así se consigue prescindir de algunos de los soportes perimetrales en las plantas inferiores y consiguiendo la permeabilidad requerida de las superficies de fachada y funcionales de estas piezas.
- **Cuerpo intermedio**, de 13 plantas (contando baja) que se funde con el anterior y, además, se vincula al edificio Portaaviones entre las plantas 8ª a 12ª, ambas inclusive, dando lugar a una zona común o maclada a través del edificio Puente situado sobre la calle interior. Estas uniones y su conexión con el núcleo N4 que atraviesa la parte dorsal de este cuerpo, y se integra luego en el Portaaviones, dan lugar a una de las fuertes interacciones resistentes horizontales entre edificios. [25]

EDIFICIO PUENTE.

A efectos conceptuales se trata de una **pasarela**, un elemento biapoyado de luz considerable -11 metros aprox.- que cruza superiormente todo el pasaje de acceso a los edificios principales. Estructuralmente se caracteriza por la disposición de importantes vigas cargadero en las zonas de continuidad con los cuerpos alto e intermedio del edificio torre, sobre las cuales descansan los soportes que sustentan los forjados de cada una de las 5 plantas que conforman este volumen, provocando una distribución de cargas concentradas.

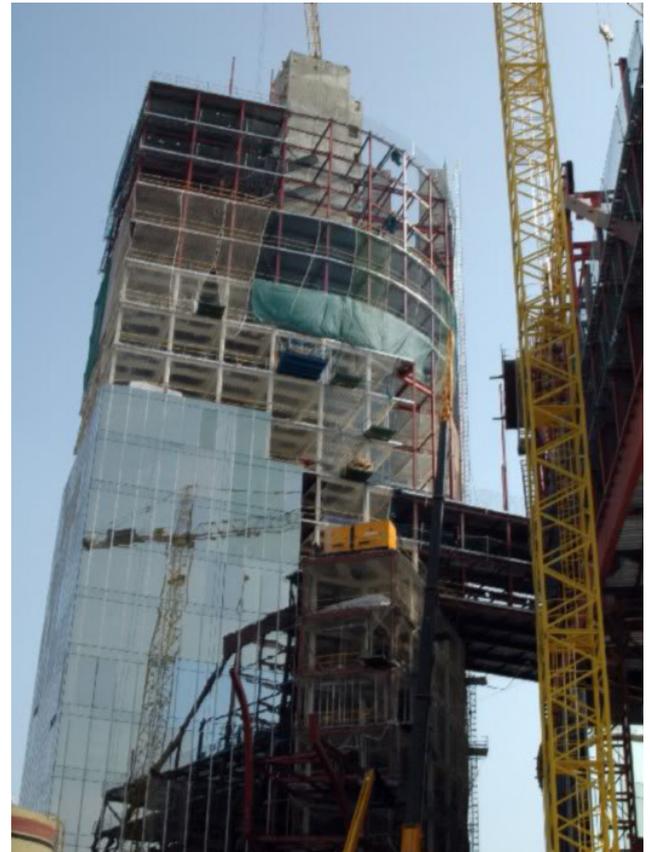


Figura 73. Construcción del edificio 'Torre'.



Figuras 74a y 74b. Proceso de construcción del edificio 'Puente'.

EDIFICIO CAPITEL.

Este cuerpo, de 8 plantas de altura, está unido desde su arranque al edificio Torre, al cual debe transmitirle las fuerzas horizontales equilibradoras necesarias para estabilizar el gran cuerpo volado.

Sus dos fachadas laterales no son paralelas, sino que presentan una leve inclinación en planta hasta alcanzar el remate frontal extremo, limitado en sus bordes por sendas **piezas mixtilíneas quebradas** no concordantes, desalineadas entre sí, que formadas por potentes secciones tubulares rectangulares, reciben las cargas de todos los forjados sobre ellas a través de los soportes.

Desde su arranque en planta primera en dos cortos voladizos, van avanzando hacia fuera y hacia arriba, generando una fachada exterior frontal del vidrio de forma poliédrica a la cual no llegan los forjados que quedan ligeramente retrasados. De esta forma se crea, por tanto, una especie de patio interior inclinado con disposición espacial muy aleatoria.

En las zonas internas, donde se deben transmitir estas acciones al núcleo N1, las losas del forjado se macizan creando un conjunto con rigidez horizontal.

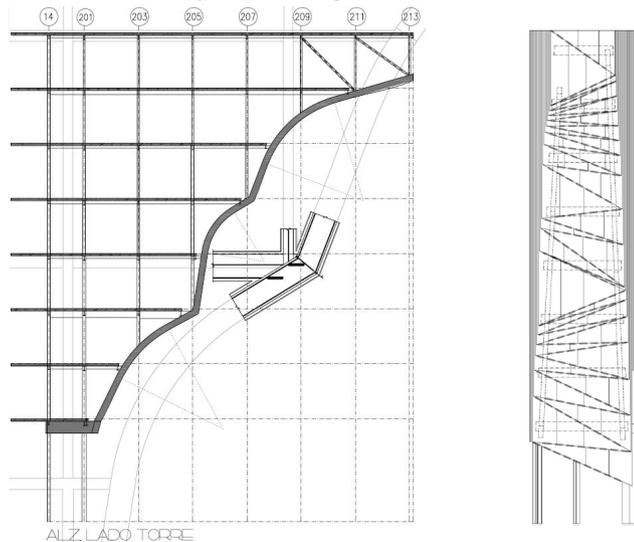


Figura 75. Edificio 'Capitel'. Alzados constructivos.



Figura 76. Estructura 'Cascada'



Figura 77. Preexistencia

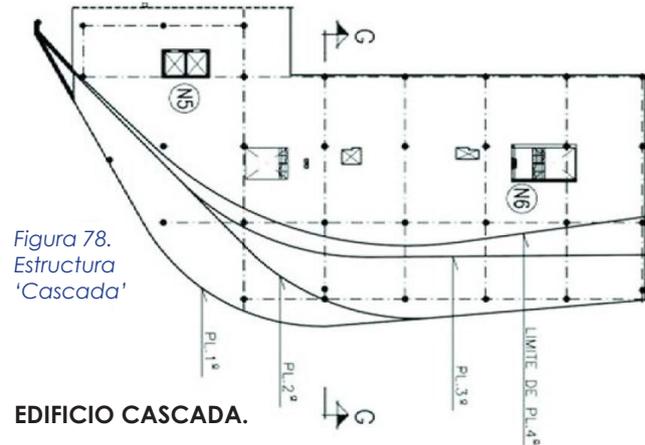


Figura 78. Estructura 'Cascada'

EDIFICIO CASCADA.

Este edificio merece mención aparte, pudiendo incluso ser susceptible de exclusión del análisis, ya que es el único que se desvía de las pautas generales del conjunto, presentando una tipología estructural distinta a la que hemos comentado en apartados anteriores. Con la voluntad de adaptarse, tanto en número de alturas (3 plantas más la baja) como en características estructurales, al edificio preexistente e integrarlo en el conjunto, se opta por un **sistema híbrido** de soportes metálicos y **losas macizas** de hormigón armado de 28 cm. de canto, vinculadas a dos núcleos propios N5 y N6. El aspecto específico radica en la necesidad de apea algunos soportes de fachada en dinteles o cargaderos de apoyo embebidos en la losa bidireccional, para recoger apropiadamente los fuertes retranqueos, requeridos por la disposición de los bordes curvos escalonados variables en la fachada.

Para poner fin a este punto cabe decir que esta simplificación y clasificación de la estructura en distintos apartados o elementos, simplemente nos sirve para conocer en detalle y de forma particular el funcionamiento de cada uno de ellos, pero lo cierto es que todos trabajan de forma conjunta en la gran estructura que conforma el edificio. La unión e interacción de los elementos que conforman estos modelos entre sí, como las capas de hormigón armado de los forjados colaborantes, que funcionan conjuntamente, hacen que sea complicado tanto individualizar el comportamiento de cada elemento por separado como entender completamente un elemento si no se entiende su relación con el resto.

3.2. SIMPLIFICACIÓN Y MODELIZACIÓN

Una vez conocemos todos los componentes y generalidades de la estructura el siguiente paso, previo a realizar el análisis y estudiar el comportamiento de la estructura, será su modelización virtual con la ayuda del programa informático de diseño y cálculo Architrave@[35]. El edificio en cuestión es tremendamente grande y complejo, y a pesar de haber intentado reproducir en lo posible la realidad con la mayor aproximación, ya sea por la envergadura del modelo como por la ausencia de algunos datos concretos de la estructura real, se ha tenido que simplificar determinados aspectos. En este sentido, se ha construido únicamente la parte de la estructura aérea, obviando la estructura convencional de los niveles enterrados de sótano con sus respectivos forjados, ya que podemos considerar que su comportamiento es independiente de la estructura singular del edificio.

Una vez elaborado el modelo, arduo y laborioso trabajo por su complejidad y heterogeneidad, se ha procedido a la evaluación y asignación de cargas al modelo, también se han definido los materiales y las secciones. Con todo ello, se obtiene un modelo

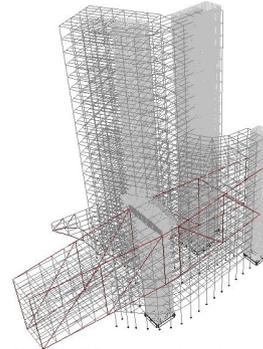


Figura 79. Modelo alámbrico.

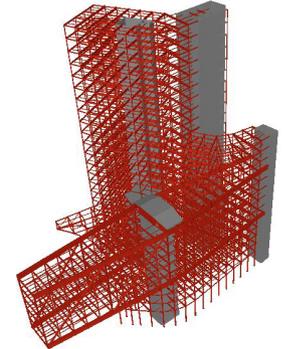


Figura 80. Modelo sólido.

estructural simplificado respecto de la estructura real, que teniendo en cuenta las limitaciones del programa, permite obtener conclusiones válidas del funcionamiento de la estructura.

Se ha realizado el modelo estructural del edificio mediante la discretización en **barras** de elementos unidireccionales de la estructura y en **elementos finitos** (E.F.2D) de los bidireccionales:

Los elementos horizontales metálicos se modelizan de la siguiente manera: se considera que todas las vigas principales son IPE-600 o IPE400, dependiendo de la dimensión del vano, las viguetas IPE-180 y los zunchos o vigas de borde son IPE-300. Recordemos que estos perfiles de grandes dimensiones en la estructura real poseen alveolos de aligeramiento y acartabonamientos que reducen considerablemente su sección en los apoyos, por tanto se asume que al introducir un canto constante en toda la longitud de la barra se va a inducir en la estructura un excedente en el peso propio de los elementos estructurales.

Los soportes verticales metálicos se modelizan como HEB-300 en el edificio Pétalo, bajo el Portaaviones, y en las partes bajas de la Torre, reduciéndose en sus zonas más altas hasta perfiles HEB200 . En el Portaaviones y el edificio Puente, se combinan perfiles HEB con dimensiones entre 200 y 260 mm, dependiendo de la zona en la que se encuentren.

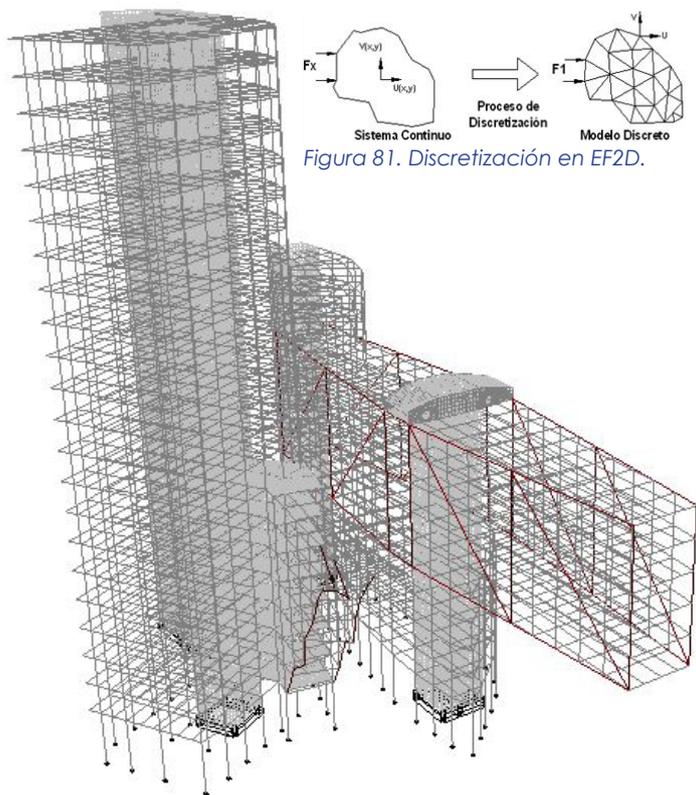


Figura 81. Discretización en EF2D.

Figura 82. Modelo alámbrico completo.

Por otra parte, todos los núcleos de hormigón armado verticales -a los que se empotra los forjados para recibir la carga horizontal- de 26 cm de espesor están conformados por mallas simples de elementos finitos cuadriláteros a los que se le ha aplicado un tamaño medio de 500 mm aproximadamente. El material asignado ha sido HA-30.

La celosía "Pratt" se modeliza por perfiles tubulares metálicos huecos de forma que los montantes son PHC-S275 400 20.0, las diagonales son PHR-S275 500 300 20.0 y los cordones (tanto el inferior como el superior), al no haber disponibles secciones de las características mencionadas anteriormente ni el material acero S460M, se opta por el diseño con una sección de usuario definida de S450 1500.500.20 - El potente sistema de suspensión de la celosía en la coronación del núcleo (Figura 83), por la singularidad y variabilidad de su sección, se ha realizado con elementos finitos S450, triangulares y con un espesor de 50 mm para las almas, definiendo los huecos circulares en el interior de éstas; y de malla simple para las alas, con un espesor de 80 mm, considerando las losas de hormigón que las conectan -tanto la superior como la inferior- como E.F. de malla simple de HA 30 de 40 cm de espesor. Además se ha considerado que el eje del cordón superior se encuentra en el mismo plano que el plano medio de las almas inferiores, o lo que es lo mismo, se obvia el elemento intermedio de descuelgue. El canto de las dos vigas principales se fija en 2,6 m, permaneciendo constante en su cuerpo central, el que apoya sobre el núcleo N3, y reduciéndose hasta un canto de 1,44 metros en el extremo de las zonas voladas.

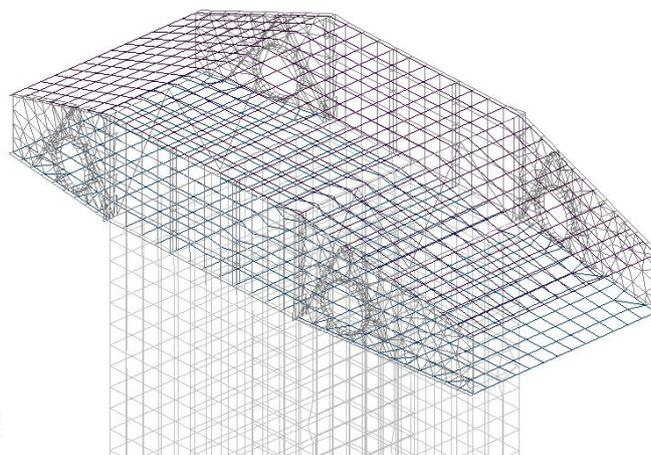


Figura 83. Viga cajón de suspensión. Modelo alámbrico.

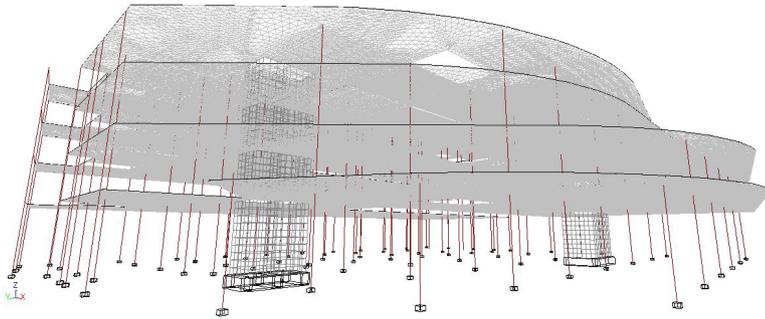


Figura 84. Edificio 'Cascada'. Modelo alámbrico

En cuanto a los perfiles mixtilíneos que definen los bordes frontales del edificio "Capitel", se han discretizado como secciones cerradas rectangulares PHR 300 200 16.0 de acero S275 (UNE Ic). Los tirantes situados en los últimos dos módulos superiores se dimensionan como PHR 200 80 8. La parte macizada de los forjados que conecta el "Capitel" con el núcleo vertical N1, se modelizan con E.F. triangulares, con HA-30 y un espesor de 28 cm. (Figura 85)

En cuanto al "edificio Cascada", las losas bidireccionales se modelizan con hormigón HA-25 de 28 cm de espesor, como E.F. triangulares que se adapten de la mejor manera a los bordes curvos. Los pilares de la preexistencia se definen todos ellos con secciones rectangulares 450x450 mm de hormigón HA-25, mientras que los soportes metálicos de la parte frontal se realizan mediante perfiles HEB de acero S275, con una dimensión que varía entre los 300 mm y los 160 mm conforme ascendemos en altura. (Figuras 84 y 86)

Los núcleos están unidos rígidamente a zapatas corridas centradas de HA-25, a las que se les ha asignado un canto de 1,2 y 0,8 metros según se tratara de los núcleos del conjunto principal -N1, N2, N3 y N4- o los del edificio Cascada -N5 y N6-, respectivamente. Los soportes exentos que acometen directamente al terreno, se modelizan rígidamente unidos a unas zapatas aisladas.

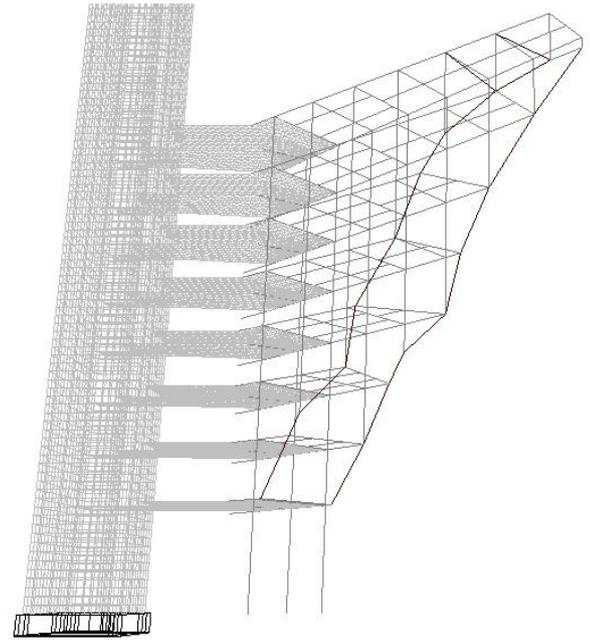


Figura 85. Voladizo 'Capitel'+Núcleo N1. Modelo alámbrico.

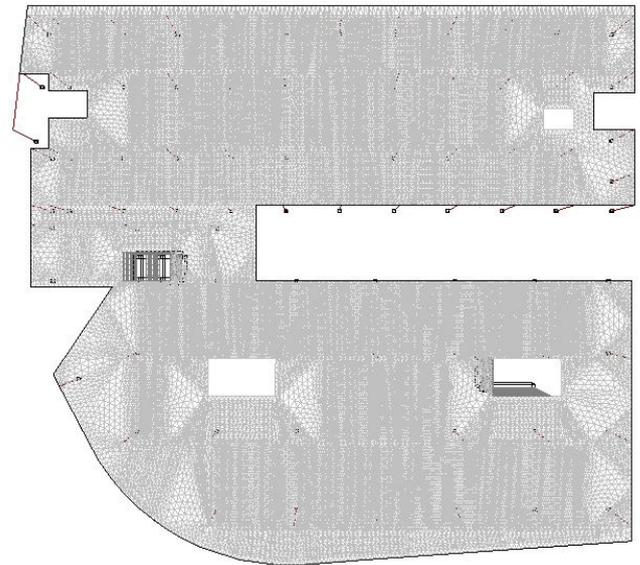


Figura 86. Forjado tipo edificio 'Cascada'. Modelo alámbrico

3.3.EVALUACIÓN DE CARGAS

Para alcanzar la máxima efectividad y adecuación en la realización del análisis general del conjunto de las estructuras sobre rasante, se pueden considerar dos líneas complementarias[5], pero bien diferenciadas, en cuanto al modelo de asignación de cargas:

- En primer lugar, tras el estudio particular de cada cuerpo o edificio para determinar las características estructurales básicas a establecer, se realiza la distribución de cargas de tipo vertical o gravitatorio, aprovechando de forma idónea todos los elementos resistentes, tanto convencionales como especiales, de cada volumen específico.
- En segundo lugar, se plantea el análisis global del conjunto de elementos específicos maclados, cuya vinculación real e interactiva participan y colaboran en la resistencia a las acciones horizontales, consiguiendo el reparto más favorable posible de los esfuerzos provocados, no sólo por el viento y el sismo, sino también por las componentes horizontales de desvío provocadas por la presencia de numerosas barras inclinadas en el conjunto del sistema.

Será la superposición de ambos modelos que, en general, no son excesivamente interactuantes entre sí, a excepción del sistema de núcleos verticales de hormigón armado y las estructuras especiales tridimensionales de los dos grandes volúmenes en voladizo, lo que determinará el comportamiento global de la estructura en su conjunto.

Sin embargo, debido a la gran extensión del trabajo, con un complejo y elaborado modelo, en el análisis realizado no se han tenido en cuenta más acciones horizontales que las provocadas exclusivamente por el desvío de las fuerzas transmitidas por los elementos inclinados y descentrados, las cuales son de entidad considerable y generarán importantes deformaciones en el conjunto. No se han considerado, por tanto, ni las cargas de viento, aunque se planteará el esquema general y se esbozará de manera simplificada el comportamiento del modelo frente estos esfuerzos; ni por su parte, las acciones de sismo ya que, al estar el edificio en una zona de sismicidad

baja/moderada -aceleración sísmica básica Barcelona $a_b=0,04g$ -, presumiblemente, las estas acciones serán menores que las cargas de viento, por ser una zona de costa, de alta exposición. Por tanto, podemos suponer que si se comporta bien a viento, lo hará a sismo.

No obstante, la evaluación y el efecto que producen estas cargas se pueden plantear como objeto de otro posible y futuro Trabajo Final de Grado.

Por lo tanto, se realiza una evaluación de cargas de acuerdo con lo establecido en el Código Técnico de la Edificación (CTE), específicamente en su apartado DB-SE-AE [36]: Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación.

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

CARGAS GRAVITATORIAS

Se han introducido cargas superficiales gravitatorias aplicadas sobre áreas de reparto en las que se han considerado las siguientes acciones:

• HIP 01 - Cargas permanentes:	2,67 KN/m²
Falso techo metálico (aluminio) registrable.....	0,27 KN/m ²
Parqué/tarima (20 mm) sobre rastreles.....	0,4 KN/m ²
Peso propio chapa grecada con capa de hormigón (<12 cm).....	2KN/m ²
• HIP 02 - Sobrecarga de uso:	
Forjados interiores - B. Zona administrativa.....	2 KN/m²
Forjados de cubierta - G. Accesible únicamente para conservación.....	1 KN/m²
• HIP 03 - Sobrecarga de nieve (Barcelona)	0,4 KN/m²

En cuanto a las combinaciones de cargas, las realiza automáticamente el programa Architrave de acuerdo a lo establecido en el Código Técnico de la Edificación (CTE), Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE) en el apartado 4 Verificaciones basadas en coeficientes parciales, y la Instrucción española del Hormigón Estructural (EHE – 08) en los artículos 12º Valores de cálculo de las acciones y 13º Combinación de acciones.

En las siguientes tablas ([Figura 87.](#) y [Figura 88.](#)) se indican coeficientes empleados en el cálculo para la comprobación de resistencia (Estados Límites Últimos, E.L.U.) y deformaciones (Estados Límites de Servicio, E.L.S.)

Tipo de verificación	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria		Situación accidental	
		Desfavorable	Favorable	Desfavorable	Favorable
Resistencia	PERMANENTE				
	Peso Propio ó del terreno.	1,35	0,80	1,00	0
	Empuje del terreno.	1,35	0,70	1,00	0
	Presión del agua	1,20	0,90	1,00	0
	VARIABLE	1,50	0	1,00	0
Estabilidad		Desestabilizadora	Estabilizadora	Desestabilizadora	Estabilizadora
	PERMANENTE				
	Peso Propio ó del terreno.	1,10	0,90	1,00	0
	Empuje del terreno.	1,35	0,80	1,00	0
	Presión del agua	1,05	0,95	1,00	0
		VARIABLE	1,50	0	1,00

Figura 87. Coeficientes de seguridad en E.L.U.

Los coeficientes ψ se obtienen en función de la naturaleza de las cargas variables y están indicados en la siguiente tabla (Figura 88) siendo en nuestro caso zona administrativa (Categoría B).

	Ψ_0 COMBINACIÓN	Ψ_1 FRECUENTE	Ψ_2 CASI PERMANENTE
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría F)	0,7	0,7	0,6
Cubiertas transitables (Categoría G)	Según el uso desde el que se accede		
Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	0	0	0
Nieve			
Para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
Para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

Figura 88. Coeficientes de simultaneidad.

De esta forma, se establecen dos combinaciones principales (las más desfavorables) para la comprobación de resistencia según los **Estados Límite Últimos**, considerando en cada caso una carga variable principal -la sobrecarga de uso y la de nieve respectivamente- correspondientes a una **situación persistente o transitoria**, cuya expresión es:

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

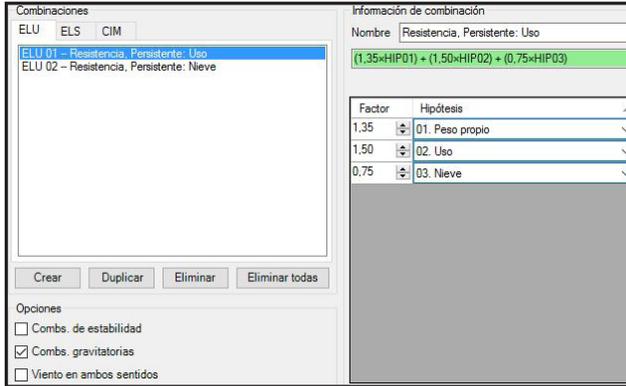


Figura 89. Combinación ELU 1. Resistencia: Persistente: Uso

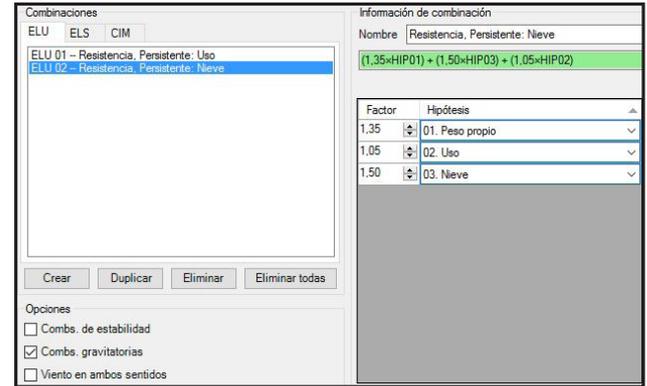


Figura 90. Combinación ELU 2. Resistencia: Persistente: Nieve

En cuanto al **Estado Límite de Servicio**, distinguimos tres situaciones:

- Combinación **característica** (poco probable o rara) donde los efectos de las acciones de corta duración pueden resultar irreversibles.

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

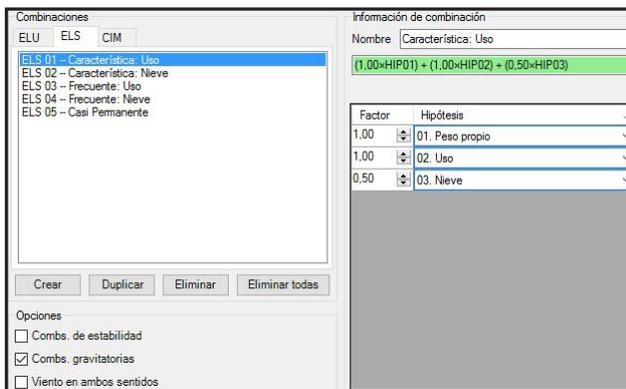


Figura 91. Combinación ELS 1. Característica: Uso.

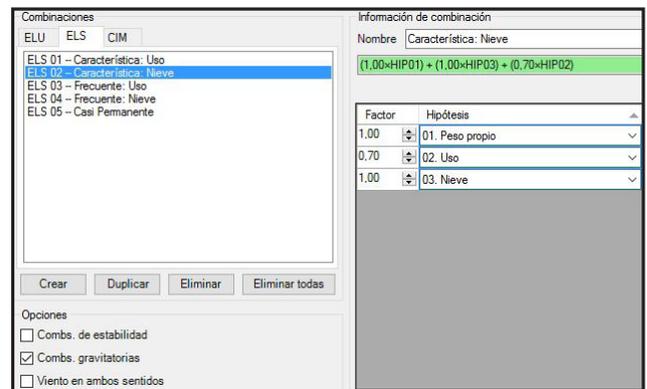


Figura 92. Combinación ELS 2. Característica: Nieve.

- Combinación **frecuente**, donde los efectos de las acciones pueden resultar reversibles.

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

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

Figura 93. Combinación ELS 3. Frecuente: Uso.

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

Figura 94. Combinación ELS 4. Frecuente: Nieve.

- Combinación **cuasi-permanente**. Donde se evalúan los efectos de las acciones de larga duración.

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

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

Figura 95. Combinación ELS 5. Cuasi-permanente.

CARGAS HORIZONTALES. VIENTO

En cada uno de los distintos volúmenes se considera que la totalidad de las **acciones horizontales** previstas se transmiten hacia los **núcleos de hormigón** existentes en el interior de los mismos, los cuales son los encargados de transmitir estos esfuerzos al terreno. Sin embargo, al estar enlazados entre sí por los forjados –a excepción del edificio Cascada que es autónomo– la respuesta de cada núcleo de hormigón como ménsula libre no es posible, produciéndose una interacción entre los diversos núcleos que compatibilice sus giros y traslaciones a través de las diferentes piezas de unión horizontal existente, constituidas por los planos de forjado.

Por esta razón, en el cálculo real de la estructura, realizado por MC2 y Julio Martínez Calzón, el análisis horizontal del sistema no fue realizado como cuerpos aislados, sino que se consideraron, junto con los diferentes núcleos verticales, las piezas de gran canto horizontal formadas por las **losas mixtas** de los diferentes edificios. A este conjunto espacial así conformado, es al que se le incorporan las diferentes hipótesis de acciones de viento y sismo en las dos direcciones ortogonales principales, así como las fuerzas de desvío transmitidas por los elementos inclinados.

Especialmente importante a estos efectos, resultó la incidencia de las cargas del cuerpo volado del Capitel y su incorporación al conjunto del sistema.

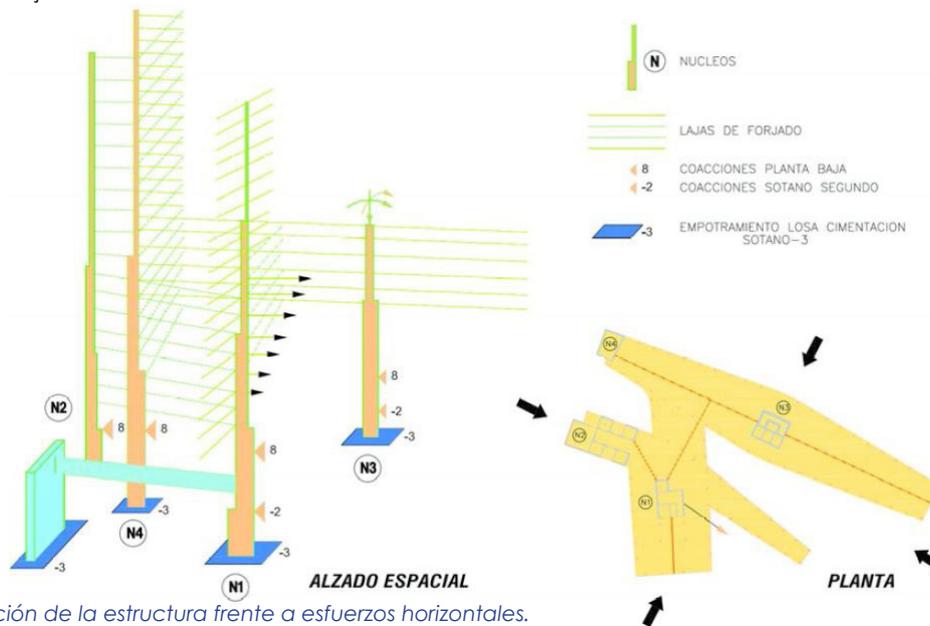


Figura 96. Discretización de la estructura frente a esfuerzos horizontales.

Asimismo, con el fin de no introducir acciones horizontales de gran importancia en el contacto de la losa de planta baja con los núcleos, se adoptó la condición de que el apoyo de las losas del sótano primero en los diferentes núcleos, fuera exclusivamente vertical, dejando libertad de movimientos relativos horizontales entre forjados y núcleos. De esta manera, la altura de transición entre los edificios superiores exentos, y las zonas de sótano, correspondía a dos plantas (entre baja y sótano -2) reduciéndose los cortantes y reacciones a valores perfectamente asumibles por los elementos y espesores dispuestos [25].

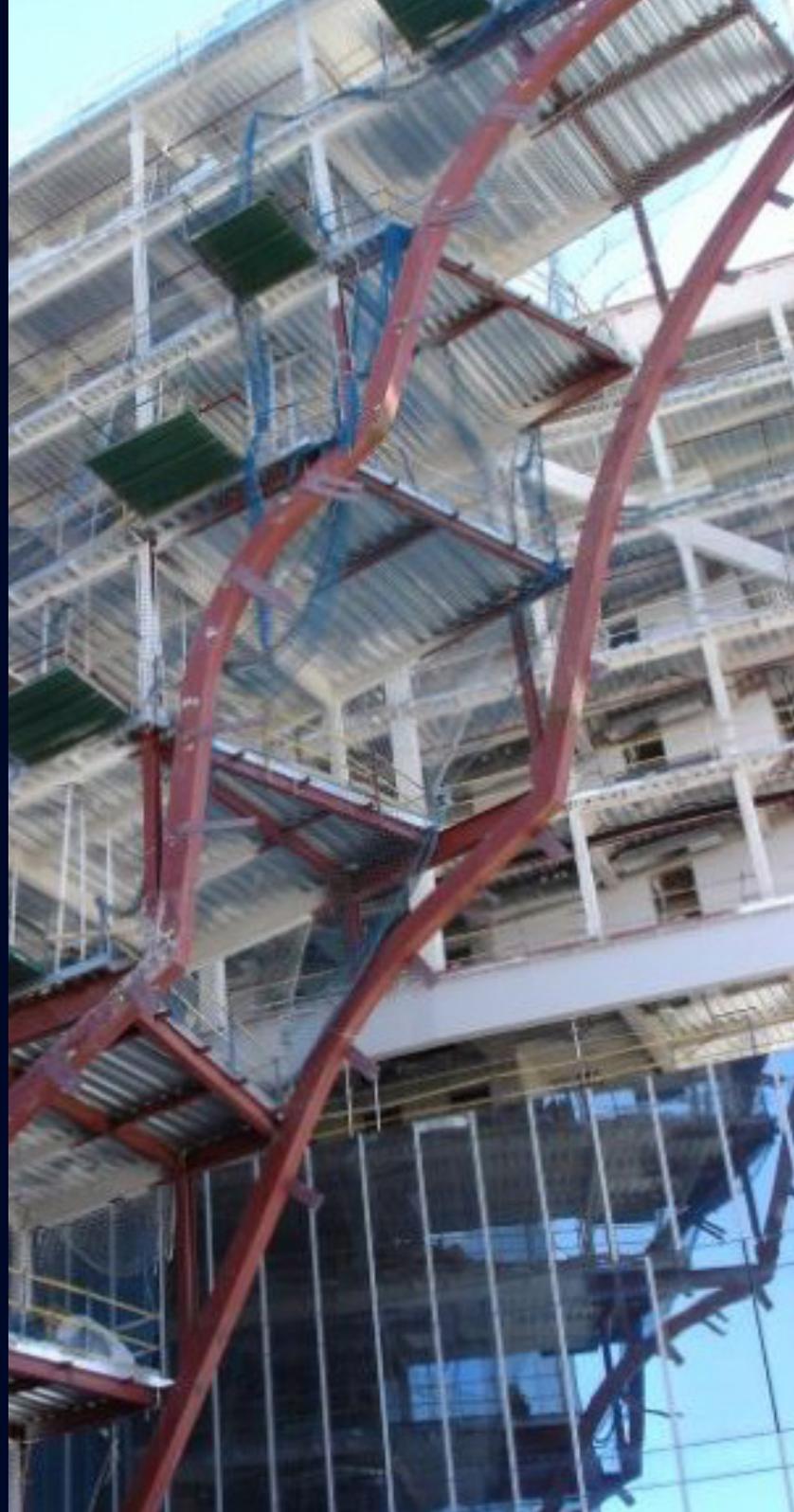
4. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL.

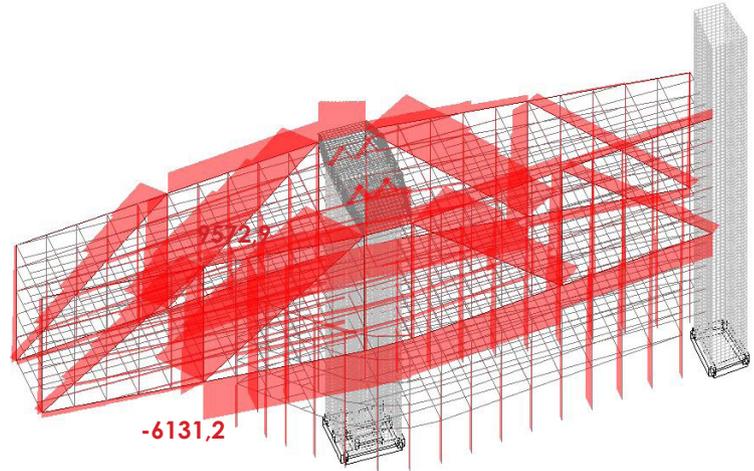
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez realizado el modelo informático con las simplificaciones correspondientes y con las cargas aplicadas, se procede a obtener los resultados mediante el programa informático **Architrave** ©.

Con esta aplicación informática obtenemos los valores de las tensiones, de los momentos flectores, axiles y cortantes, así como la deformación que se producirá en la estructura.

A partir de ellos, realizaremos una interpretación y un análisis exhaustivo del comportamiento de los elementos más significativos de cada una de las partes del edificio, según las expuestas anteriormente





4.1. COMPORTAMIENTO POR ELEMENTOS

Figura 97. Portaaviones. Diagrama de axiles. ELU1.

PORTAAVIONES

Como era de esperar, esta fracción del edificio no es solo protagonista en cuanto al impacto visual y estético del complejo, sino que también es aquella que presenta unos elementos más solicitados, lo que como ya hemos visto se traduce en secciones y materiales de entidad propia que le dan esa distinción formal/estructural que tan de la mano van en este proyecto.

En primer lugar hablaremos de los **cordones**, que con una dimensión 1500x500x20.0, suponen la sección más singular de esta parte del edificio. Observando los diagramas de axiles y momentos nos damos cuenta que a lo largo de toda su longitud es la sección que presenta unos valores más desfavorables en combinación de ambos esfuerzos, sobre todo el cordón inferior. Este elemento, en la combinación ELU 1: Uso, presenta una compresión máxima -6131,2 KN, localizada en el tramo inferior de los dos módulos centrales de la celosía. El cordón superior por su parte, solicitado a tracción, no presenta solicitaciones importantes -en relación a los demás elementos, por

supuesto- siendo las diagonales las que adquieren toda la relevancia respecto a los esfuerzos de tracción.

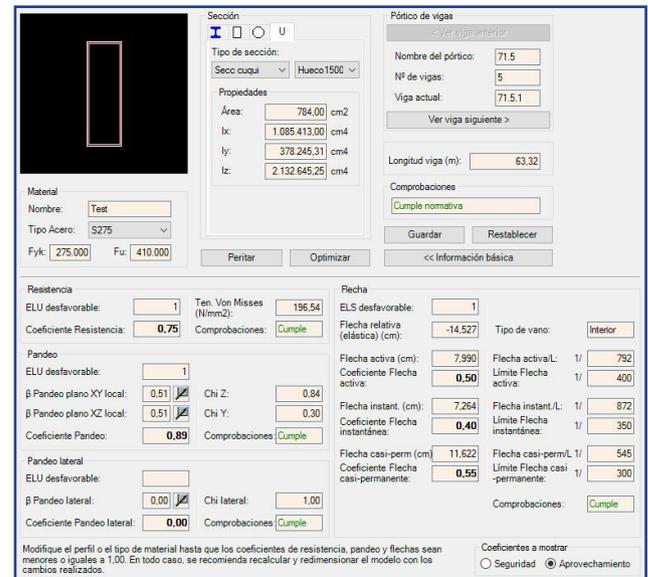


Figura 98. Peritaje. Sección cordón inferior más desfavorable.

En cuanto a los momentos flectores, alcanzan sus valores de mayor magnitud con signo negativo, sobre todo en el cordón inferior y coincidiendo generalmente con el enlace con los montantes de la celosía exterior, siendo de especial importancia en los tramos centrales relativos al elemento de coronación y sus montantes -tanto en los cordones superiores como inferiores-, como era de esperar. No obstante, el punto más desfavorable es la unión entre el cordón inferior y el pilar intermedio del segundo módulo en la celosía más próxima al Capitel, donde se alcanza un valor máximo de -5511 KNm, que es igualmente admisible por la sección propuesta aún con el axil de -5366,3 KN que también actúa concatenariamente. En cuanto a los cortantes, estos presentan un diagrama escalonado en los cordones, alcanzando sus máximos valores también en aquellos puntos en los que son acometidos por los montantes y pilares, que equivalen a cargas concentradas distribuidas por todo el cordón.

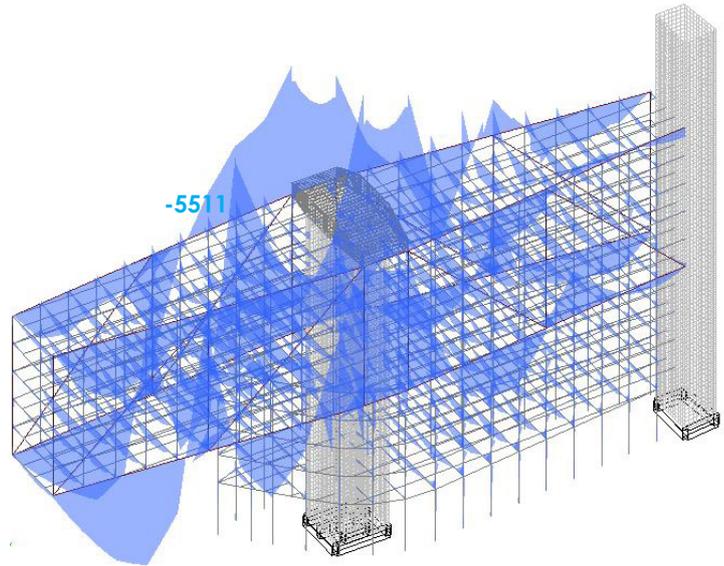


Figura 99. Portaaerones. Diagrama de momentos flectores. ELU1.

Cuando peritamos en Architrave, vemos que este perfil cumple de sobra, incluso para un acero S275, aunque mantendremos el S450 para el cálculo definitivo atendiendo al acero de altas prestaciones y soldabilidad S460M que se preciso realmente para estas zonas. (Figura 98, pág. 49)

Resulta notable que los elementos más solicitados a esfuerzo axil de tracción son las **diagonales** de los módulos de cercha más próximos al núcleo central, alcanzando un esfuerzo de 9572,9 KN (Figura 97, pág. 49.) en el tramo superior de la diagonal. En este punto, próximo a la conexión con el elemento de suspensión y donde el apoyo de los soportes de los forjados superiores transmiten mayores tracciones a la diagonal, es donde el elemento presenta una mayor trascendencia en el comportamiento de la diagonal como elemento atirantado que sostiene el cuerpo en voladizo. Sin embargo, para absorber este esfuerzo es suficiente con las dimensiones establecidas para el perfil hueco rectangular 500x300x20.0, aunque incrementando la resistencia del acero hasta un tipo S450, como bien hemos comentado que se haría en apartados anteriores. (Figura 100 y Figura 101, pág. 50-51)

Resistencia		Ten. Von Mises (N/mm ²):		Flecha (no aplicable en pilar)	
ELU desfavorable:	1		399,56	ELS desfavorable:	
Coefficiente Resistencia:	1,53	Comprobaciones:	Falla	Flecha relativa (elástica) (cm):	
Pandeo		Chi Z:		Flecha activa (cm):	Flecha activa/L:
ELU desfavorable:	1		1,00	Coefficiente Flecha activa:	1/
β Pandeo plano XY local:	0,61	Chi Y:	0,99	Flecha instant. (cm):	Límite Flecha activa:
β Pandeo plano XZ local:	0,54	Comprobaciones:	Cumple	Coefficiente Flecha instantánea:	1/
Coefficiente Pandeo:	0,00			Flecha casi-perm (cm):	Límite Flecha instantánea:
Pandeo lateral		Chi lateral:		Coefficiente Flecha casi-permanente:	Flecha casi-perm/L:
ELU desfavorable:			1,00		Límite Flecha casi-permanente:
β Pandeo lateral:	0,00	Comprobaciones:	Cumple		1/
Coefficiente Pandeo lateral:	0,00			Comprobaciones:	Cumple

Figura 100. Peritaje. Sección montante más solicitada a axil (1)

Figura 101. Peritaje. Sección montante más solicitada a axil (2)

Atendiendo a los **montantes**, resulta llamativo que pese a parecer estar “colgando” de los montantes principales, estos presentan un axil a tracción bastante pequeño -entre 100 y 450 KN, dependiendo de su posición- en comparación con los demás montantes y, sobre todo, con las diagonales, lo que nos hace pensar en la colaboración de todo el conjunto y nos desvela la relevancia de cargas de oblicuas en esta estructura, respecto de las verticales.

En cuanto a la colaboración de los **forjados** en la absorción de esfuerzos, según el diagrama de axiles, los zunchos laterales de las plantas inferiores en los dos módulos centrales de la celosía son los que más colaboran -en la medida en que se encuentran en el mismo plano que la cercha- ,aunque de forma poco significativa respecto a la megaestructura externa; sin embargo sabemos que, pese a no haberse modelado como elemento estructural y solo haberse tenido en cuenta como carga permanente, la capa de compresión maciza de 10 cm de hormigón colabora, sobre todo en los forjados inferiores, donde la flexión del voladizo genera tensiones normales de

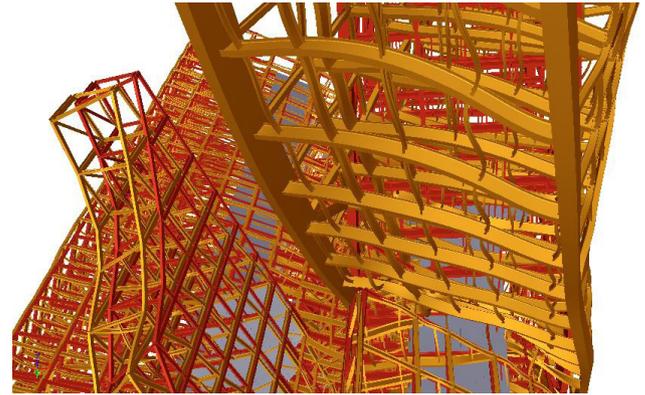


Figura 102. Pandeo de viguetas inferiores en 'Portaaviones'.

compresión, además de oponer resistencia a modo de elementos de gran canto a los mencionados esfuerzos horizontales. En este sentido y como consecuencia, tras el peritaje, se han de sobredimensionar algunas de las viguetas a perfiles superiores al IPE 180 o mejorar el tipo de acero, sobre todo en estos los forjados inferiores del edificio Portaaviones, por no cumplir las condiciones de inestabilidad (pandeo flexotorsional) debido a una desviación de la compresión axial, inducida por la torsión y la flexión del edificio.

Figura 103. Peritaje. Montante principal.

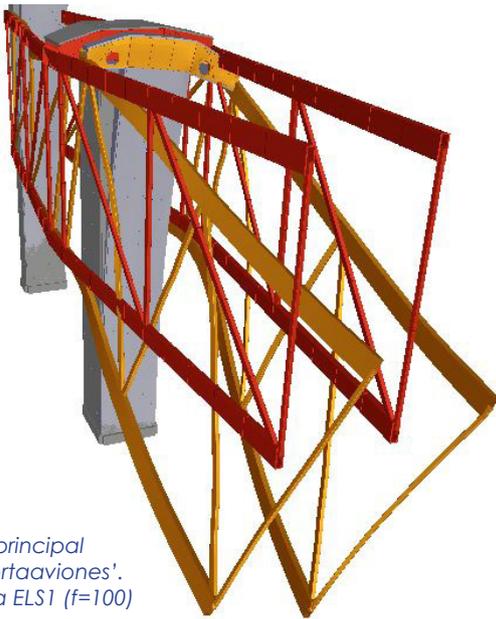


Figura 104.
Estructura principal
edificio 'Portaaviones'.
Deformada ELS1 (f=100)

El conjunto de **pilares** en ambas fachadas del Portaaviones recibe la incidencia de las vigas de cada planta y las transfiere al sistema de celosía, con tracciones o compresiones según las zonas, en función de la posición de cada tramo de fuste respecto a los cordones inferiores y del módulo de la celosía en que se ubican. En la zona dorsal, la mayor parte de los soportes citados continúan hacia abajo creándose por tanto, en conjunción con el núcleo N4 dorsal citado, un gran sistema de contrapeso que impide en todo momento, junto con la simetría del edificio -2 módulos idénticos a cada lado del núcleo 3- el excesivo trabajo en flexión del núcleo central que pudiera provocar su vuelco –salvo las inevitables condiciones de compatibilidad de deformaciones requeridas entre las diversas piezas del conjunto–, manteniéndolo equilibrado e incorporando casi exclusivamente acciones de tipo axil provocadas por el apoyo de las grandes vigas de celosía.

Cuando peritamos estos elementos, nos damos cuenta que muchos de los soportes HEB dispuestos no cumplen a resistencia. Esto se soluciona manteniendo el perfil con las mismas dimensiones iniciales pero utilizando el tipo HEM.

En la dirección transversal, al contrario que en la longitudinal, las diferentes distancias voladas desde los planos de las celosías al núcleo, así como las alternancias de sobrecarga, producen acciones en las vigas metálicas en ménsula de la **gran pieza de suspensión**, con valores diferentes a un lado y otro del núcleo, que sí producen flexiones en éste. Estas flexiones se traducen en la **torsión del volumen volado**, las cuales también han de ser adecuadamente controladas por el elemento de coronación.

Esta gran viga cajón de coronación, que merece mención aparte, presenta como vimos anteriormente un comportamiento a **doble acción mixta** [34]:

Como es obvio, se puede observar una concentración de las tensiones de tracción en el ala superior de los grandes perfiles, la cual trabaja conjuntamente con la losa superior pretensada, y sobre todo, en los extremos de la pieza en su parte más volada, punto en el que se realiza el encuentro entre las diagonales principales y los montantes centrales, elementos atirantados.

Por otra parte, las tensiones máximas de compresión, derivadas de la acción conjunta con la losa inferior de hormigón, se concentran en las alas inferiores de los perfiles en su zona de contacto con la coronación del núcleo central vertical N3.

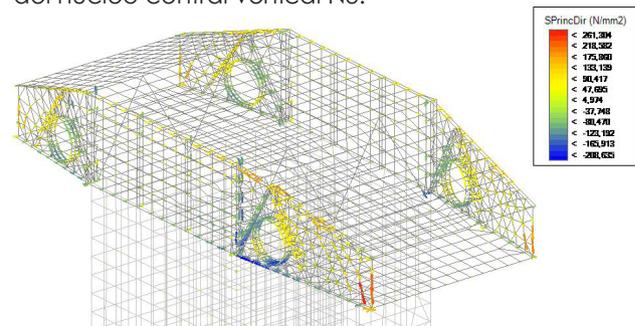


Figura 105. Viga cajón de suspensión. Tensiones direcciones principales

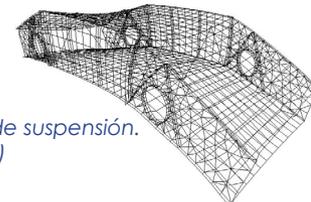


Figura 106. Viga cajón de suspensión.
Deformada ELS1. (f=150)

En cuanto a las **deformaciones**, consideraremos las limitaciones de flechas establecidas en el Código Técnico de la Edificación, en su apartado DB-SE, para contrastar nuestros resultados, siempre contando con el valor aproximado de éstos.

Simplemente con el objetivo de conocer un orden de magnitud de las flechas producidas, tomamos una limitación de $L/500$, atendiendo a que en los elementos volados, la luz 'L' se asume el doble de la longitud del vuelo. Por su parte, del modelo de cálculo observamos que para la combinación más desfavorable, ELS 1: Uso, se obtiene una flecha absoluta máxima de 15,46 cm en la punta de voladizo.

La flecha máxima admisible para este vuelo considerando el confort interior y la durabilidad de los elementos de partición frágiles sería $f_{m\acute{a}x} = 80/500 = 16\text{ cm} > 15,46\text{ cm}$ por lo que satisface esta limitación, estando muy cerca de los límites establecidos en la norma.

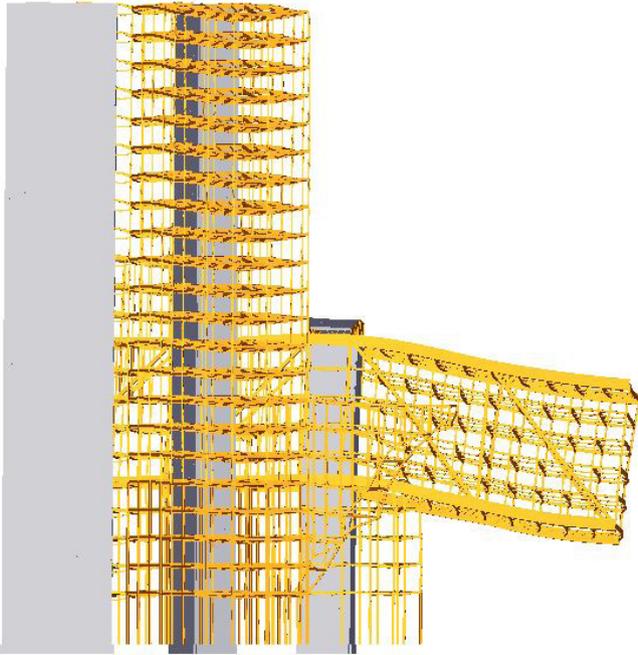


Figura 107. Deformada general. ELS1. (f=50)

También es interesante conocer la flecha instantánea provocada por el peso propio de la estructura, de cara al proceso constructivo y a las deformaciones que el edificio experimentará una vez quede construida la estructura y sea capaz de sustentarse por sí misma con independencia de apuntalamiento.* (véase Anexo II: *Proceso constructivo*) Además es de vital importancia conocer este dato para prever las deformaciones diferidas que se inducirán en la estructura mientras y cuando se ejecuten los demás elementos constructivos -tales como montantes, acristalamientos, pavimentos, etc.-, los cuales deben tolerar estas deformaciones para evitar manifestaciones patológicas. Podemos intuir el valor de esta flecha considerando la deformación en la hipótesis de Peso Propio, en la cual en el programa considera también las cargas muertas de los distintos elementos constructivos, y que según el análisis se establece en unos 10,24 cm, lo que supone prácticamente una fracción de 2/3 respecto a la flecha absoluta total. La debida a la sobrecarga de uso por su parte es de unos 5,2 cm aproximadamente y la de nieve por su parte es casi despreciable.

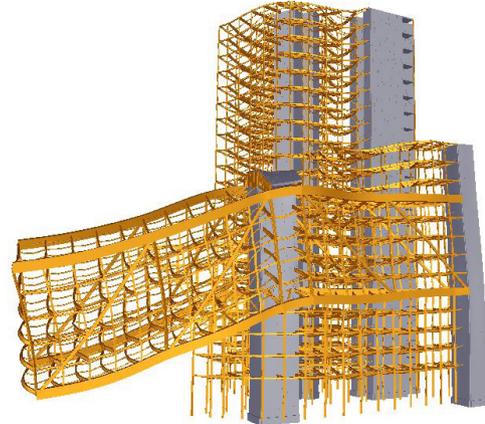


Figura 108. Deformada general. ELS1. (f=100)

No obstante, pese a no haber encontrado información al respecto en la primera fase de recopilación de datos, se sugiere el uso de contraflechas en esta parte de la estructura, con el fin de compensar la gran deformación y disminuir los valores de flecha que sufre el cuerpo "Portaaviones".

CAPITEL

El comportamiento de la estructura de este cuerpo está basado en conducir las cargas verticales de los soportes hasta las **piezas mixtilíneas** antedichas, formadas por potentes secciones tubulares rectangulares; y recoger las componentes horizontales de desvío por medio de las vigas y forjados de las plantas, que las trasladan, actuando en tracción o compresión según los pisos, hacia el núcleo N1 del edificio Torre. Al no estar alineado el eje del edificio con dicho núcleo, esta transferencia provoca esfuerzos de torsión en el citado núcleo y de flexión de eje vertical en los forjado.

Los **axiles** observados según el análisis informático del edificio Capitel, podemos apreciar -aunque en el modelo únicamente tengamos representados los elementos metálicos, vigas y viguetas-, que el propio forjado mixto es el que realiza el equilibrio del par de vuelco, encontrándonos compresiones en los forjados inferiores, especialmente en el primero, y tracciones en los superiores, sobre todo en el tercero y cuarto, siendo estos los encargados de atirantar los dos grandes perfiles quebrados, apoyados en

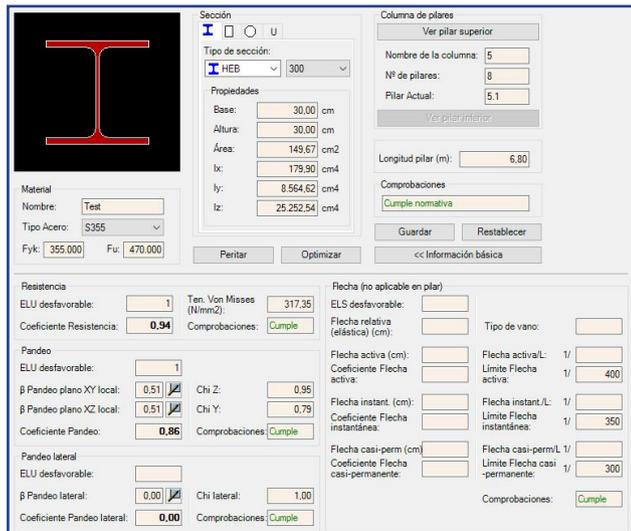


Figura 110. Peritaje. Pilar más desfavorable "Capitel". HEB

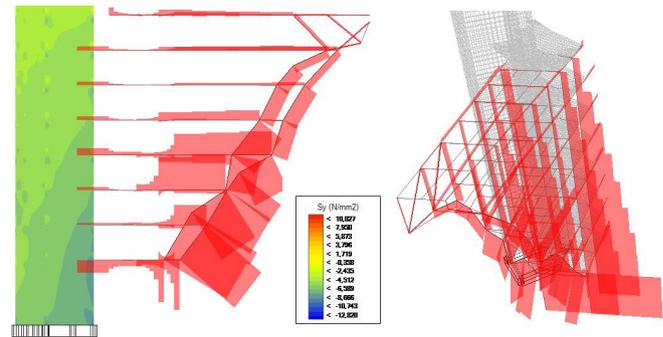


Figura 109. Axiles en barras de 'Capitel' y tensiones en Y en N1.

dos importantes pilares, desde aproximadamente su punto medio. Cabe decir que en el peritaje se han sustituido los pilares HEB inicialmente modelizados por perfiles HEM, que cumplen más holgadamente a resistencia.

Las **deformaciones** alcanzan su máximo valor en la punta del voladizo con desplazamientos en el eje Z (flecha absoluta) de 1,7 cm, lo que es de sobra admisible para un elemento que vuela 32,6 m y 24,1 m en sus respectivos vértices superiores según las limitaciones que establece la norma.

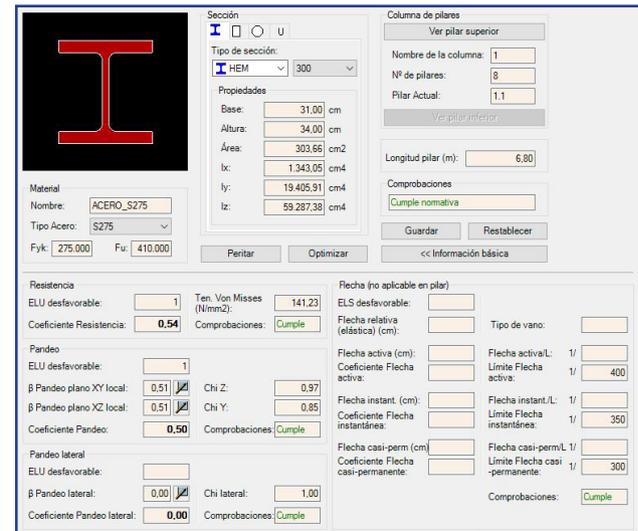


Figura 111. Peritaje. Pilar más desfavorable "Capitel". HEM

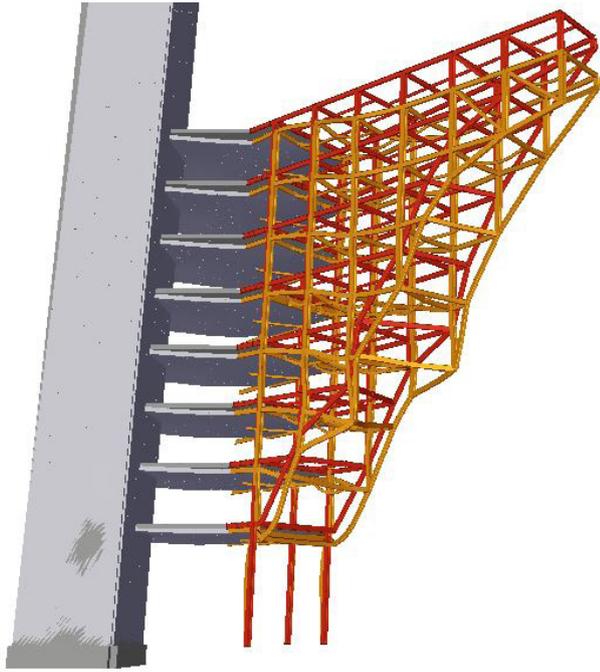


Figura 112. Deformada 'Capitel' con núcleo N1. ELS1. (f=100)

TORRE

Este cuerpo no deja de comportarse como una torre convencional, presentando las siguientes características:

El sector de mayor **deformación** corresponde con la zona más cargada y, por tanto, con la zona de la base, en la que los pilares están sometidos a esfuerzos axiales de compresión mayores. Es decir, se trata de un ámbito donde los pilares se acortan más y, teniendo un efecto acumulativo a lo largo de las 22 plantas, el punto que más descenderá será el punto medio del forjado más alto, situado a una altura de unos 84 m, en el que se produce una flecha absoluta de 2,9 cm desde su posición original.

Los **esfuerzos axiales** en los pilares van creciendo a medida que disminuye la altura, pues las cargas aplicadas a nivel de cada planta se van acumulando

hasta transmitir a la cimentación una carga máxima del orden de -3318 KN a compresión.

Observamos que en las plantas inferiores, las que reciben un mayor axil, son válidos los perfiles HEB 300 para los soportes más desfavorables -los pilares centrales y los situados bajo el Capitel-. Sin embargo debemos atender al hecho de que el pilar se agotaría antes por pandeo que a resistencia. En plantas superiores, como la 4ª y 5ª, por la acumulación de acciones transmitidas en estas plantas por el voladizo del Capitel, será necesario realizar algunas modificaciones en los soportes para que cumplan a resistencia, para lo que será suficiente mantener las dimensiones del perfil variando al tipo HEM, medida ya mencionada para los soportes del Portaaviones y Capitel, y que como vemos en el soporte más desfavorable de planta baja, supone una mejora considerable aumentando a más del doble sus coeficientes de resistencia y pandeo.



Figura 113. Deformada 'Torre' + 'Capitel' ELS1. (f=100)

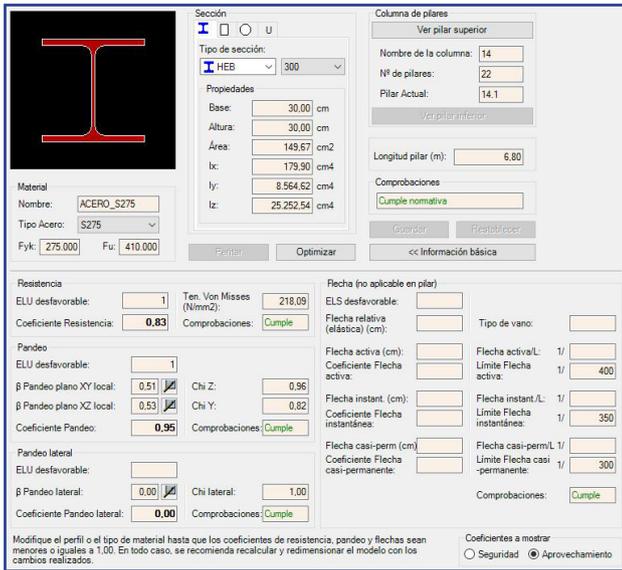


Figura 114. Peritaje. Pilar más desfavorable "Torre". HEB

Los **elementos estructurales horizontales** más desfavorables son aquellos que se encuentran empotrados en alguno de sus dos extremos a uno de los núcleos verticales, N1 o N2, alcanzando su momento flector valores negativos del orden de -615 KNm. Este hecho hace que algunas de las viguetas empotradas en la parte dorsal en el núcleo N2 no cumplan con el perfil IPE 180, lo que se soluciona fácilmente

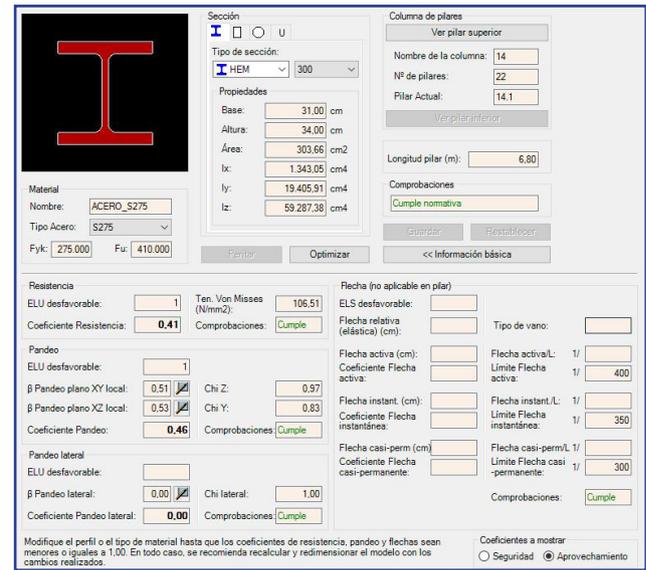


Figura 115. Peritaje. Pilar más desfavorable "Torre". HEM

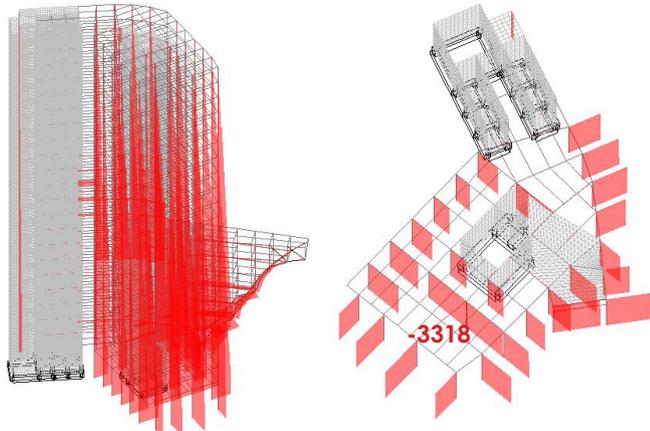


Figura 116a y 116b. Diagramas axiales "Torre". Completo y planta baja

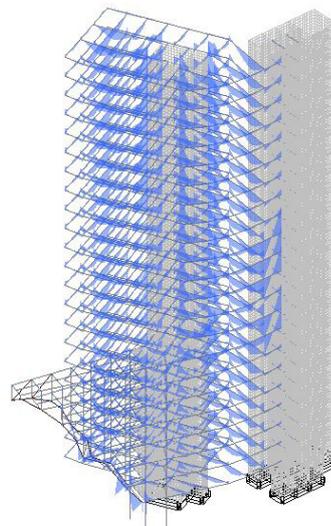


Figura 117. Diagrama de momentos "Torre" ELU1

umentando el canto del perfil. El momento positivo por su parte, alcanza su valor máximo en las vigas de la parte dorsal, donde el apoyo de las vigas que definen el edificio Puente provocan un momento flector positivo máximo del orden de 425 KN. No obstante, estos elementos cumplen sobradamente con el IPE 600 definido en el modelo.

Observamos también que en los tramos inferiores de los perfiles quebrados mixtilíneos que definen el Capitel podemos encontrar también momentos importantes, los cuales también son absorbidos sobradamente por las secciones huecas dispuestas para estos elementos.

PUENTE

De los elementos de viga cargadero, la que presenta un momento positivo máximo es la inferior, por ser la que recibe las cargas a través de los pilares apoyados directamente en ella, de los forjados superiores. Sin embargo, el elemento que posee unas características más desfavorables es el que conecta con el cordón superior de la celosía, punto en el cual, se encuentra también con el soporte. En este extremo de barra, el momento flector negativo es de $-692,54$ KNm. Realizando el peritaje vemos que en este caso el IPE 600 dispuesto no es suficiente, por lo que se opta por mejorar el tipo de acero disponiendo S355.

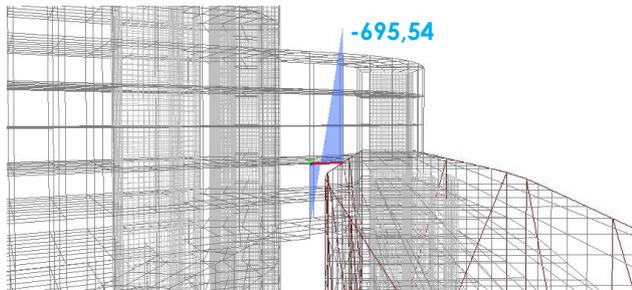


Figura 118. Diagrama momentos "Puente". (máx. negativo)

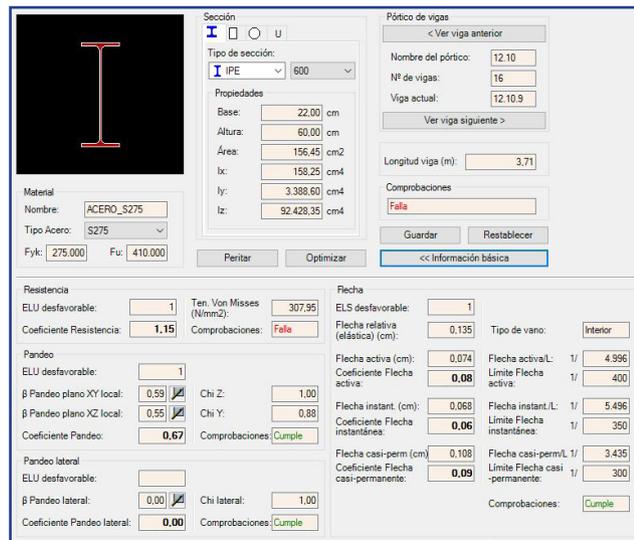


Figura 120. Peritaje. Viga más desfavorable "Puente". S275

El positivo, en las vigas interiores, es de $325,2$ KNm, un valor sobradamente admisible para los perfiles IPE 600 dispuestos.

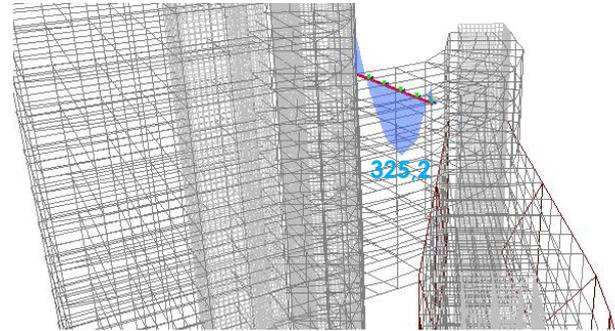


Figura 119. Diagrama momentos "Puente". (máx. positivo)

Esta parte del edificio es la encargada, además de transmitir acciones verticales a los elementos del Portaaaviones y a los zunchos de borde de la Torre en su parte dorsal, de establecer una conexión directa entre los núcleos N2 y N4, un hecho crucial a la hora de entender el comportamiento global e intuir la manera en la que el conjunto resiste frente a las acciones horizontales.

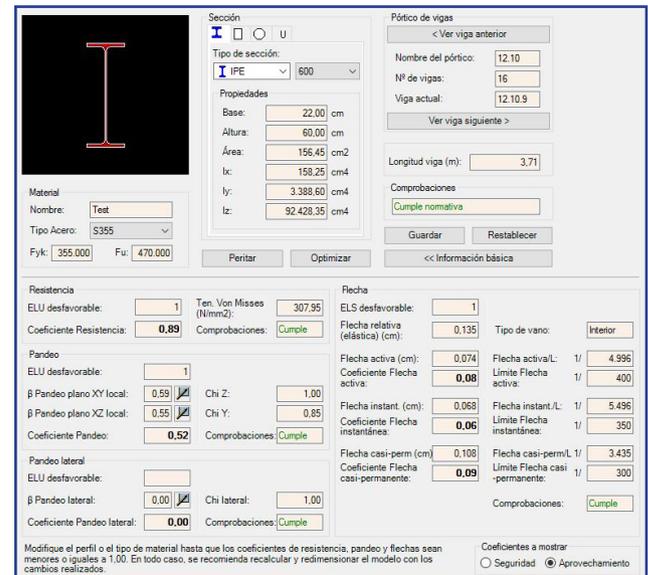


Figura 121. Peritaje. Viga más desfavorable "Puente". S355

Las **deformaciones** que presenta esta parte del edificio, por estar en una situación de acoplamiento intermedio, están muy condicionadas por las de los volúmenes de mayor entidad a los que se traba: el Portaaviones le induce un desplazamiento en la dirección horizontal hacia el extremo del cuerpo volado, mientras que la Torre le inducirá un incremento en la flecha absoluta, debido al acortamiento acumulativo en los soportes situados en alturas inferiores.

CASCADA

Observamos que el nuevo cuerpo, modelizado como losa de hormigón armado sustentada por soportes metálicos, es mucho menos rígida que la parte preexistente, realizada íntegramente de hormigón. Pese a no haberse modelizado, es presumible que se ha realizado una junta de dilatación estructural entre ambos cuerpos, independizando su comportamiento y permitiendo la libre deformación entre ambas estructuras sin que se coacten sus movimientos.

Así, según los resultados obtenidos, las **deformaciones verticales** máximas en el cuerpo preexistente son del orden de 0,1-0,5 cm, mientras que en el nuevo volumen en cascada ascienden hasta los 2,85 cm para la combinación ELS1: Uso, por encima de lo que se consideraría admisible, si suponemos la dirección y como el plano de flexión.

La flecha máxima admisible para este vuelo considerando el confort y la durabilidad de los elementos sería $f_{m\acute{a}x} = 2 \times 4,35 / 500 = 1,74 \text{ cm} < 2,85 \text{ cm}$ por lo que NO se satisface esta limitación establecida por la norma, aunque no resulta un dato desorbitado.

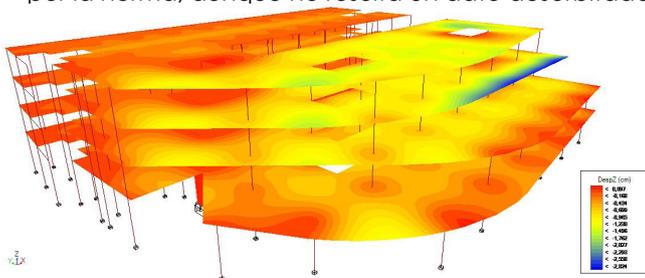


Figura 122. Desplazamiento vertical (eje z). Edificio 'Cascada'.

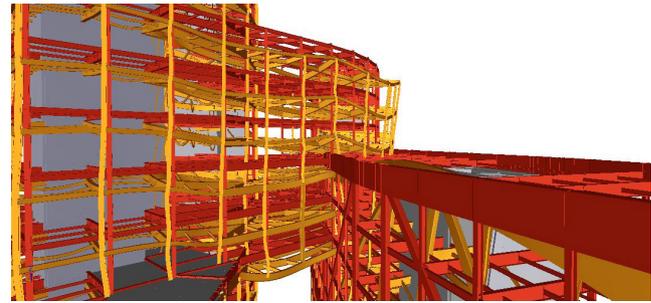


Figura 123. Deformada 'Puente'. ELS1. (f=100)

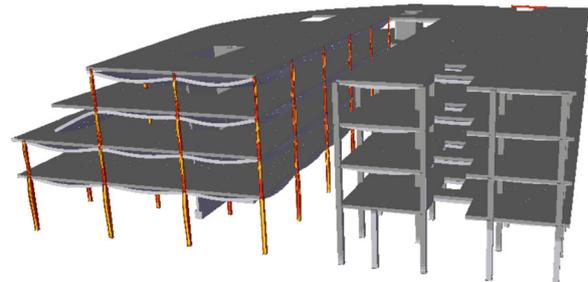
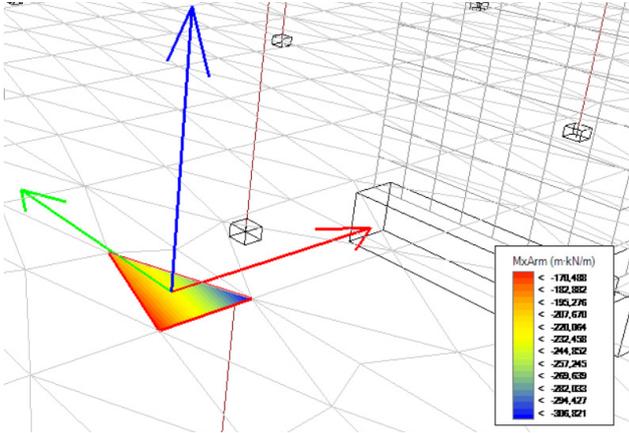
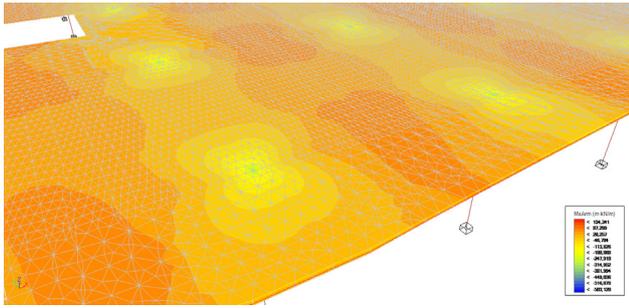


Figura 124. Estructura 'Cascada' con deformada. ELS1 (f=100)

En cuanto a las **solicitaciones**, para la combinación ELU 1 observamos que momento y cortante se concentran, de forma muy puntual, en las zonas de apoyo de la losa en los pilares HEB. Esto es debido al hecho de haber modelizado los pilares como una línea (sin sus verdaderas dimensiones), lo que supone que en el punto de encuentro con la losa se produzca un vértice de momentos, el cual puede llegar a alcanzar valores muy altos y difícilmente asumibles. Pese a esto, es cierto que se producen en muy pocos puntos singulares, los cuales requerirían de un estudio especial para el diseño de la unión.

Sin embargo, el valor del momento en el perímetro del soporte es mucho menor, lo que se comprueba proporcionando el valor del momento sobre algún soporte que corresponda a valores "medios". Así, visualizando las solicitaciones en los elementos finitos más próximos, los cuales se han modelizado en malla de triángulos cuya dimensión de lado medio ronda



Figuras 125a y 125b. Mx para dimensionamiento de losa (E.F).

los 300 mm (lo que se encontraría muy próximo a si perímetro), vemos que los valores descienden desde 306,5 KNm en el pico sobre el pilar hasta valores más admisible en su perímetro de unos 170 KNm. De esta forma, y según la tabla de la *Figura 126*, tendríamos varias posibilidades para su correspondiente armado, asumiendo un espesor de losa de 30 cm, muy cercano a los 28 cm planteados en el proyecto.

Armadura	CANTO 25cm.		CANTO 30cm.		CANTO 35cm.		CANTO 40cm.	
	Mom. Ultimo E-209							
Ø12 cada 10 cm.	81,30 kNm	99,80 kNm	99,10 kNm	122,10 kNm	119,00 kNm	146,80 kNm	136,80 kNm	171,40 kNm
Ø12 cada 15 cm.	49,70 kNm	61,40 kNm	60,40 kNm	74,70 kNm	72,30 kNm	89,50 kNm	84,30 kNm	104,30 kNm
Ø12 cada 20 cm.	41,60 kNm	51,50 kNm	50,50 kNm	62,60 kNm	60,50 kNm	74,90 kNm	70,40 kNm	87,30 kNm
Ø12 cada 25 cm.	33,50 kNm	41,40 kNm	40,60 kNm	50,30 kNm	48,60 kNm	60,20 kNm	56,60 kNm	70,10 kNm
Ø16 cada 10 cm.	138,50 kNm	167,70 kNm	170,50 kNm	207,70 kNm	205,90 kNm	251,90 kNm	241,30 kNm	296,10 kNm
Ø16 cada 15 cm.	86,40 kNm	106,00 kNm	105,50 kNm	129,80 kNm	126,60 kNm	156,20 kNm	147,70 kNm	182,40 kNm
Ø16 cada 20 cm.	72,70 kNm	89,40 kNm	88,50 kNm	109,10 kNm	106,10 kNm	131,00 kNm	123,80 kNm	153,00 kNm
Ø16 cada 25 cm.	58,60 kNm	72,30 kNm	71,30 kNm	89,10 kNm	85,40 kNm	105,60 kNm	99,80 kNm	123,20 kNm
Ø20 cada 10 cm.	202,90 kNm	240,90 kNm	253,30 kNm	303,60 kNm	309,30 kNm	373,20 kNm	364,90 kNm	442,90 kNm
Ø20 cada 15 cm.	130,70 kNm	158,60 kNm	160,60 kNm	199,00 kNm	193,80 kNm	237,50 kNm	227,60 kNm	278,60 kNm
Ø20 cada 20 cm.	110,00 kNm	135,00 kNm	135,50 kNm	166,00 kNm	163,10 kNm	200,50 kNm	190,60 kNm	234,80 kNm
Ø20 cada 25 cm.	89,80 kNm	110,10 kNm	109,70 kNm	134,90 kNm	131,70 kNm	162,30 kNm	153,70 kNm	189,60 kNm

Figura 126. Resistencia a flexión de la losa del ábaco. HA-30.

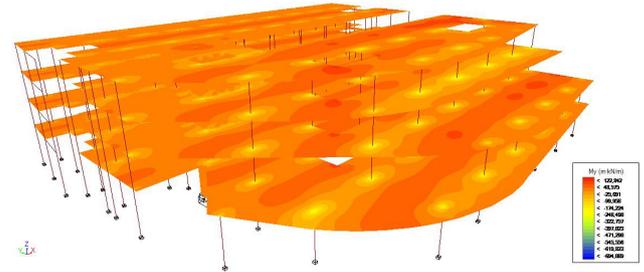


Figura 127. Solicitación My. Edificio 'Cascada'. ELU1: Uso

Además, pese a no haberlo modelizado de tal forma, la solución constructiva precisaría de una estructura auxiliar que, además de evitar el punzonamiento de la losa debido a las tensiones tangenciales, sea capaz de colaborar en la absorción estas elevadas solicitaciones puntuales. No tenemos datos al respecto pero se propone una solución a partir de crucetas conformadas por perfiles UPN que queden embebidos en el canto del forjado en espiral, además de una placa con rigidizadores que actúen a modo de ábaco-capitel en la coronación del pilar (*Figura 128*).

Como conclusión, también podrían proponerse diversas soluciones alternativas para mejorar estos resultados y disminuir las deformaciones de la losa: contraflechas, postesados, etc.



Figura 128. Crucetas UPN con estribos oblicuos embebidas.

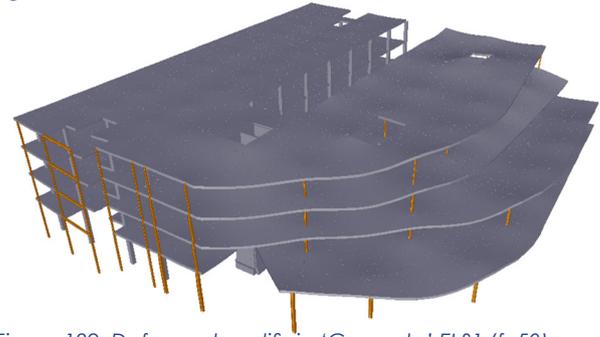


Figura 129. Deformada edificio 'Cascada'. ELS1 (f=50)

4.2. COMPORTAMIENTO GLOBAL

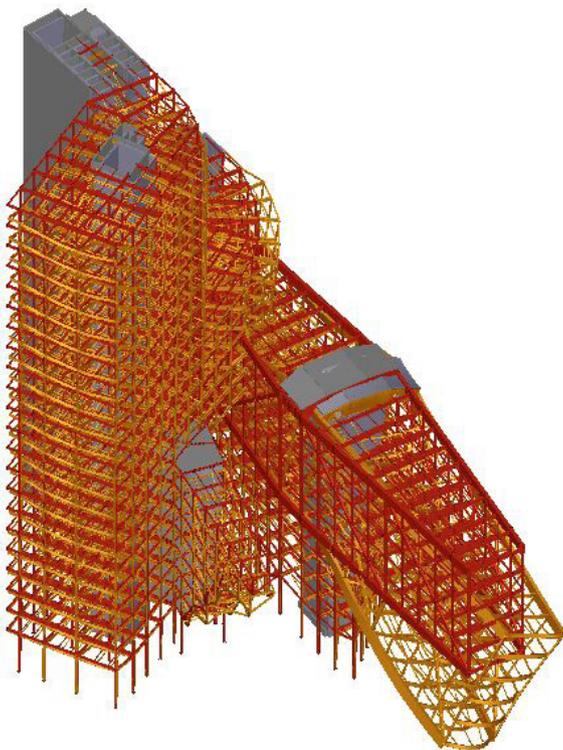


Figura 130. Deformada del conjunto global. ELS 1. (f=100)



Figura 131. Deformada global. ELS 1. (f=50)

En nuestro modelo, realizado exclusivamente para analizar los efectos de las cargas verticales, el conjunto chapa colaborante + capa de compresión de hormigón únicamente se ha tenido en cuenta como un área de reparto bidireccional que transmiten las cargas gravitatorias a las viguetas (peso propio). Sin embargo, como ya hemos comentado con anterioridad, éstos colaboran con los núcleos de hormigón coactuando sus giros y traslaciones, por lo que se deduce que los valores de los desplomes horizontales, e incluso los verticales en menor medida, tendrán valores menores que los obtenidos a través del cálculo.

A pesar de ello, se puede apreciar como el conjunto de vigas, viguetas y zunchos de borde de todos los volúmenes conectados entre sí funcionan como un todo, colaborando y absorbiendo las solicitaciones de forma global a la sustentación del edificio y de ese gran voladizo que lo caracteriza.

Pese a haber introducido únicamente cargas de carácter gravitatorio, observamos que las **deformaciones en la dirección horizontal** son también de importante envergadura (*Figuras 133*), las cuales, como veremos a continuación, han de ser transmitidas al terreno a través de los núcleos de hormigón verticales. El necesario equilibrio de las barras inclinadas de la estructura -diagonales en el edificio Portaaviones y los perfiles mixtilíneos del Capitel- transmiten importantes cargas horizontales a las demás barras de la estructura y a los núcleos, induciéndoles esfuerzos de flexión.

Si atendemos a las deformaciones verticales, como ya hemos comentado en el análisis individual de cada edificio específico, cada volumen se comporta de forma independiente, sin tener apenas influencia en los otros.

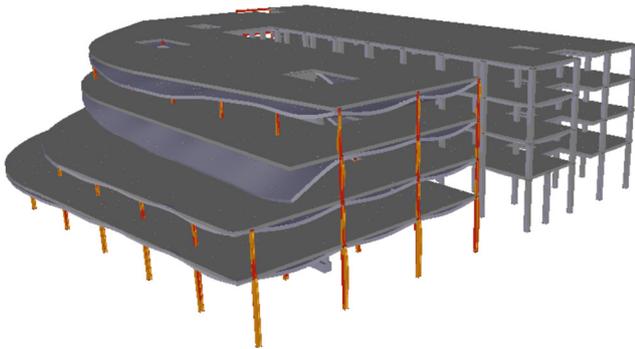


Figura 132. Estructura 'Cascada' con deformada. (f=100)

Por su parte, como ya se ha comentado, el edificio Cascada funciona de manera totalmente independiente al conjunto, encontrando su nexo con la estructura global en el zócalo de sótanos, hasta los cuales descienden los soportes del edificio.

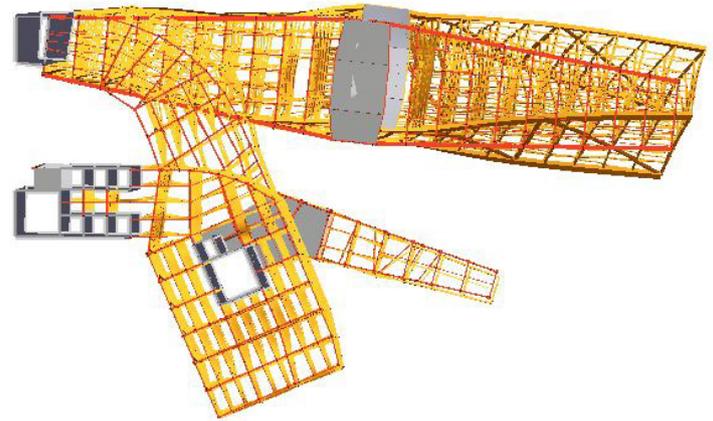


Figura 133. Deformada global horizontal. ELS 1. (f=100)

NUCLEOS DE HORMIGÓN

En cuanto a los **desplazamientos horizontales** de los núcleos se pueden sacar algunas conclusiones respecto a los mecanismos resistentes que presentan y cómo influyen en el conjunto estructural. Los cuatro núcleos principales, además de los dos del edificio Cascada, se han considerado empotrados en el terreno, funcionan como ménsulas sometidas a distinta flexión en sus dos direcciones principales:

En la dirección del eje X (*Figura 134*), únicamente el núcleo N3, correspondiente a la parte central del Portaaviones presenta desplazamientos significativos de hasta 2,7 cm en la dirección transversal al eje del Portaaviones, provocados principalmente, por la excentricidad de las cargas en el elemento de suspensión que producen flexiones en el cuerpo del núcleo, como ya hemos mencionado. Por su parte, los núcleos restantes apenas presentan desplazamientos significativos en este eje, por debajo todos de 1 cm de magnitud.

En la dirección longitudinal, correspondiente al eje Y (*Figura 135*), sin embargo, aunque los mayores desplazamientos vuelven a observarse en el Portaaviones, esta vez es el núcleo N4, situado en la parte dorsal, el que experimenta la máxima deformación, con una magnitud de 4,24 cm -casi el

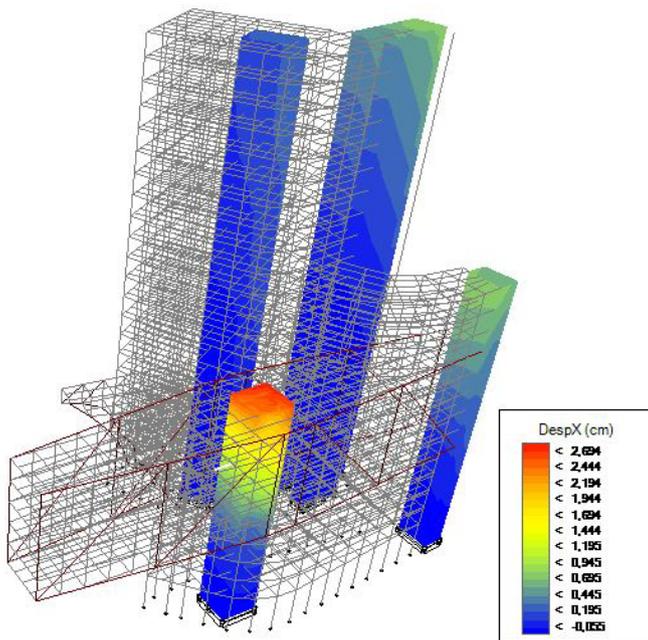


Figura 134. Desplazamientos horizontales (eje X). ELS 1.

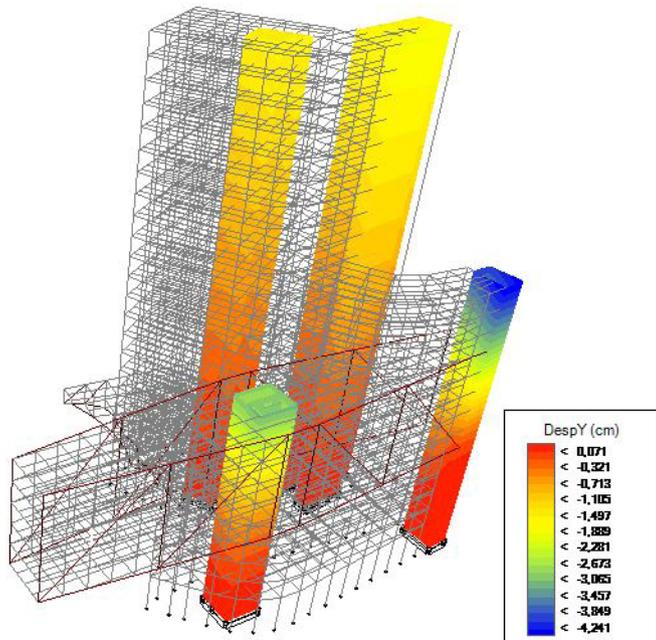


Figura 135. Desplazamientos horizontales (eje Y). ELS 1.

doble que en la dirección perpendicular-origina por el equilibrio frente al vuelco que aporta, suponiendo un gran sistema de compensación del volumen en voladizo. En esta dirección se aprecia como todos los núcleos sufren, en mayor o menor medida, desplazamientos en sus coronaciones con valores entre los 1-3 cm, debidos a la flexión que provoca la excentricidad de ambos voladizos principales, Capitel y Portaaviones.

Fijándonos en las **deformaciones verticales** de los núcleos, vemos que presentan gran rigidez frente a los esfuerzos axiales, siendo el núcleo N1, central de la Torre, el que más se ve influido por la acumulación de los esfuerzos axiales, presentando un desplazamiento del orden 1 cm en su coronación.

No obstante, como cabe esperar por sus características, las mayores deformaciones en el eje Z son las experimentadas por los núcleos del edificio Portaaviones, cuyo desplazamiento horizontal prácticamente en diagonal hacia el espacio de la plaza pública -2,5 cm eje x, 2,6 cm eje y- hace que el vértice de la coronación del núcleo correspondiente al lateral más volado del edificio acabe descendiendo 1,52 cm. (Figura 136)

Otro aspecto a destacar es que algunos puntos de los núcleos N3 y N4, en la medida en que éste último actúa como contrapeso del voladizo, experimenta una deformación positiva, es decir, asciende.

De los gráficos de **tensiones** se puede interpretar que las zonas de los núcleos en las que se produce una mayor concentración de tensiones son aquellas en las que se realiza el enlace con las piezas metálicas de gran formato correspondientes a las cerchas exteriores, ya sea en la zona de empotramiento dorsal en el núcleo N4, en la coronación del N3 donde se concentran las tensiones generadas por el elemento de suspensión o en el núcleo dorsal N2 de la Torre, aunque en menor medida.

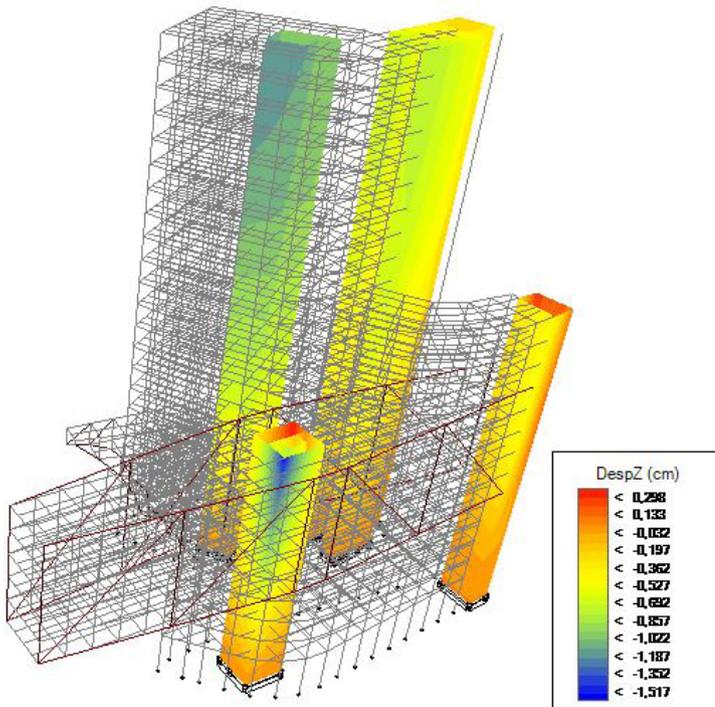


Figura 136. Desplazamiento vertical (eje Z). ELS 1.

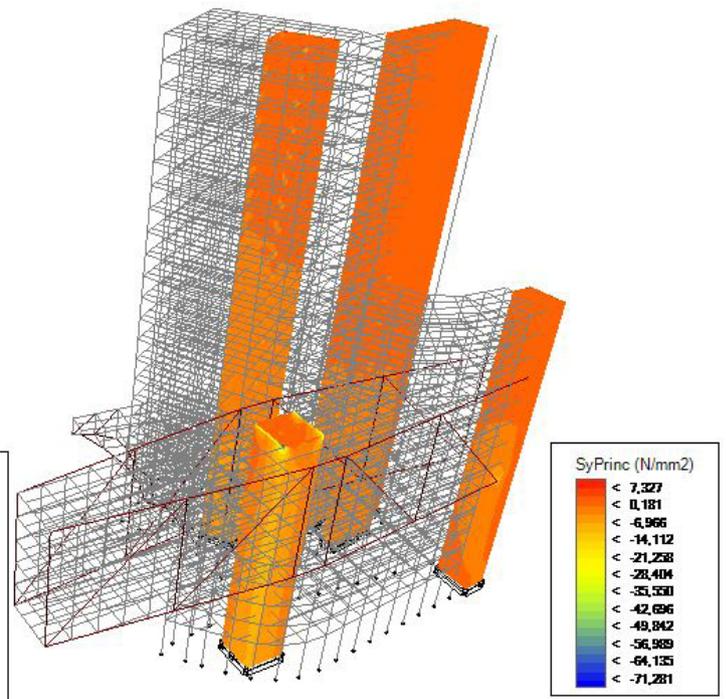
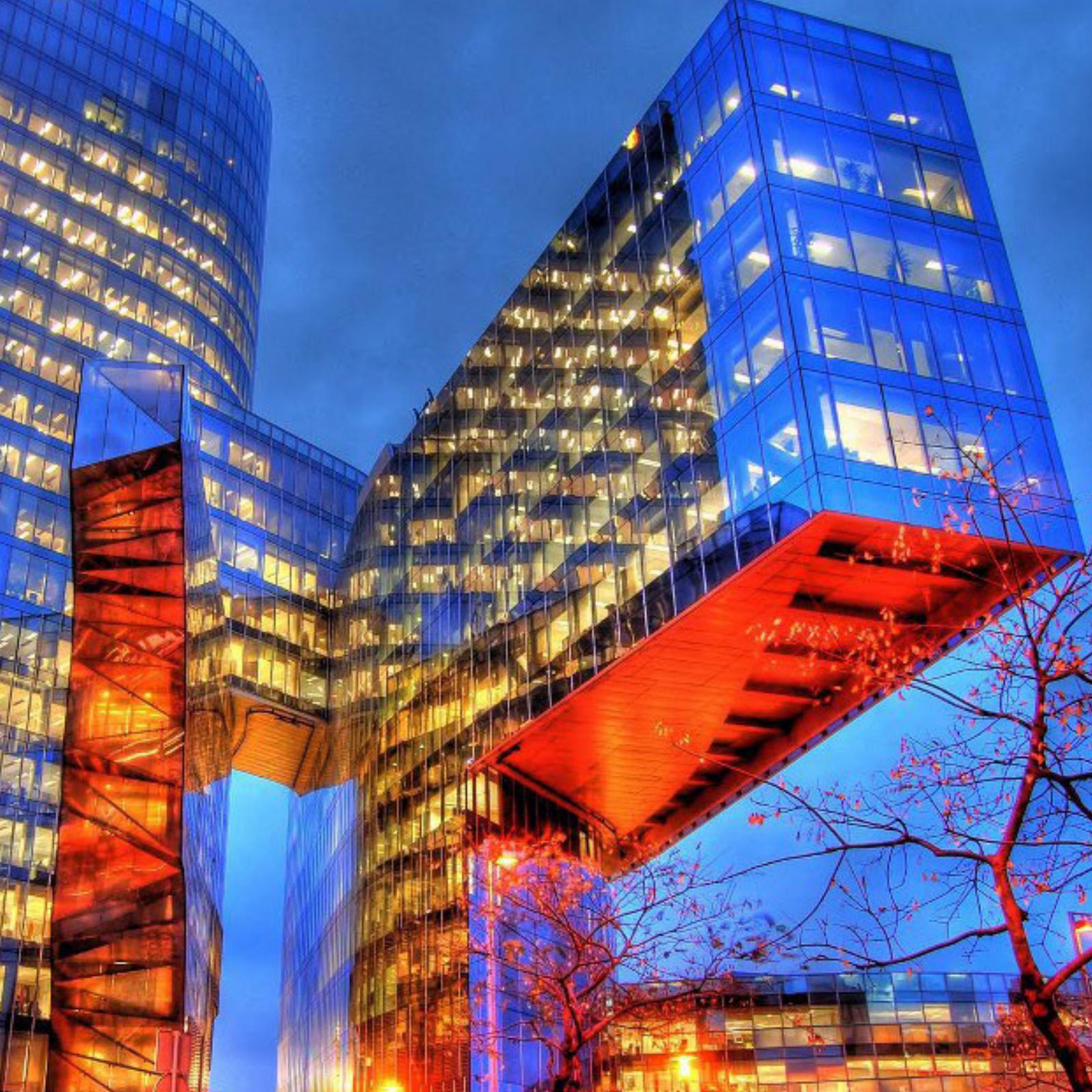


Figura 137. Sy Principales. ELU 1.

Por todo lo visto anteriormente, sobre todo en cuanto a la concentración de tensiones y de elevados valores en los momentos negativos en los empotramientos, es de vital importancia para el funcionamiento de todo el sistema un diseño constructivo adecuado para estas uniones -y todas en general- que garantice la continuidad entre el acero y el hormigón, dos materiales con propiedades muy distintas pero cuya interactividad es esencial para el correcto funcionamiento estructural de éste edificio.



5. CONCLUSIONES

El propósito que Miralles ya plasmaba en sus primeros bocetos para este proyecto era una combinación de tipologías, una macla entre una torre, un elemento rotundamente vertical, y un voladizo, un elemento cuya potencia radica en su prominente horizontalidad. Esta premisa a priori estética o compositiva, tiene sus connotaciones estructurales y una inmediata traducción en una combinación de tipologías estructurales, que deben dialogar entre ellas y encontrar ese vínculo, esa lógica subyacente en el edificio, que consiga darle coherencia de conjunto y lo haga funcionar en todos sus aspectos.

Como ya mencionamos en los objetivos al comienzo del presente trabajo, se ha realizado un análisis exhaustivo de toda esta singular estructura, en sus aspectos globales y particulares, partiendo de los resultados para establecer una idea aproximada de su comportamiento. Del estudio e interpretación de los resultados obtenemos unas conclusiones, unas pautas y unas limitaciones, que además de ayudarnos a comprender la estructura, aspiran a ser extrapolables a otros edificios que planteen sistemas estructurales parecidos.

En primera instancia el edificio se divide en dos partes diferenciadas, una aérea y ligera y otra monolítica subterránea la cual debe sustentar la anterior, lo que hace al final que el comportamiento de la estructura sea resultado de una actuación conjunta del acero y el hormigón, respectivamente:

Por una parte, los elementos solicitados a tracción y flexión se proyectan con soluciones de **acero**. La estructura aérea de barras, proyectada con una solución de acero a base de piezas que trabajan principalmente a flexión, a excepción de los pilares y la gran celosía que resuelve el Portaaviones. Estos elementos -los de la celosía- trabajan mayoritariamente a grandes axiles, absorbidos sin problemas por los grandes perfiles huecos dispuestos, los cuales presentan una respuesta favorable a los esfuerzos de tracción y se comportan mucho mejor que los perfiles en doble T frente al pandeo en los casos de altas compresiones. Además, como se ha observado en el análisis, el peso propio es la carga que mayor efecto tiene sobre la estructura, por lo que las soluciones en acero, con menores pesos propios que las de hormigón armado, producirán menores solicitaciones y deformadas. La elección del acero

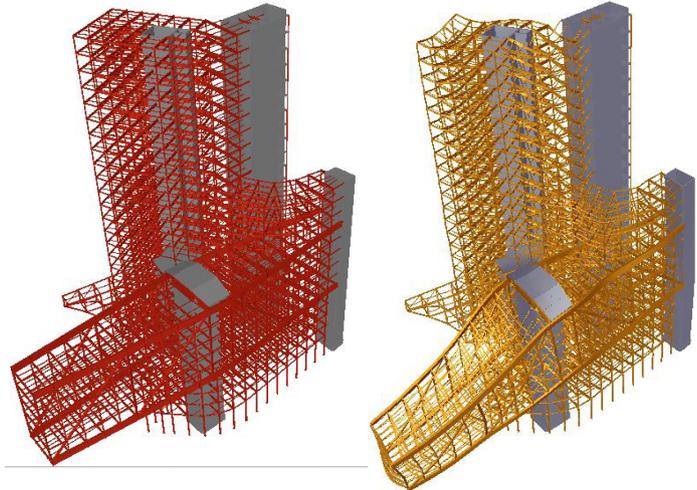
además permite, hasta cierto punto, que gran parte de las uniones sean en seco y se puedan realizar en taller, produciendo una obra mucho más prefabricada con una ejecución y un montaje relativamente rápido y sencillo.

Por otro lado, el uso del **hormigón** se relega a los elementos que trabajan principalmente a compresión: el zócalo de sótanos, el cual no se ha tenido en cuenta en la elaboración del modelo, los núcleos rígidos, los cuales son los encargados de recoger las cargas de toda la trama de elementos metálicos y transmitir las al terreno, y la capa de compresión maciza de 10 cm de cada forjado dispuesta sobre la chapa grecada. Estos elementos trabajan con axiles de compresión de gran magnitud, produciéndose importantes picos tensionales con solicitaciones muy concentradas y de valores muy altos. El uso de este material en estos elementos evita la aparición de problemas que si se realizaran con acero sería muy difícil evitar, tales como la inestabilidad, los alabeos, etc., lo cual da coherencia al empleo de una estructura mixta, cuyos comportamientos resistentes se complementen y se suplementen mutuamente.



Figura 138. Montaje del muro cortina en el 'Portaaviones'.

Figura 139a y 139b. Comparación deformada-indeformada ($f=100$)



Abordando de forma individual cada uno de los **distintos volúmenes** del conjunto, se han obtenido una serie de deformaciones y solicitaciones específicas. Aunque no puedan ser tomadas como valores totalmente verídicos, las **flechas** producidas pueden servir como una buena aproximación hacia las flechas posibles del edificio real. Estas deformaciones, como se ha observado, quedarían en torno a valores límite de $L/300$ y $L/350$ establecidos por la norma.

Sin embargo, es importante ser consciente del hecho de que, aún siendo admisibles, se trata de flechas de valores absolutos muy altos. El enorme vuelo de 40 metros del edificio Portaaviones hace que se establezcan unos valores admisibles muy altos, con la flecha máxima en la punta del voladizo del orden de 15 cm. Esto tiene un enorme impacto en el proceso constructivo de la obra y conlleva un cuidado especial a la hora de prever los posibles movimientos de elementos constructivos y sus tolerancias, teniendo que atender en todo momento a las distintas fracciones de la flecha -instantánea, diferida y total- para el diseño y puesta en obra de elementos del interior: las carpinterías, despieces interiores, pavimentos, tabiquería...

Por otro lado, también primero de forma individual para luego aplicarla al conjunto del edificio, se han realizado una serie de conclusiones a partir de las **solicitaciones** observadas en los resultados del análisis. Sin embargo, aunque estos resultados obtenidos han sido especialmente útiles para conocer la forma de trabajo de cada uno de los elementos y las relaciones entre los mismos, debemos tener claro que son una mera aproximación, resultante de nuestro modelo simplificado. Aún así, nos sirven para establecer las primeras intuiciones sobre si los elementos dispuestos están correctamente dimensionados o si se produciría agotamiento por tensiones excesivas.

Para conocer las solicitaciones de las piezas de forma exacta se debería llevar a cabo un estudio más exhaustivo y un modelo mucho más preciso, teniendo en cuenta en detalle las condiciones de enlace y los **encuentros** entre los distintos elementos de la estructura. Un apartado específico a tener muy en cuenta sería la unión entre los núcleos rígidos verticales y el entramado aéreo de barras metálicas, puntos donde concentran tensiones con valores muy altos y en los que habrá que asegurar que las solicitaciones no producen agotamiento de las piezas, debiendo prever posibles refuerzos en algunas de las piezas con solicitaciones más conflictivas. El edificio se sirve en su conjunto de una variedad de soluciones tecnológicas y constructivas de diversa índole, más propias del campo de la ingeniería. Así, se combina el acero y hormigón para resolver sendos voladizos -Portaaviones y Capitel-, cada cual con diferentes características, y la torre, garantizando la interacción del conjunto mediante un volumen pasante que conecta los diferentes sistemas. Uno de los aciertos que producen un edificio estructuralmente coherente es la correcta elección de los materiales necesarios para cada elemento y, por supuesto, el aprovechamiento de las máximas dimensiones externas de las formas arquitectónicas requeridas para lograr respuestas deformacionales de gran rigidez y máxima funcionalidad mediante la disposición de piezas lo más ligeras y económicas posibles.

Además, esta disposición también da lugar a conseguir procesos constructivos muy favorables, que aprovechan la capacidad autoevolutiva de estas tipologías*(mirar anexo constructivo), con el fin de evitar el empleo de grandes cimbras o sistemas auxiliares provisionales importantes.

En este sentido, la mayoría de estructuras que se proyectan son hiperestáticas, y eso significa que aumentan considerablemente su coeficiente de seguridad en situaciones accidentales o de mala ejecución, porque disponen de soportes "redundantes" de cara a su estabilidad global.[27] Sin embargo, en los voladizos no es así, por lo que si se ejecuta mal la unión o esta deja de funcionar correctamente, el voladizo pierde su condición estable y colapsa irremediablemente, mientras que las estructuras convencionales precisan la confluencia simultánea muchos más puntos fallidos para su colapso. Es por ello que, además de las altas solicitaciones y elevadas concentraciones de tensiones en los puntos de encuentro, entre barras y con los núcleos, el diseño deberá prever cómo afrontar estas concentraciones y se puede multiplicar la responsabilidad de determinados puntos constructivos y paralelamente, su coste y complejidad de ejecución y puesta en obra.



Figura 140. Montaje de la estructura del 'Portaaviones'

Extraídas las conclusiones sobre el modelo, estamos en disposición para arrojar luz sobre la realidad estructural del edificio, el cual, como toda obra controvertida y alejada de los cánones arquitectónicos y estructurales convencionales, es susceptible de **juicio y crítica**. Hemos de cuestionarnos la verdadera necesidad de establecer unos cuerpos volados de tales dimensiones; si renta disminuir los vuelos en estos cuerpos o disponer apoyos intermedios y, en tal caso, en beneficio de qué; si es lícito poner la estructura al servicio de la imagen arquitectónica -y corporativa, en este caso, por ser Gas Natural- y el espacio público; si realmente es eficiente y merece la pena afrontar los inconvenientes -sobrecostes, estabilidad del edificio, las elevadas vibraciones que en él se provocan, la continua sensación de inseguridad, etc.-; si existe coherencia y racionalidad constructiva y se están empleando los materiales con el rendimiento exigible a nuestro tiempo, en los que la sostenibilidad es de vital importancia; etc. Al final, todo son meras cábalas que cada individuo, técnico o no de la profesión puede plantearse en la medida en que puede interaccionar con el edificio, pero que pasan a ser cuestiones de crucial importancia cuando se trata de encontrar la solución adecuada, para esta tipología estructural en concreto, durante el proceso de diseño.

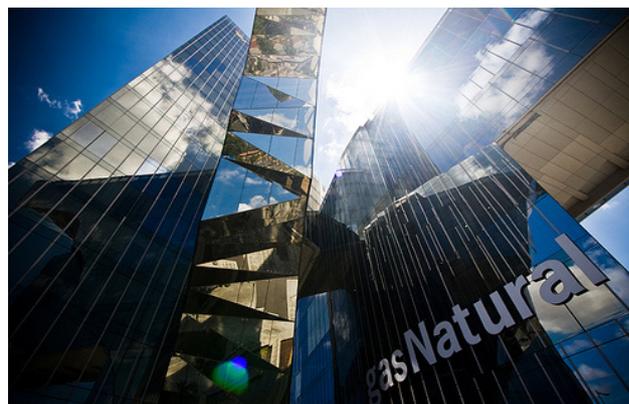


Figura 141. Acceso principal del Edificio Gas Natural.

En definitiva, con todo lo expuesto se pretende conocer y estudiar la lógica estructural de los edificios que deban solucionar grandes cuerpos volados, con el fin de aplicar los conceptos subyacentes a esta tipología estructural, extrapolándolos al diseño de edificios de similares características. La labor del arquitecto consistirá en producir un edificio de calidad arquitectónica teniendo en cuenta estas limitaciones, e integrando la estructura dentro del proyecto arquitectónico de forma armoniosa, racional y coherente.

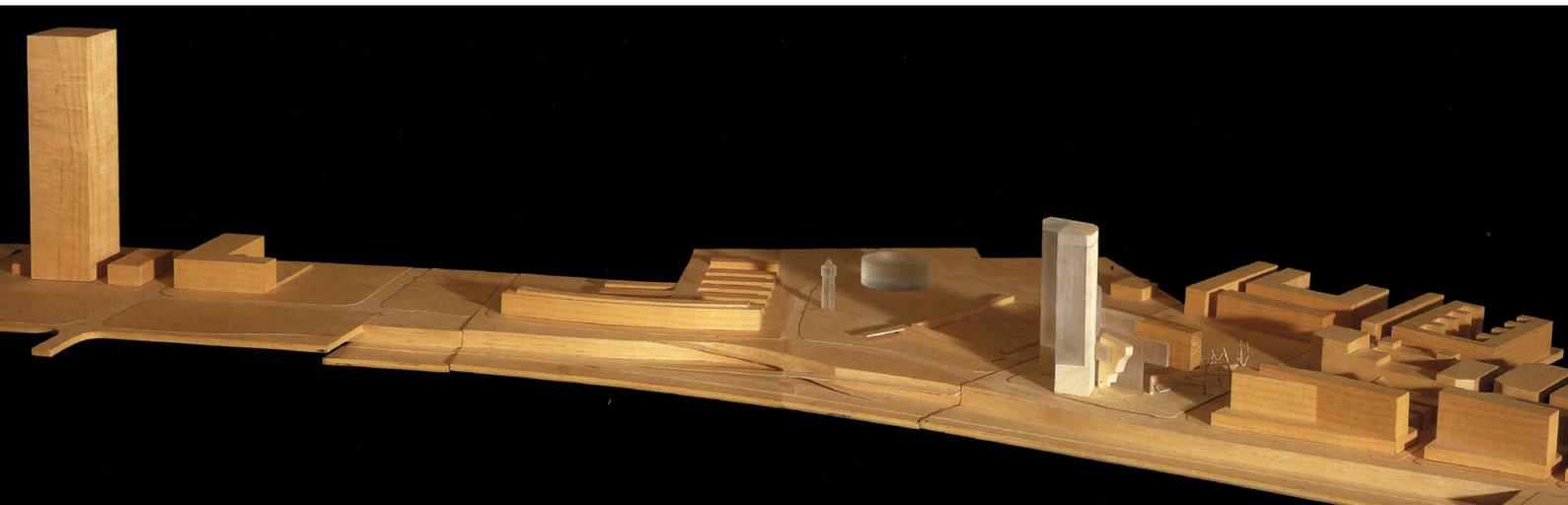


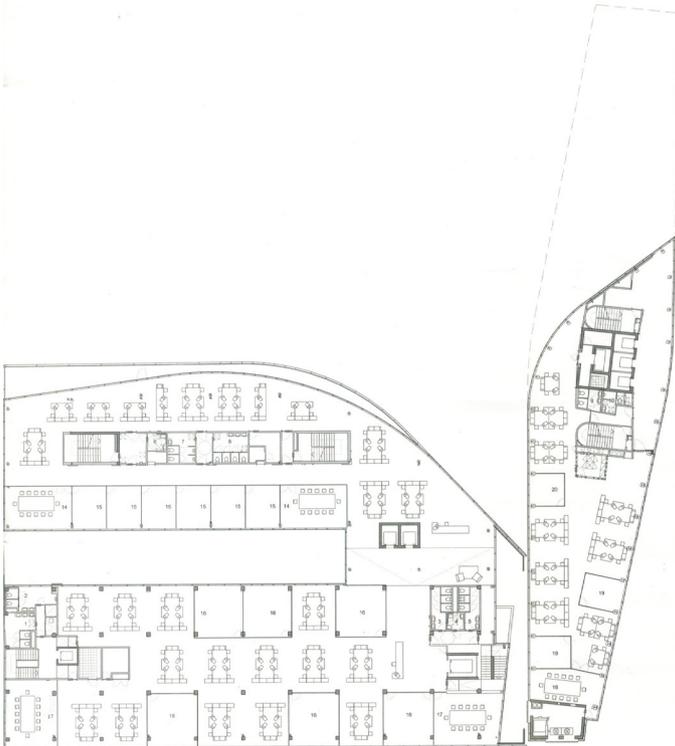
Figura 142. Edificio Gas Natural. Maqueta de entorno. Fase de proyecto.

6. ANEXOS

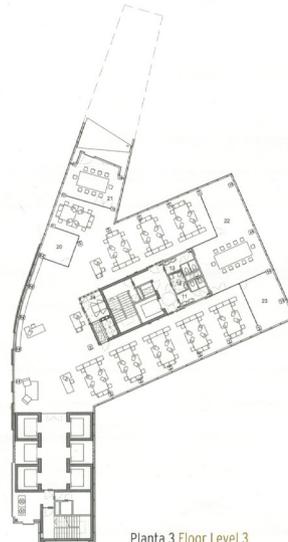
1	Baño femenino 1	11,98 m ²	1	Women's bathroom 1	11,98 m ²
2	Baño masculino 1	11,84 m ²	2	Men's bathroom 1	11,84 m ²
3	Baño masculino 2	9,36 m ²	3	Men's bathroom 2	9,36 m ²
4	Baño minusválidos 1	3,47 m ²	4	Bathroom for disabled 1	3,47 m ²
5	Baño femenino 2	9,36 m ²	5	Women's bathroom 2	9,36 m ²
6	Baño minusválidos 2	4,17 m ²	6	Bathroom for disabled 2	4,17 m ²
7	Baño masculino 3	10,01 m ²	7	Men's bathroom 3	10,01 m ²
8	Baño femenino 3	12,72 m ²	8	Women's bathroom 3	12,72 m ²
9	Baño femenino 4	5,74 m ²	9	Women's bathroom 4	5,74 m ²
10	Baño masculino 4	4,70 m ²	10	Men's bathroom 4	4,70 m ²
11	Baño femenino 5	6,25 m ²	11	Women's bathroom 5	6,25 m ²
12	Baño minusválidos 3	3,45 m ²	12	Bathroom for disabled 3	3,45 m ²
13	Baño masculino 5	6,25 m ²	13	Men's bathroom 5	6,25 m ²
14	Sala de reuniones 1	35,94 m ²	14	Meeting room 1	35,94 m ²
15	Despacho 1	18,08 m ²	15	Office 1	18,08 m ²
16	Despacho 2	31,26 m ²	16	Office 2	31,26 m ²
17	Sala de reuniones 2	44,00 m ²	17	Meeting room 2	44,00 m ²
18	Sala de reuniones 3	31,50 m ²	18	Meeting room 3	31,50 m ²
19	Despacho 3	16,00 m ²	19	Office 3	16,00 m ²
20	Despacho 4	14,00 m ²	20	Office 4	14,00 m ²
21	Sala de reuniones 4	28,50 m ²	21	Meeting room 4	28,50 m ²
22	Sala de reuniones 5	63,87 m ²	22	Meeting room 5	63,87 m ²
23	Despacho 5	23,00 m ²	23	Office 5	23,00 m ²
24	Instalaciones		24	Facilities	

1	Baño	9,35 m ²	1	Bathroom	9,35 m ²
2	Baño minusválidos 1	3,46 m ²	2	Bathroom for disabled 1	3,46 m ²
3	Sala de reuniones 1	31,50 m ²	3	Meeting room 1	31,50 m ²
4	Despacho 1	16,00 m ²	4	Office 1	16,00 m ²
5	Sala de reuniones 2	38,50 m ²	5	Meeting room 2	38,50 m ²
6	Aseo	1,30 m ²	6	Toilet	1,30 m ²
7	Instalaciones 1	7,80 m ²	7	Facilities 1	7,80 m ²
8	Sala de reuniones 3	26,50 m ²	8	Meeting room 3	26,50 m ²
9	Sala de reuniones 4	63,87 m ²	9	Meeting room 4	63,87 m ²
10	Despacho 2	23,00 m ²	10	Office 2	23,00 m ²
11	Instalaciones 2	7,00 m ²	11	Facilities 2	7,00 m ²
12	Baño femenino	6,25 m ²	12	Women's bathroom	6,25 m ²
13	Baño minusválidos 2	3,45 m ²	13	Bathroom for disabled 2	3,45 m ²
14	Baño masculino	6,25 m ²	14	Men's bathroom	6,25 m ²

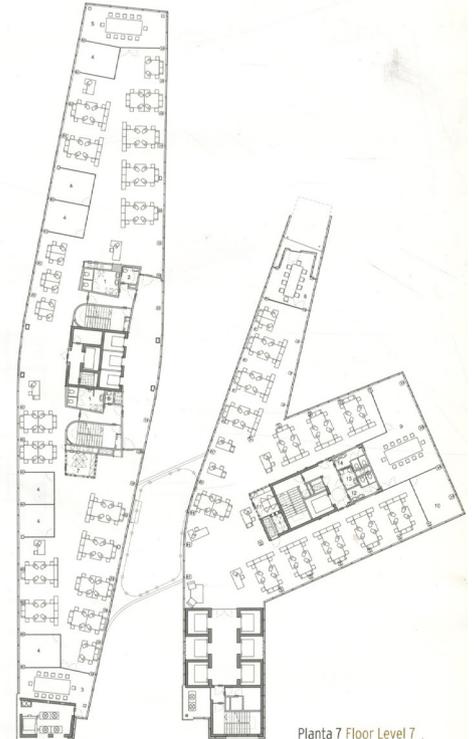
ANEXO I: PLANOS

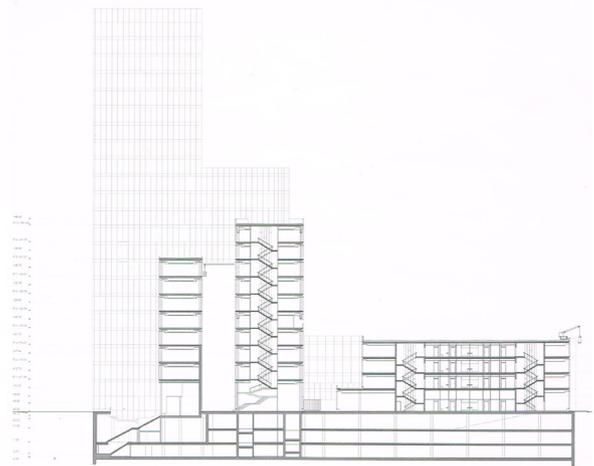
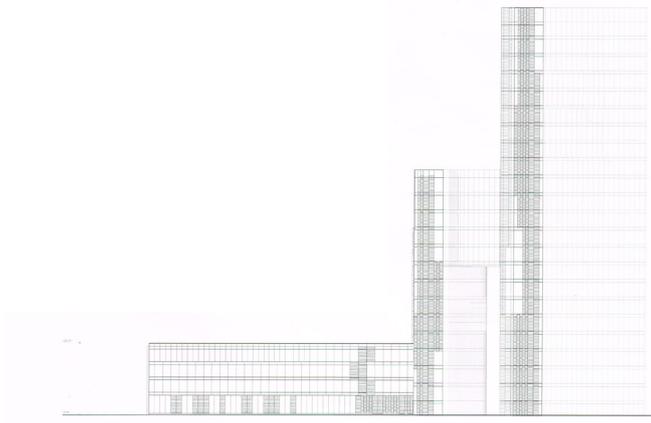


Planta 3 Floor Level 3



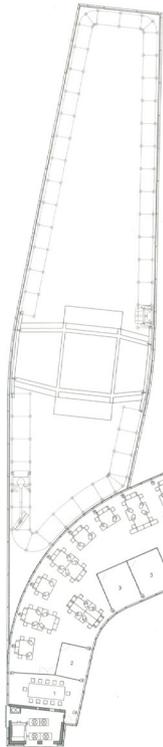
Planta 7 Floor Level 7





ALZADO

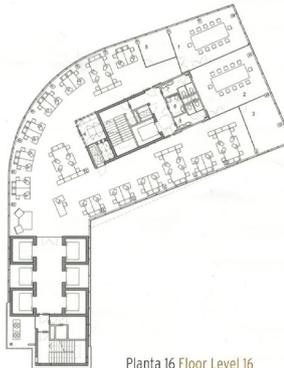
SECCIÓN



1 Sala de reuniones 1	31,50 m ²
2 Despacho 1	12,00 m ²
3 Despacho 2	16,00 m ²
4 Sala de reuniones 2	38,76 m ²
5 Sala de reuniones 3	36,40 m ²
6 Despacho 2	23,00 m ²
7 Instalaciones 2	7,00 m ²
8 Baño femenino	6,25 m ²
9 Baño minusválidos 2	3,45 m ²
10 Baño masculino	6,25 m ²

1 Meeting room 1	31,50 m ²
2 Office 1	12,00 m ²
3 Office 2	16,00 m ²
4 Meeting room 2	38,76 m ²
5 Meeting room 3	36,40 m ²
6 Office 2	23,00 m ²
7 Facilities 2	7,00 m ²
8 Women's bathroom	6,25 m ²
9 Bathroom for disabled 2	3,45 m ²
10 Men's bathroom	6,25 m ²

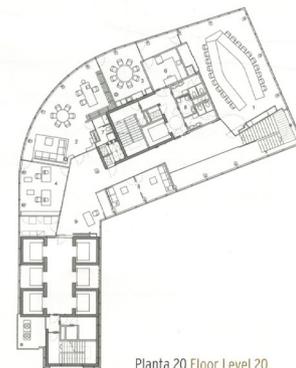
Planta 11 Floor Level 11



1 Sala de reuniones 1	38,76 m ²
2 Sala de reuniones 2	36,40 m ²
3 Despacho 1	23,00 m ²
4 Instalaciones	7,00 m ²
5 Baño femenino	6,25 m ²
6 Baño minusválidos	3,45 m ²
7 Baño masculino	6,25 m ²
8 Despacho 2	13,62 m ²

1 Meeting room 1	38,76 m ²
2 Meeting room 2	36,40 m ²
3 Office 1	23,00 m ²
4 Facilities	7,00 m ²
5 Women's bathroom	6,25 m ²
6 Bathroom for disabled	3,45 m ²
7 Men's bathroom	6,25 m ²
8 Office 2	13,62 m ²

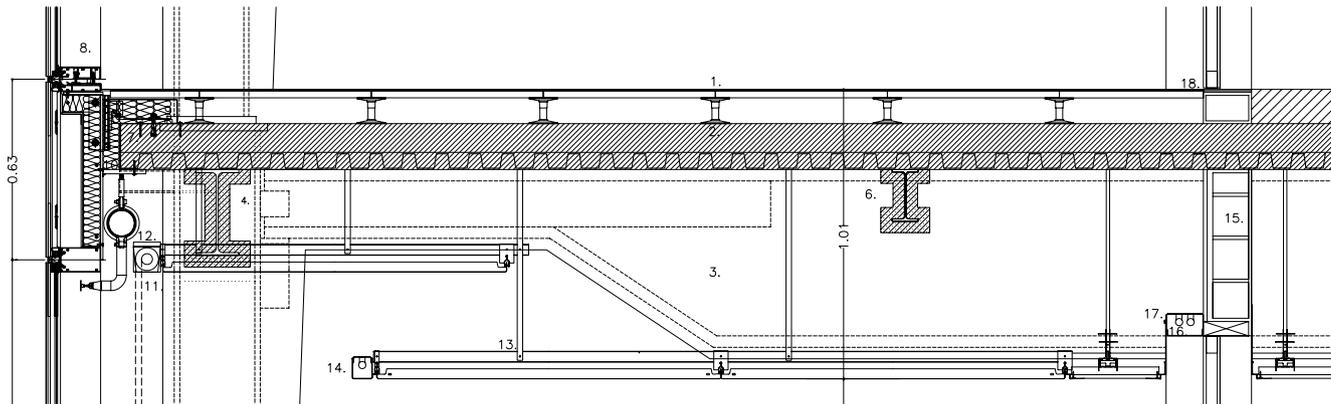
Planta 16 Floor Level 16



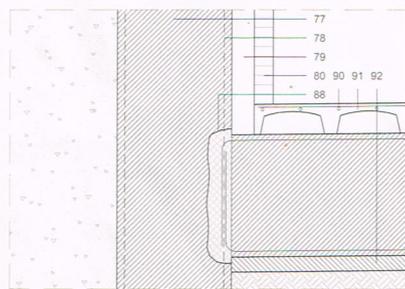
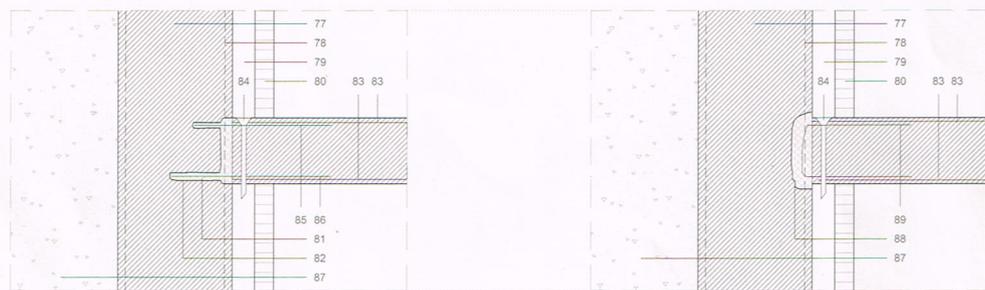
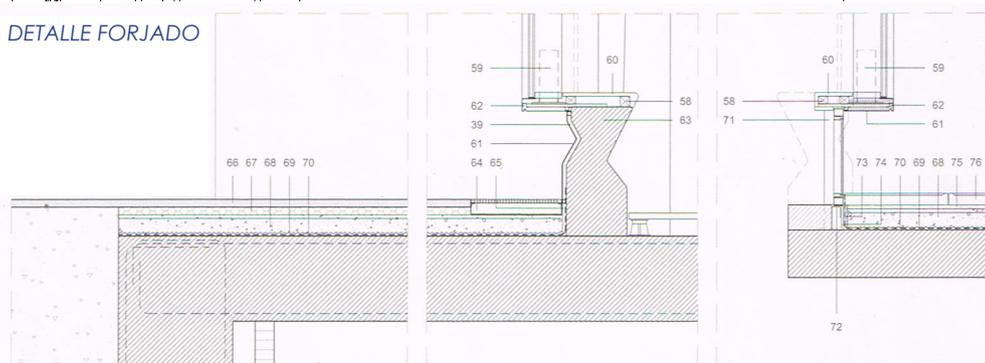
1 Sala de consejo	86,16 m ²
2 Despacho	66,70 m ²
3 Sala reuniones	26,23 m ²
4 Secretaria	27,64 m ²
5 Despacho sala de espera	21,52 m ²
6 Cocina	13,95 m ²
7 Lavabo del despacho	3,20 m ²
8 Servicios	16,50 m ²
9 Conserje	18,90 m ²

1 Board room	86,16 m ²
2 Office	66,70 m ²
3 Meeting room	26,23 m ²
4 Secretary's office	27,64 m ²
5 Office / waiting room	21,52 m ²
6 Kitchen	13,95 m ²
7 Office toilet	3,20 m ²
8 Bathroom	16,50 m ²
9 Doorman	18,90 m ²

Planta 20 Floor Level 20



DETALLE FORJADO



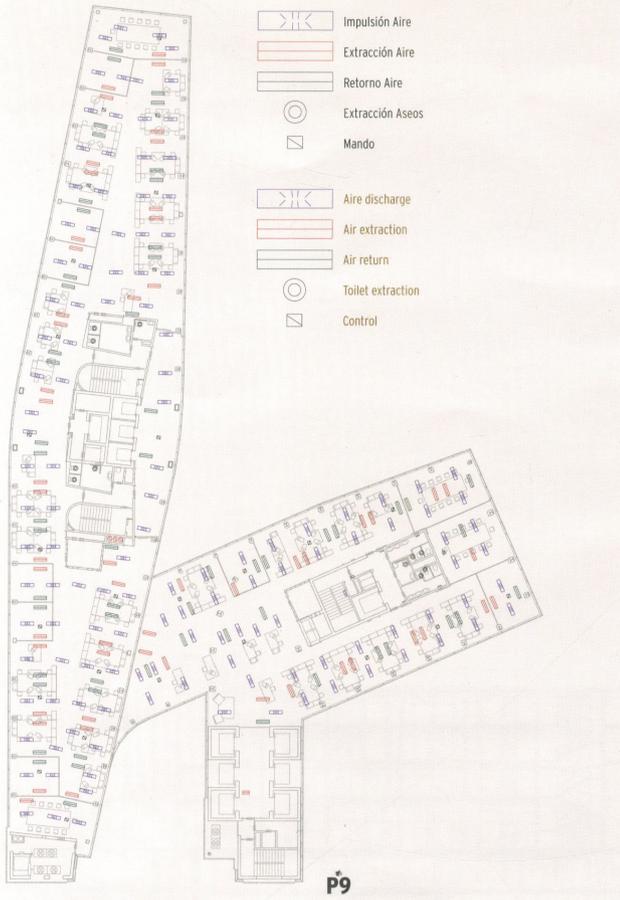
DETALLE SÓTANO



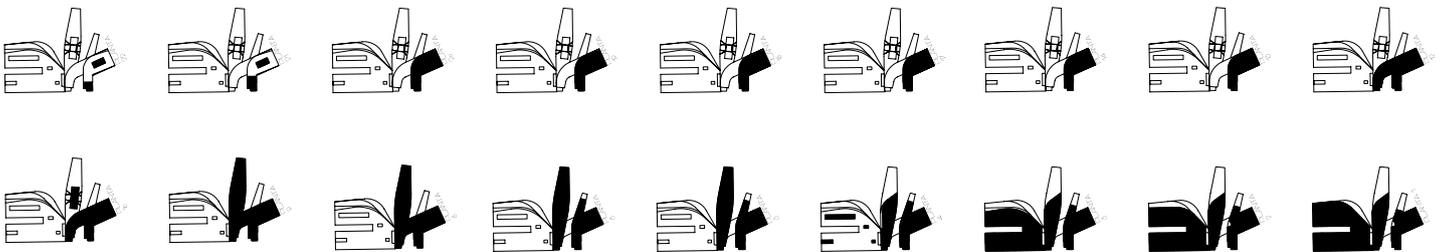
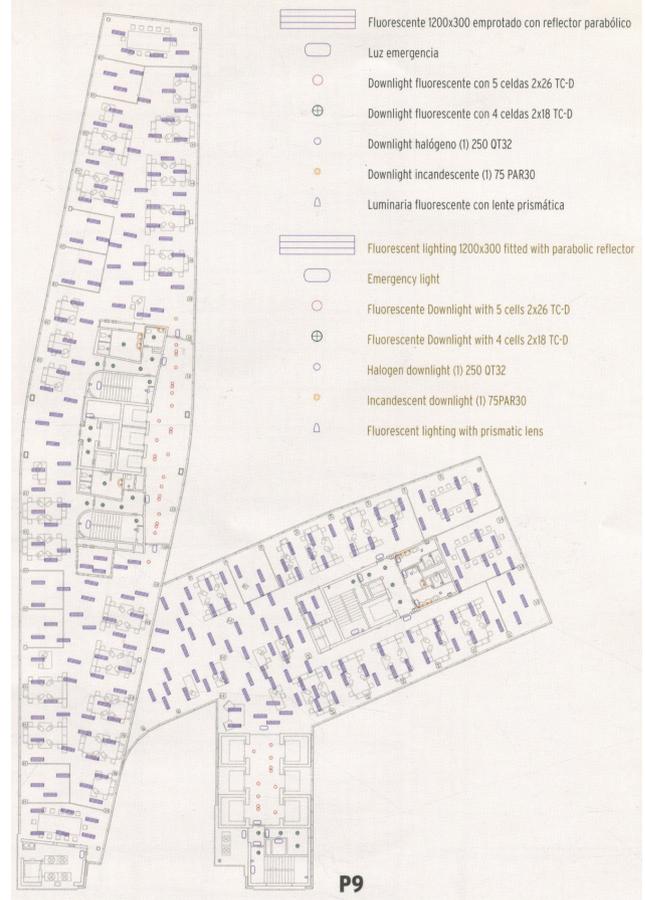
PLANTA COTA 0

TORRE MARENO/TRUM
EMBT ENRICH MALLÉ / BENEDETTA TAGLIABUE

PLANTA CLIMATIZACIÓN
AIR CONDITION FACILITIES



PLANTA ILUMINACIÓN
LIGHTING FACILITIES



DESARROLLO EN ALTURA. ESTRATOS

ANEXO II: PROCESO CONSTRUCTIVO

Todo el conjunto, a excepción de los edificios Capitel y Portaaviones, presenta, en términos generales, una ejecución de tipo convencional que no requiere exposición específica. Por el contrario, dichos edificios fueron ejecutados mediante procedimientos especiales para limitar los medios a utilizar aprovechando la autocapacidad evolutiva de las propias megaestructuras empleadas.

EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL “CAPITEL”

El proceso constructivo de este edificio resulta bastante próximo a un esquema convencional a excepción de algunos aspectos que debían ser tenidos en consideración en su secuencia evolutiva.

1) No se podía iniciar el montaje de ninguna planta sin estar completadas, con una edad al menos de 21 días, las dos losas macizas de dicha planta y la inmediatamente superior de la Torre, situadas en las zonas adyacentes al Capitel y el núcleo N1, para garantizar la transmisión a dicho núcleo de las fuerzas horizontales provenientes del Capitel, producidas por el desvío de los soportes inclinados del mismo.



2) La colocación de los tramos de las piezas de borde mixtilíneas, no se efectuaba hasta tanto no estaba completamente terminada la estructura metálica de las plantas situadas por debajo del nivel superior de dichas piezas en ambas fachadas, incluso colocadas las chapas plegadas de los forjados.

3) El proceso de montaje requirió llevar lo más paralelamente posible ambas fachadas e ir uniendo ambas con las vigas transversales entre nudos.

4) La ejecución de losas se realizó efectuando el hormigonado lo más próximamente posible al acabado del montaje de la estructura metálica de cada planta.

EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL "PORTAAVIONES"

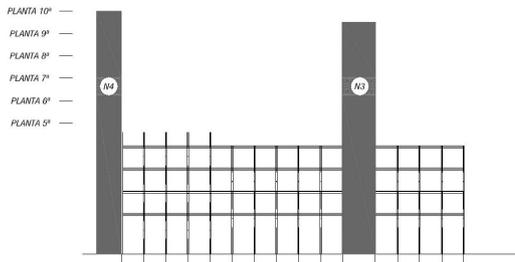
La secuencia de ejecución respondió al siguiente proceso:

Fase 1

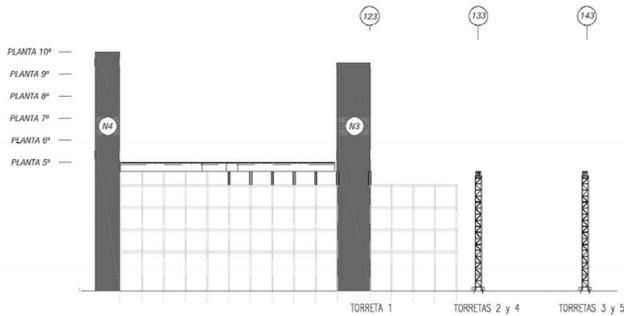
- Ejecución de núcleos y estructuras de plantas inferiores del edificio.

Fase 2

- Colocación de fustes auxiliares de continuidad entre planta 4ª y fondo del cordón inferior de las celosías.
- Colocación de torretas 1 a 5 bajo los soportes nº 123, 132, 143, 142 y 133 unidas a la losa de planta baja.
- Disposición de los arriostramientos entre torretas.



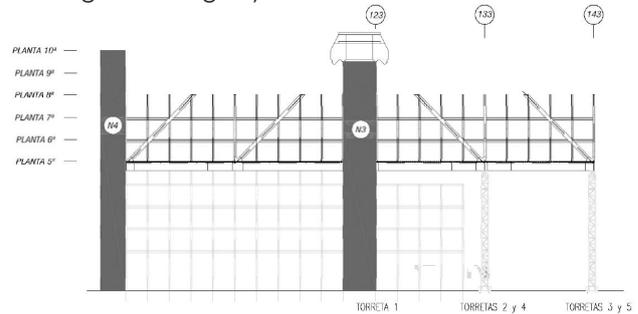
FASE 1



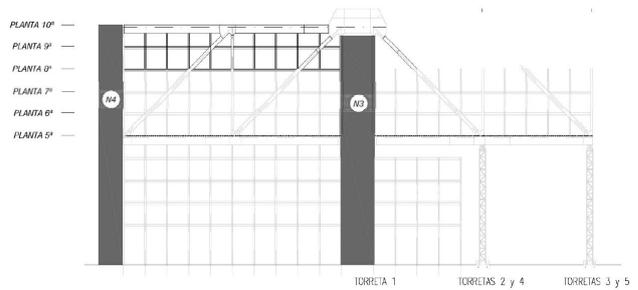
FASE 2

Fase 3

- Construcción simultánea de la estructura de las plantas 5ª, 6ª y 7ª; tanto en el edificio en su parte dorsal, como en la frontal en voladizo; homigonando la totalidad de la planta 5ª antes de realizar las estructuras metálicas de plantas 6ª y 7ª.
- Montaje en la coronación del núcleo N3 de las vigas y elementos metálicos de suspensión de las grandes celosías de fachada.
- Ejecución de la losa inferior de la gran viga cajón de suspensión, colgando sus encofrados de las piezas metálicas de suspensión antedichas y de las paredes del núcleo N3.
- Ejecución del revestimiento de hormigón de las almas de las grandes vigas y de las celosías transversales.



FASE 3



FASE 4



- Ejecución y pretensado de la losa superior de la gran viga cajón de suspensión.

Fase 4

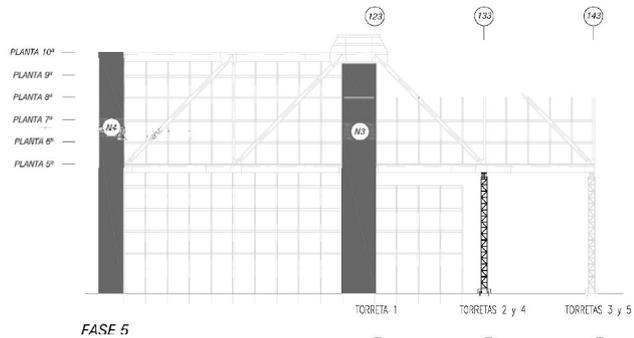
- Cierre del primer módulo frontal de las celosías principales.

Fase 5

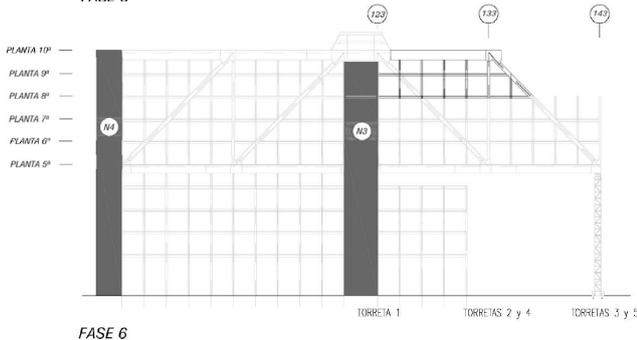
- Desapeo de torretas 1, 2 y 4.
- Continuación de la ejecución de plantas del primer recuadro de las celosías frontales.

Fase 6

- Cierre completo del primer recuadro y de las barras de diagonales del segundo recuadro.
- Terminación de la ejecución de plantas del primer recuadro.



FASE 5



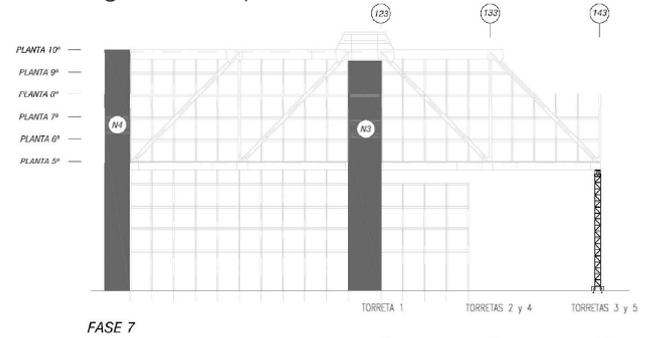
FASE 6

Fase 7

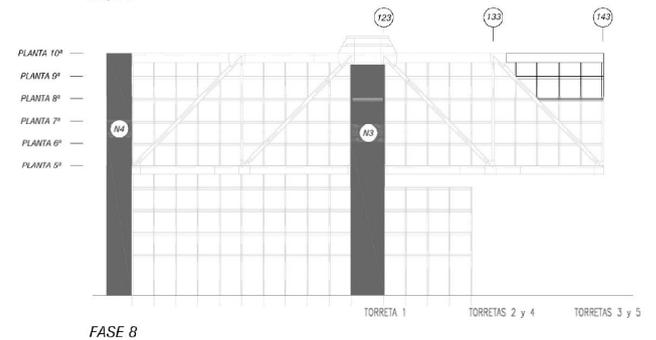
- Desapeo de torretas 3 y 5.
- Las flechas de desapeo previstas para esta segunda maniobra eran de 20 mm, obteniéndose valores de 17 y 18 mm.
- Retirada de celosía auxiliar de la fachada frontal.
- Continuación de la ejecución de plantas del segundo recuadro de las celosías frontales.
- Hormigonado de plantas de zona frontal.

Fase 8

- Cierre completo de la estructura del 2ª recuadro frontal.
- Terminación de la ejecución de plantas del segundo recuadro frontal.
- Hormigonado de plantas restantes de zona frontal.



FASE 7



FASE 8



ANEXO III: ARTÍCULOS RELACIONADOS

EL VOLADIZO: ¿UN RECURSO O UNA OBSESIÓN?

Agosto 17, 2015 | P | A

Resulta interesante pararnos a reflexionar sobre cual es y ha sido estos últimos años el papel en la arquitectura del recurso estructural más recurrente en aeronáutica: el voladizo. A grandes rasgos, y para sorpresa de muchos, un avión no es nada más que un enorme voladizo sostenido por sus alas, convirtiéndose en un punto de apoyo gracias a la presión vertical del aire que les confiere su geometría y la velocidad del aparato; es decir, los dos extremos quedan sostenidos a muchos metros de su apoyo, y eso explica que sea en esas zonas donde se perciben más sus movimientos.

Hace algunos años seguramente nos habría costado más entender esta analogía tan sencilla, justamente porque la arquitectura estaba lejos de hablar en estos términos, y técnicamente ni siquiera rivalizaba con otras disciplinas más perfectas. El voladizo era, sin más, un recurso arquitectónico recurrente que se utilizaba para conseguir un control climático óptimo en las aperturas, acompañar la entrada de algunos edificios y ganar algunos metros más a la calle. Antes de 1900, encontraríamos muy pocos ejemplos de voladizos en edificios; en este sentido, la incorporación de nuevos materiales en la construcción durante la Revolución Industrial fue verdaderamente decisiva. El uso reiterado del hormigón armado hizo que el voladizo se extendiera como



Casa Kaufmann (o casa de la cascada) se encuentra en Bear Run, Pensilvania. Fue construida entre los años 1936 y 1937.

recurso arquitectónico del Movimiento Moderno y que algunos arquitectos de reconocida influencia, hicieran de este recurso su bandera.

El primero en elevar el voladizo a una categoría mágica, fue sin ningún tipo de duda Frank Lloyd Wright. En sus reconocidas casas de campo americanas, Wright apuesta por distinguir y prolongar los espacios interiores precisamente a través de

volar generosamente las cubiertas planas e inclinadas en los puntos de encuentro con las fachadas. La ligereza que desprende su arquitectura es magistral y marca un punto y aparte en la historia; otros arquitectos habían planteado el vuelo en sus proyectos, pero ninguno lo había hecho con acierto y entusiasmo tan abrumadores. Fue justamente el fuerte contraste entre esta ligereza ingrátida de las formas y el arduo peso de los materiales pétreos, fuertemente vinculados al territorio, lo que convirtió a Wright en un icono de referencia del Movimiento Moderno.

Wright incorporó los voladizos en su arquitectura, porque entendió que las posibilidades que daba la técnica del hormigón armado debían aprovecharse como recurso expresivo y espacial. El armado en el hormigón le concebía la extraordinaria propiedad de resistir también tracciones y esfuerzos elevados, en secciones relativamente esbeltas. Tanto es así, que se percibe un cierto exceso de optimismo en algunas de sus propuestas técnicas y existen determinados momentos en los cuales recurre al engaño perceptivo para poder transmitir su intenso anhelo de volar. Nos referimos a la conocida casa Kaufmann, donde los voladizos permiten colocar determinados espacios de la vivienda literalmente sobre la naturaleza del entorno, integrándose perfectamente en un emplazamiento tan bonito como difícil. La ilusión magistral que transmite este proyecto se ve ligeramente frustrada al comprobar (solo a través de la visita in situ), como la mayoría de losas voladas han deformado excesivamente ya a simple vista, o como la terraza principal sobre la cascada necesita de unos soportes inferiores en ménsula que muy pocas fotografías en los libros han querido reflejar. Unos soportes que permiten volar aún más, unos volúmenes que se perciben mucho más rígidos de lo que en realidad son.

Wright quería ir aún más lejos, y las imágenes que generaba su imaginación ponían a prueba hasta los materiales más modernos. No hay ninguna duda que ha pasado a la historia como un gran maestro en la utilización de la técnica y de los materiales; supo incorporar sólidamente a la arquitectura un recurso tan sencillo y eficaz como la losa de hormigón volada. El Movimiento Moderno continúa utilizando este recurso y se lo hizo completamente suyo. Se utilizaban voladizos como elementos del repertorio arquitectónico habitual y desde F. Lloyd Wright se convirtieron en piezas fundamentales de la composición arquitectónica; siempre, aunque considerándolos como una parte del todo, como un elemento de aportación cualitativa y nunca como una globalidad. En este sentido Mies y Le Corbu desde Europa utilizaron también de forma continua la posibilidad de volar



Edificio del Caixaforum en Madrid de los arquitectos Herzog & de Meuron, construido el año 2008. Foto de Alvar Gagarin

para dar continuidad a sus espacios diáfanos y aligerar aún más sus diseños.

La sensación de volar, de no tener nada debajo de tus pies y de flotar en el aire, es aún hoy en día increíblemente mágica. Ya sabemos cuáles son los trucos, conocemos sobradamente cuales son las soluciones técnicas concretas y en cada caso, cuáles son sus limitaciones; pero la satisfacción de llevar la contraria permanentemente a la fuerza de la gravedad natural inspira una sensación de satisfacción y complacencia difícil de conseguir desde el diseño arquitectónico. Tanto es así, que la mayoría de proyectos desde Wright han incorporado, interpretado y utilizado de alguna forma el voladizo como recurso catártico en sus diseños. Durante los últimos 10 años, en los que la arquitectura ha convertido muchas veces los edificios en objetos y puras sensaciones, se le ha dado la vuelta por

completo al mensaje moderno de Wright hasta el extremo de confundir la parte con el todo, convirtiendo el recurso en finalidad. El voladizo ha adquirido una importancia vital en la definición morfológica de la arquitectura, consecuencia principalmente de una cierta tendencia icónica del diseño y de un contexto económico favorable a determinadas soluciones estructurales complejas.

Esta transformación se ha hecho en muchos casos magistralmente, como la Torre del Gas de Enric Miralles, o el edificio CaixaForum de Madrid, de los arquitectos Herzog y de Meuron. Otros casos han sido mucho menos afortunados como el auditorio del Fórum realizado por estos últimos, o determinadas elucubraciones formales de Zaha Hadid de edificios más volados que estables. No hay duda de que todas las ideas pueden llegar a buen puerto, si estas tienen justificación y esfuerzo sólidos por detrás; este es el caso de plantear edificios donde su razón principal es la sensación de ingravidez que desprenden. Nos referimos a la Torre de Miralles como ejemplo claro de interpretación genial de un determinado emplazamiento, confluencia de múltiples lenguajes, a partir de la utilización de una solución técnica compleja concreta. En este caso, el brazo volado del edificio desarrolla un papel de transición urbana más densa de viviendas de poca altura de la Barceloneta con los edificios altos corporativos de la zona de puerto olímpico. En ningún caso es una solución fortuita.

En el auditorio del Fórum, en Diagonal Mar, los mismos arquitectos que en el CaixaForum de Madrid utilizan el voladizo con grandes maestrías por tal de integrar los accesos del edificio con la trama urbana existente, plantean el mismo recurso pero de forma más desafortunada, sin entender cuál es el verdadero entorno del edificio; este hecho convierte la solución técnica concreta de volar muchos metros la caja del auditorio, en una mera ostentación técnica de los arquitectos (por otro lado resuelta de forma ejemplar). Cuando un recurso tan poderoso se utiliza de forma recurrente, sin una justificación intensa fundamentada en el entorno o la propia arquitectura, deja de ser elocuente para convertirse en reiterativo y costoso. La arquitectura, en el fondo, es el arte de administrar bien los medios técnicos conocidos para llegar a transmitir determinadas sensaciones a través de unos espacios, que sobre todo, deben responder a un programa específico. Cuando estos medios se administran mal o de forma claramente simplista, es cuando las cosas dejan de tener sentido.

En el decurso de los últimos años parece que aquella idea romántica de voladizo sombrío de Wright que funcionaba de forma genial para las posibilidades que tenía la losa de

hormigón armado, ha quedado del todo transgredida en descubrir que la técnica permitía realizar cosas mucho más atrevidas. Se ha producido, desde la Torre del Gas y muchos otros proyectos, una desfiguración de la construcción en altura y de la volumetría general de los edificios. Es como si de repente la arquitectura se hubiera visto alentada a romper continuamente las leyes más racionales y primitivas de la bajada de cargas. Aquello que comenzó siendo la materialización de un anhelo, ha terminado convirtiéndose en una verdadera obsesión.

Parecía hasta hace poco que no se podía llegar a ser nadie, sin haber construido un voladizo gigante. No importaba el contexto, los medios o la finalidad: se debía volar como fuera y cuanto más, mejor. Esta obsesión ha permitido al



Torre de Gas natural, de Enric Miralles, es un ejemplo de concepto diferente de construcción vertical. Fue construida entre los años 1999 y 2006. Foto de Alvar Gagarin.

mundo estructural mejorarse constantemente y resolver cada día más eficientemente los problemas que generan este tipo de soluciones. Desde la Torre del Gas, donde el voladizo queda resuelto con una enorme cercha metálica, hasta la Filmoteca de Cataluña, donde plantean muros de hormigón de gran canto, las soluciones técnicas son muchas

y variadas, y cada día se pueden afrontar con garantías más convincentes.

Pero no podemos olvidar ni un minuto, que el voladizo, por su naturaleza geométrica no deja de ser una estructura terriblemente isostática; es decir, depende integralmente de las dos reacciones que se producen en el apoyo, para garantizar su estabilidad. La mayoría de estructuras que se proyectan son hiperestáticas, y eso significa que aumentan considerablemente su coeficiente de seguridad en situaciones accidentales o de mala ejecución, porque disponen de soportes "redundantes" de cara a su estabilidad global. Los voladizos, no. Si se ejecuta mal la unión o esta deja de funcionar correctamente, el voladizo pierde su condición estable y colapsa irremediadamente. Esto no significa que las estructuras no puedan también ser estables en un determinado momento, pero significa que para que esto pase, antes tendrán que confluír simultáneamente la fallida de muchos más puntos. Este hecho tiene una importancia relativa cuando hablamos de los voladizos que planteaba Wright, desde el momento en que estos eran una parte del todo y se responsabilizaban de la estabilidad única de determinados espacios. Muy diferente es el caso que se plantea últimamente, donde el voladizo se responsabiliza de la estabilidad global de todo el edificio. Es en estos casos, donde el hecho de producirse una situación inversa puede multiplicar la responsabilidad de determinados puntos constructivos y paralelamente, su coste y complejidad.

Hace falta enfatizar también cuales son las principales virtudes de los grandes voladizos (que las tienen y muchas) y utilizarlos correctamente en detrimento de sus inconvenientes. Por grande que sea una estructura volada, puede convertirse en favorable para un edificio en general si está convenientemente compensada; es exactamente lo que pasa en la Filmoteca de Catalunya de J.LL. Mateo o en el edificio del Dhub de MBM arquitectos en la plaza de las Glòries de Barcelona. El voladizo puede ayudar a compensar una luz central, por enorme que sea, siempre que se mantenga un cierto orden de proporciones; es decir, a grandes trazos, se contempla este efecto compensador si la volada orbita alrededor de un tercio de la luz interior. Así, podría llegar a ser interesante el hecho de incorporar grandes voladizos en la estructura de un edificio de grandes luces; todo se basa en una correcta distribución de las cargas, de cara a garantizar la estabilidad global. El problema de muchos de estos proyectos "icónicos" que comentábamos anteriormente, es el de siempre: una desconexión entre el lenguaje arquitectónico y el conocimiento técnico, en este caso estructural. El problema real de muchos de estos edificios,

ya no es una simple cuestión de resistencia de los materiales que componen la estructura, sino un simple problema de vuelco global. La resultante vertical final de algunos de estos edificios cae fuera del núcleo central de su base y, en consecuencia, genera tracciones en las cimentaciones. Una situación, cuando menos, nada deseable.

Ciertamente, las posibilidades técnicas están para ser utilizadas. Una prueba de esto, son los diseños aeronáuticos de los que hablábamos inicialmente. Las capacidades



Auditori del forum de Barcelona de Hergzog & Meuron. Fou construït per al Fòrum Universal de les Cultures de l'any 2004.

materiales están cuantificadas para poderlas agotar, manteniendo siempre unos determinados márgenes de seguridad. Pero todo esto, y por sobre todo, debería prescribirse únicamente en aquellos casos en que el contexto y principalmente la arquitectura lo precisaran, más allá de convertirse en una especie de peaje molesto impuesto en el subconsciente de los arquitectos. Peaje que, por imposiciones del entorno socio-económico general futuro e inmediato y por agotamiento del abuso que se ha hecho en los últimos tiempos, acabará posiblemente afectando a un porcentaje mucho más minoritario de casos.

**article publicat originalment a la revista diagonal, ISSN 2013-6528 (versió digital)/ISSN 2013-651X (versió paper), per Albert Albareda Valls i Carles Pastor Foz
<<http://www.pa-associates.com/#!El-voladizo-un-recurso-o-una-obsesi%C3%B3n/cyvb/55d0df2f0cf2a8512f7e8380>>*

7. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

7.1. FUENTES

LIBROS Y REVISTAS

AA.VV (1993). "Arquitecturas del tiempo, Miralles/Tagliabue" (pág 63). Barcelona: Gustavo Gili.

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002. Miralles, Enric/Tagliabue, Benedetta; EMBT Arquitectes; España Ministerio de la Vivienda / Barcelona; Madrid: Col·legi d'Arquitectes de Catalunya; Ministerio de la Vivienda, D.L. 2004.

EL CROQUIS (1995/2000). "Enric Miralles+Benedetta Tagliabue", vol.100-101 (2005), pág.226.

ENRIC MIRALLES (1955-2000). Revista DC papers, vol.17-18, pág. 7. Departamento de Composición Arquitectónica, ETSAB (2009).

ROVIRA, JOSEP M. y BOHIGAS, ORIOL (2011). Miralles, Enric. Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos, D.L.

Tipos de oficinas = Work spaces : offices. 2, Miralles/Tagliabue - EMBT : nueva sede de Gas Natural, Barcelona, España = new headquarters of Gas Natural, Barcelona, Spain. EMBT Arquitectes | Alboraya : Pencil, D.L. 2009.

ARTÍCULOS

ALEJANDRO ZAERA (1995). "Una conversación con Enric Miralles" en El Croquis, vol. 72, issue 2.

ALBERT ALBAREDA VALLS I CARLES PASTOR FOZ. "El voladizo: ¿un recurso o una obsesión?" (August 17, 2015), article publicat originalment a la revista Diagonal (ISSN 2013-6528 (versió digital /ISSN 2013-651X (versió paper)) per. <<http://www.pa-associates.com/#!El-voladizo-un-recurso-o-una-obsesi%C3%B3n/cyvb/55d0df2f0cf2a8512f7e8380>>

CURTIS, WILLIAM J.R. (1991) "Mapas mentales y paisajes sociales" en El Croquis (jun-sep), vol. 49-45, pág. 6-21.

EL CROQUIS (1995-2000). "Enric Miralles+Benedetta Tagliabue (III)", vol.100-101, pág. 288.

GARCÍA ESTÉVEZ, CAROLINA BEATRIZ (1999/2008). "Lo sólido

no se disuelve en el aire: Nueva Sede de Gas Natural en Barcelona" en DC PAPERS, revista de crítica y teoría de la arquitectura (2009), Issue 17, pág.205-230 [Revista Peer Reviewed].

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN (Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2). "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural. <<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>> [Fecha de consulta: 2 de julio de 2016].

QUETGLAS, JOSEP (2000). "Enric Miralles [desde Vers une architecture al primer volumen de OEvres complètes]" en El Croquis (junio 2000).

MONEO, RAFAEL (2000). " Un fulgurante cometa" en El País. Edición impresa del martes, 4 de julio de 2000. <http://elpais.com/diario/2000/07/04/cultura/962661602_850215.html> [Fecha de consulta: 25 de junio de 2016].

NUEVA SEDE DE GAS NATURAL (2006). "Tagliabue, Benedetta" en DC PAPERS, revista de crítica y teoría de la arquitectura, issue 15, pág.150-153 [Revista Peer Reviewed].

SCOTT, GEOFFREY (1914). "La Arquitectura del Humanismo" en El Croquis (Londres, 1914), Barral, Barcelona (1970).

TUÑÓN, E. MORENO MANSILLA, L. (2000). "Apuntes de una conversación informal, [con Enric Miralles]" en El Croquis, Madrid, vol. 100-101, pág. 16.

ZANÓN, ARTUR (2013). "Gas Natural, sobre los cimientos de la primera fábrica de gas en España" en Expansión (12 de julio). <<http://www.expansion.com/2013/07/12/directivos/1373641405.html?cid=FCOPY33701%27>> [Fecha de consulta: 28 de junio de 2016].

TESIS

FERNÁNDEZ CONTRERAS, JAVIER (2013). La planta Miralles: representación y pensamiento en la arquitectura de Enric Miralles. Tesis (Doctoral),E.T.S. Arquitectura (UPM).

RODRÍGUEZ BARTOLOMÉ, DIEGO (2012). Incidencia en la doble acción mixta en la respuesta estructural de puentes mixtos. Trabajo Fin de Master, Universidad Politécnica de

Madrid, 20 de Noviembre.

NORMATIVAS

CTE DB SE-AE. Código Técnico Documento Básico de Seguridad Estructural y Acciones en los Edificios.

<<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>> [Fecha de consulta: 26 de junio de 2016].

Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE 08) - Artículos 12º y 13º

<http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPH/instrucciones/EHE_es/>

VIDEOS

"Biblioteca Pública E. Miralles + Torre Gas Natural - Miralles / Tagliabue - BEAUX2009 (minuto 1:52)". Youtube.

<<https://www.youtube.com/watch?v=170MDBhVUiw>> [Fecha de consulta: 25 de junio de 2016].

El nuevo edificio de Gas Natural está enfermo. Youtube.

<<https://www.youtube.com/watch?v=ik0E7JfEys8>> [Fecha de consulta: 27 de junio de 2016].

"EMBT MIRALLES TAGLIABUE Work in Progress Part 04/05 (minuto 1:38)". Youtube.

<<https://www.youtube.com/watch?v=Ld8TRT5ge4s>> [Fecha de consulta: 28 de junio de 2016].

"Gas Natural Fenosa, '170 años con la misma energía'". Youtube.

<<https://www.youtube.com/watch?v=hiskl7cNI>> [Fecha de consulta: 30 de junio de 2016].

"La Sede de Gas Natural Fenosa". Youtube.

<<https://www.youtube.com/watch?v=2W3NqenOpcs>> [Fecha de consulta: 30 de junio de 2016].

ENLACES WEBS

FUNDACIÓN ENRIC MIRALLES.

<<http://www.fundacioenricmiralles.com/biografia-1/>> [Fecha de consulta: 25 de junio de 2016].

EMBT MIRALLES TAGLIABUE GAS NATURAL'S NEW HEADQUARTERS". Youtube.

<<https://www.youtube.com/watch?v=S8cvHmFjT4>> [Fecha de consulta: 28 de junio de 2016].

MEGACONSTRUCCIONES.NET (2014). "Sede de Gas Natural en Barcelona".

<<http://megaconstrucciones.net/?construccion=sede-gas-natural-barcelona>> [Fecha de consulta: 2 de julio de 2016].

UNIOVI, OCW.

<http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/3193/mod_resource/content/1/Teoria/Capitulo_II.pdf> [Fecha de consulta: 10 de julio de 2016].

MONTANSTAHL. "Perfiles en H de alas anchas: HEA, HEB, HEM".

<<https://www.montanstahl.com/es/productos/perfiles-estructurales-de-acero-inoxidable/perfiles-en-i-de-acero-inoxidable/perfiles-en-h-de-alas-achas-he/>> [Fecha de consulta: 30 de junio de 2016].

PROGRAMAS DE CÁLCULO

ARCHITRAVE Versión 2015 Académica (v1.1).

<<http://www.architrave.es/index.php>> [Fecha de consulta: 26 de junio de 2016].

ARCHITRAVE. Manual de usuario.

<<http://www.architrave.es/producto/manual/2011-1/>> [Fecha de consulta: julio de 2016].

7.2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FUNDACIÓN ENRIC MIRALLES.
<<http://www.fundacioenricmiralles.com/biografia-1/>>
[Fecha de consulta: 25 de junio de 2016].
- [2] ROVIRA, JOSEP M. y BOHIGAS, ORIOL (2011). Miralles, Enric. Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos, D.L. Pág. 287.
- [3] ALEJANDRO ZAERA (1995). "Una conversación con Enric Miralles" en El Croquis, vol. 72, issue 2.
- [4] AA.VV (1993). "Arquitecturas del tiempo, Miralles/Tagliabue" (pág 63). Barcelona: Gustavo Gili.
- [5] CURTIS, WILLIAM J.R. (1991) "Mapas mentales y paisajes sociales" en El Croquis (jun-sep), vol. 49-45, pág. 6-21.
- [6] MONEO, RAFAEL (2000). " Un fulgurante cometa" en El País. Edición impresa del martes, 4 de julio de 2000.
<http://elpais.com/diario/2000/07/04/cultura/962661602_850215.html> [Fecha de consulta: 25 de junio de 2016].
- [7] FERNÁNDEZ CONTRERAS, JAVIER (2013). La planta Miralles: representación y pensamiento en la arquitectura de Enric Miralles. Tesis (Doctoral), E.T.S. Arquitectura (UPM), pág.222.
- [8] EL CROQUIS (1995/2000). "Enric Miralles+Benedetta Tagliabue", vol.100-101 (2005), pág.226.
- [9] QUETGLAS, JOSEP (2000). "Enric Miralles [desde Vers une architecture al primer volumen de OEuvres complètes]" en El Croquis (junio 2000).
- [10] PINÓS, CAME. "Conferencia en CUIPMB Centre Ernest Lluch de Barcelona" (6 de julio de 2009) dentro del ciclo Alegoría del tiempo: la arquitectura y el universo de otro Enric Miralles (6, 7, 8 de julio de 2009).
- [11] SCOTT, GEOFFREY (1914). "La Arquitectura del Humanismo" en El Croquis (Londres, 1914), Barral, Barcelona (1970).
- [12] GARCÍA ESTÉVEZ, CAROLINA BEATRIZ (1999/2008). "Lo sólido no se disuelve en el aire: Nueva Sede de Gas Natural en Barcelona" en DC PAPERS, revista de crítica y teoría de la arquitectura (2009), Issue 17, pág.205-230 [Revista Peer Reviewed].
- [13] DOMINGO, JAVIER (2011). "La Barceloneta, de barrio marítimo e industrial a paraíso del tapeo" en Mr. Domingo, 11 de mayo.
<<http://mrdomingo.com/tag/historia-de-la-barceloneta/>>
[Fecha de consulta: 26 de junio de 2016].
- [14] BARCELONA RUTA (2016). El Torín.
<<http://www.barcelonarutas.com/el-torin/>> [Fecha de consulta: 26 de junio de 2016].
- [15] "Gas Natural Fenosa, '170 años con la misma energía". Youtube
<<https://www.youtube.com/watch?v=-hiskl7cNI>> [Fecha de consulta: 26 de junio de 2016].
- [16] SALVADOR GABARRÓ (2007). Las raíces. El futuro. 1843-2007.
- [17] Tipos de oficinas = Work spaces : offices. 2, Miralles/Tagliabue - EMBT : nueva sede de Gas Natural, Barcelona, España = new headquarters of Gas Natural, Barcelona, Spain. EMBT Architectes | Alboraya : Pencil, D.L. 2009
- [18] LAHUERTA, JUAN JOSÉ. "Sulla sede di Gas Natural" en Casabella, vol. 754, pág. 87-88.
- [19] TUÑÓN, E. MORENO MANSILLA, L. (2000). "Apuntes de una conversación informal, [con Enric Miralles]" en El Croquis, Madrid, vol. 100-101, pág. 16.
«-E.T. Siempre hay correspondencias entre los distintos trabajos, correspondencias casi invisibles... E.M. Exacto, [...] El de los Archivos de Orenstadt es algo parecido; por ahí empezaron los edificios a almacenar cosas en altura. Almacenar, que es también un poco la explicación del proyecto de la Nueva Sede de Gas Natural; [...] Como aquellos edificios altos de los años 20, en los que cosas distintas iban almacenándose -más que confiar en el estilismo, o en la cuestión icónica, de la que a veces es difícil escapar-. Se trata de explicar el almacenamiento de las cosas -cómo entras, cómo mueves las cosas, cómo sales-; es algo que empezamos a hacer también nosotros en otros proyectos.»
- [20] "Biblioteca Pública E. Miralles + Torre Gas Natural - Miralles / Tagliabue - BEAUX2009 (minuto 1:52)". Youtube.
<<https://www.youtube.com/watch?v=I70MDBhVUiw>>
[Fecha de consulta: 25 de junio de 2016].

[21] "EMBT MIRALLES TAGLIABUE Work in Progress Part 04/05 (minuto 1:38)". Youtube.
<<https://www.youtube.com/watch?v=Ld8TRT5ge4s>> [Fecha de consulta: 28 de junio de 2016].

[22] "EMBT MIRALLES TAGLIABUE GAS NATURAL'S NEW HEADQUARTERS". Youtube
<<https://www.youtube.com/watch?v=S8cvHmFjTZ4>> [Fecha de consulta: 28 de junio de 2016].

[23] COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002. Miralles, Enric/ Tagliabue, Benedetta; EMBT ARquitectes; España Ministerio de la Vivienda / Barcelona; Madrid: Col·legi d'Arquitectes de Catalunya; Ministerio de la Vivienda, D.L. 2004. Pág.200.

[24] EL CROQUIS (1995-2000). "Enric Miralles+Benedetta Tagliabue (III)", vol.100-101, pág. 288.

[25] JULIO MARTÍNEZ CALZÓN (Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2). "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural.
<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>> [Fecha de consulta: 2 de julio de 2016].

[26] EUROPA FOTOS.
<http://europaenfotos.com/barcelona/pho_bcn_172.html> [Fecha de consulta: 2 de julio de 2016].

[27] ZANÓN, ARTUR (2013). "Gas Natural, sobre los cimientos de la primera fábrica de gas en España" en Expansión (12 de julio).
<<http://www.expansion.com/2013/07/12/directivos/1373641405.html?cid=FCOPY33701%27>> [Fecha de consulta: 28 de junio de 2016].

[28] MEGACONSTRUCCIONES.NET (2014). "Sede de Gas Natural en Barcelona".
<<http://megaconstrucciones.net/?construccion=sede-gas-natural-barcelona>> [Fecha de consulta: 2 de julio de 2016].

[29] DESMON. "Mampara para oficinas".
<<http://www.desmon.com/productos/mamparas-oficinas.html>> [Fecha de consulta: 2 de julio de 2016].

[30] ESTUDIO DE INGENIERÍA MC2.
<<http://www.mc2.es/proyectos.php?i=es>> [Fecha de consulta: 10 de julio de 2016].

[31] UNIOVI, OCW.
<http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/3193/mod_resource/content/1/Teoria/Capitulo_II.pdf> [Fecha de consulta: 10 de julio de 2016].

[32] MONTANSTAHL. "Perfiles en H de alas anchas: HEA, HEB, HEM".
<<https://www.montanstahl.com/es/productos/perfiles-estructurales-de-acero-inoxidable/perfiles-en-i-de-acero-inoxidable/perfiles-en-h-de-alas-achashe/>> [Fecha de consulta: 30 de junio de 2016].

[33] CONSTRUCTALIA.
<http://www.constructalia.com/espanol/productos/estructuras/perfiles_laminados_en_caliente/calidades_de_acero/aceros_termomecanicos_de_alta_resistencia_s460#.V8xovoalShd> [Fecha de consulta: 10 de julio de 2016].

[34] RODRÍGUEZ BARTOLOMÉ, DIEGO (2012). Incidencia de la doble acción mixta en la respuesta estructural de puentes mixtos. Trabajo Fin de Master, Universidad Politécnica de Madrid, 20 de Noviembre.

[35] ARCHITRAVE Versión 2015 Académica (v1.1).
<<http://www.architrave.es/index.php>> [Fecha de consulta: 26 de junio de 2016].

[36] CTE DB SE-AE. Código Técnico Documento Básico de Seguridad Estructural y Acciones en los Edificios.
<<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>> [Fecha de consulta: 26 de junio de 2016].

7.3. REFERENCIA DE IMÁGENES

Figura 1. Cubiertas Paseo Icaria, Barcelona, pág. 06

<<https://www.flickr.com/photos/javier1949/4879783886/in/photostream/lightbox/>>

Figura 2. Cementerio de Igualada, Barcelona, pág. 07

<https://cdn.mascupon.es/graphics_es-ES/description/gas-natural2.jpg.pagespeed.ce.3r8kNm86hN.jpg>

Figura 3. Centro en el Puerto de Bremerhaven. Collage, pág. 07

<<https://es.pinterest.com/pin/426153183460840088/>>

Figura 4. Planta del Cementerio de Igualada, Barcelona, pág. 08

<<http://arquiscopio.com/archivo/2012/06/26/cementerio-de-igualada/>>

Figura 5. Centro cívico de Hostalets de Balenyá, Barcelona, pág. 08

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002.

Figura 6. Pérgolas en Pareds del Vallés, Barcelona, pág. 08

<<https://es.pinterest.com/pin/361906520029067911/>>

Figura 7. Palacio Municipal de los Deportes, Huesca, pág. 09

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002..

Figura 8. C.N.A.R. Alicante, pág. 09

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002.

Figura 9. Nuevo Centro Círculo de Lectores, Madrid, pág. 09

<<http://www.edgargonzalez.com/2014/03/07/requiem-por-el-miralles-pinos-madrileo/>>

Figura 10. Parlamento escocés. Maqueta de trabajo, pág. 10

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002.

Figura 11. Escuela de música para jóvenes, Hamburgo, pág. 10

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002.

Figura 12. Parc dels Colors en Mollet del Vallés, Barcelona, pág. 10

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002.

Figura 13. Mercado de Santa Caterina, Barcelona, pág. 11

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002.

Figura 14. Pabellón de la meditación en Unazuki, Japón, pág. 11

<<https://es.pinterest.com/pin/389913280217610709/>>

Figura 15. Antigua planta de la Ciudadela, pág. 12

Proyecto de derribo de la Ciudadela. GARCÍA ESTÉVEZ, CAROLINA BEATRIZ (1999/2008). "Lo sólido no se disuelve en el aire: Nueva Sede de Gas Natural en Barcelona" en DC PAPERS, revista de crítica y teoría de la arquitectura (2009).

Figura 16. Vista de Barcelona bombardeada en 1842, pág. 12

GARCÍA ESTÉVEZ, CAROLINA BEATRIZ (1999/2008). "Lo sólido no se disuelve en el aire: Nueva Sede de Gas Natural en Barcelona" en DC PAPERS, revista de crítica y teoría de la arquitectura (2009).

Figura 17. El Torín y la Estación de Francia. Ronda litoral, PÁG. 13

<<http://barcelofilia.blogspot.com.es/2010/12/el-torin-de-la-barceloneta-1857-1944.html>>

Figura 18. Arco del Triunfo. "Eje monumental" de Barcelona, pág. 13

<<http://marabse.blogspot.com.es/2013/07/l-arc-de-triomf-el-arco-de-triunfo-de.html>><http://3.bp.blogspot.com/-CYeLwd4uVw/UfZEwnly-l/AAAAAAAAAM0/KeQ1VY0fXKU/s1600/IMG_7779.JPG>

Figura 19. Torre de las Aguas, La Barceloneta, pág. 14

<https://chimevapor.files.wordpress.com/2009/01/catalanagas_barceloneta.jpg>

Figura 20. Gasómetro. Antigua fábrica de Gas, La Barceloneta, pág. 14

Fábrica de Catalana de Gas. Barceloneta, 1950. GARCÍA ESTÉVEZ, CAROLINA BEATRIZ (1999/2008). "Lo sólido no se disuelve en el aire: Nueva Sede de Gas Natural en Barcelona" en DC PAPERS, revista de crítica y teoría de la arquitectura (2009).

Figura 21. Bombardeo 1937, pág. 14

GARCÍA ESTÉVEZ, CAROLINA BEATRIZ (1999/2008). "Lo sólido no se disuelve en el aire: Nueva Sede de Gas Natural en Barcelona" en DC PAPERS, revista de crítica y teoría de la arquitectura (2009).

Figura 22. Gaseoducto en la Barceloneta. Actualidad, pág. 15

<<http://mnectec.cat/150elements/wp-content/uploads/2015/09/118-Antigues-instal·lacions-de-Catalana-de-Gas-Barcelona-Fotografia-Teresa-Llorde--s-2-Conflicto-de-codificacio-n-Unicode.jpg>>

Figura 23. Gaseoducto. Torre Gas Natural al fondo. Actualidad, pág. 15

<http://www.e-architect.co.uk/images/jpgs/barcelona/gas_natural_tower_embt250608_cromainpiro_4.jpg>

Figura 24. Bocetos de Ideación de E. Miralles, pág. 17

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002.

Figura 25. Maquetas previas de trabajo. Edificio Gas Natural, pág. 17

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002.

Figura 26. Complejo residencial Romeo y Julieta, Zuffenhausen, Situtgart, pág. 18

<<http://arquiscopio.com/archivo/2012/06/21/complejo-residencial-romeo-y-julieta/>>

Figura 27. Vista aérea Barcelona, pág. 18

Captura google maps.

Figura 28. Conexión con el "eix monumental". Boceto de Miralles, pág. 18

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002.

Figura 29. Wolkenbügel (1925) El Lizzizky. Vanguardia Rusa, pág. 18

Wolkenbügel, Moscú, 1923. El lissitzky. (Enric Miralles, 1972-2000)

Figura 30. Maquetas de trabajo a partir de estratos, pág. 19

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002.

Figura 31a. Volumen quebrado, pág. 19

<<http://megaconstrucciones.net/?construccion=sede-gas-natural-barcelona>>

Figura 31b. Evocación de la ruina, pág. 19

lladó fotógrafo. calle de la ruda, madrid, 1936. archivo rojo, 53153. GARCÍA ESTÉVEZ, CAROLINA BEATRIZ (1999/2008). "Lo sólido no se disuelve en el aire: Nueva Sede de Gas Natural en Barcelona" en DC PAPERS, revista de crítica y teoría de la arquitectura (2009).

Figura 32. Fachada dorsal del Edificio Gas Natural. Edificio Torre, pág. 19

<<http://megaconstrucciones.net/?construccion=sede-gas-natural-barcelona>>

Figura 33. El Lucero Herido, La Barceloneta, pág. 19

<<http://algundiasesereperiodista.blogspot.com.es/2014/02/lucero-herido.html>>

Figura 34. Edificio Gas Natural. Vista bajo el edificio 'Portaaviones', pág. 20

<<http://betarq.com/proyecto/gas-natural-torre-marenostrum/>>

Figura 35. Planta general del complejo, pág. 20

Esquemmatización de la planta. JULIO MARTÍNEZ CALZÓN (Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2). "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural. <<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 36. Edificio 'Torre', pág. 21

<<https://www.flickr.com/photos/javier1949/4866408252/in/photostream/lightbox/>>

Figura 37. Edificio 'Capitel', pág. 21

<<http://megaconstrucciones.net/?construccion=sede-gas-natural-barcelona>>

Figura 38. Edificio 'Puente', pág. 21

<<https://www.flickr.com/photos/javier1949/4872479436/in/photostream/lightbox/>>

Figura 39. Edificio 'Pétalo', bajo 'Portaaviones', pág. 21

<<http://megaconstrucciones.net/?construccion=sede-gas-natural-barcelona>>

Figura 40. Cinturón litoral. Skyline, pág. 22

Tipos de oficinas = Work spaces : offices. 2, Miralles/Tagliabue - EMBT : nueva sede de Gas Natural, Barcelona, España = new headquarters of Gas Natural, Barcelona, Spain. EMBT Arquitectes | Alboraya : Pencil, D.L. 2009

Figura 41. Cinturón litoral (Torres Olímpicas al fondo), pág. 22

<<https://www.flickr.com/photos/javier1949/4879787272/>>

Figura 42. Edificio Gas Natural. Planta de cofa cero: Hall + Plaza, pág. 23

Tipos de oficinas = Work spaces : offices. 2, Miralles/Tagliabue - EMBT : nueva sede de Gas Natural, Barcelona, España = new headquarters of Gas Natural, Barcelona, Spain. EMBT Arquitectes | Alboraya : Pencil, D.L. 2009

Figura 43. Auditorio en sótanos 1º y 2º, pág. 23

<<https://www.inmocolonial.com/nuestros-edificios/barcelona/torre-marenostrum>>

Figura 44. Hall de acceso, pág. 24

<<https://www.inmocolonial.com/nuestros-edificios/barcelona/torre-marenostrum>>

Figura 45a y 45b. Sistema de escalinatas y altillos de acceso, pág. 24

<<https://www.inmocolonial.com/nuestros-edificios/barcelona/torre-marenostrum>>

Figura 46. Sótano - 1: Parking + Servicios + Auditorio., pág. 24

Tipos de oficinas = Work spaces : offices. 2, Miralles/Tagliabue - EMBT : nueva sede de Gas Natural, Barcelona, España = new headquarters of Gas Natural, Barcelona, Spain. EMBT Arquitectes | Alboraya : Pencil, D.L. 2009

Figura 47. Muro cortina. Vidrios con distintos aplomos y tonalidades, pág. 25

<<https://www.flickr.com/photos/javier1949/4871876477/in/photostream/lightbox/>>

Figura 48. Montaje del muro cortina en edificio 'Capitel', pág. 25

<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=252960&page=30>>

Figura 49. Montaje del muro cortina en 'Portaaviones' y 'Torre', pág. 26

<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=252960&page=18>>

Figura 50. Suelo técnico registrable, pág. 26

<http://www.construccion.com/espanol/galeria_de_proyectos/espana/torre_gas_natural#.V7i8ZiLS03>

Figura 51. Falsos techos aluminio y forro de pilares y diagonales, pág. 26

<http://www.construccion.com/espanol/galeria_de_proyectos/espana/torre_gas_natural#.V7i8ZiLS03>

Figura 52a y 52b. Acabados en plantas superiores. Despachos, pág. 27

<<http://megaconstrucciones.net/?construccion=sede-gas-natural-barcelona>>

Figura 53. Disposición de unidades exteriores de climatización, pág. 27

<<http://www.Barcelonarutas.com/el-torin/>>

Figura 54. Paso de instalación a través de los alveolos, pág. 27

<http://www.construccion.com/espanol/galeria_de_proyectos/espana/torre_gas_natural#.V7i8ZiLS03>

Figura 55. Ejecución de la estructura, pág. 29

<http://www.construccion.com/espanol/galeria_de_proyectos/espana/torre_gas_natural#.V7i8ZiLS03>

Figura 56. Vigas principales del edificio 'Portaaviones', pág. 30

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN [Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2]. "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural.

<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 57. Ejecución del forjado colaborante, pág. 30

<http://www.construccion.com/espanol/galeria_de_proyectos/espana/torre_gas_natural#.V7i8ZiLS03>

Figura 58. Pilar HEB con forro, pág. 30

<http://www.construccion.com/espanol/galeria_de_proyectos/espana/torre_gas_natural#.V7i8ZiLS03>

Figura 59. Pernos de conexión en alma superior de vigas, pág. 30

<http://www.construccion.com/espanol/galeria_de_proyectos/espana/torre_gas_natural#.V7i8ZiLS03>

Figura 60. Losa de cimentación de los sótanos, pág. 31

<http://www.construccion.com/espanol/galeria_de_proyectos/espana/torre_gas_natural#.V7i8ZiLS03>

Figura 61. Esquema de cimentación, pág. 31

<<http://apuntesingenierocivil.blogspot.com.es/2012/04/zapatillas-corridas-y-losas-de-cimentacion.html>>

Figura 62. Sección muro de sótano y losa cimentación, pág. 31

Tipos de oficinas = Work spaces : offices. 2, Miralles/Tagliabue - EMBT : nueva sede de Gas Natural, Barcelona, España = new headquarters of Gas Natural, Barcelona, Spain. EMBT Arquitectes | Alboraya : Pencil, D.L. 2009

Figura 63. Planta general. Núcleos rígidos verticales, pág. 32

Imagen editada a partir de imagen encontrada en: <http://www.construccion.com/espanol/galeria_de_proyectos/espana/torre_gas_natural#.V7i8ZiLS03>

Figura 64. Encofrado autotrepante del núcleo N1, pág. 32

<http://www.construccion.com/espanol/galeria_de_proyectos/espana/torre_gas_natural#.V7i8ZiLS03>

Figura 65. Encofrado autotrepante de núcleos N1 y N3, pág. 32

<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=252960&page=5>>

Figura 66. Edificio 'Portaaviones'. Esquema estructural, pág. 33

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN [Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2]. "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del

hormigón estructural.

<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 67. Ejecución de la estructura del 'Portaaviones', pág. 33

<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=252960&page=12>>

Figura 68. Viga cajón de suspensión. Detalle constructivo, pág. 34

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN [Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2]. "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural.

<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 69. Celosía del 'Portaaviones'. Alzado constructivo, pág. 35

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN [Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2]. "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural.

<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 70. Encuentro tipo: diagonal-soporte-zuncho borde, pág. 35

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN [Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2]. "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural.

<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 71. Viga cajón de suspensión. Fase de construcción, pág. 36

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN [Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2]. "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural.

<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 72. Ejecución de la estructura del 'Portaaviones', pág. 36

<http://www.construccion.com/espanol/galeria_de_proyectos/espana/torre_gas_natural#.V7i8ZiLS03>

Figura 73. Construcción del edificio 'Torre', pág. 37

<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=252960&page=11>>

Figuras 74a. Proceso de construcción del edificio 'Puente', pág. 37

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN [Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2]. "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural.

<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 74b. Proceso de construcción del edificio 'Puente', pág. 37

<<http://www.factoriaurbana.com/ciudades/edificios.php?id=4&ciudad=Barcelona>>

Figura 75. Edificio 'Capitel'. Alzados constructivos, pág. 38

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN [Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2]. "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural.

<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 76. Estructura 'Cascada', pág. 38

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN [Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2]. "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural.

<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 77. Preexistencia, pág. 38

<http://elpais.com/diario/2003/01/09/catalunya/1042078052_850215.html>

Figura 78. Estructura 'Cascada', pág. 38

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN [Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2]. "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural.

<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 79. Modelo alámbrico, pág. 39

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave

Figura 80. Modelo sólido, pág. 39

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave

Figura 82. Modelo alámbrico completo, pág. 40

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave

Figura 81. Discretización en EF2D, pág. 40

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 83. Viga cajón de suspensión. Modelo alámbrico, pág. 40

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 84. Edificio 'Cascada'. Modelo alámbrico, pág. 41

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 85. Voladizo 'Capitel' + Núcleo N1. Modelo alámbrico, pág. 41

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 86. Forjado tipo edificio 'Cascada'. Modelo alámbrico, pág. 41

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 87. Coeficientes de seguridad en E.L.U., pág. 44

CTE DB SE-AE. Código Técnico Documento Básico de Seguridad Estructural y Acciones en los Edificios.

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

Figura 88. Coeficientes de simultaneidad, pág. 44

CTE DB SE-AE. Código Técnico Documento Básico de Seguridad Estructural y Acciones en los Edificios.

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

Figura 89. Combinación ELU 1. Resistencia: Persistente: Uso, pág. 45

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 90. Combinación ELU 2. Resistencia: Persistente: Nieve, pág. 45

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 91. Combinación ELS 1. Característica: Uso, pág. 45

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 92. Combinación ELS 2. Característica: Nieve, pág. 45

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 93. Combinación ELS 3. Frecuente: Uso, pág. 46

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 94. Combinación ELS 4. Frecuente: Nieve, pág. 46

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 95. Combinación ELS 5. Cuasi-permanente, pág. 46

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 96. Discretización de la estructura frente a esfuerzos horizontales, pág. 47

JULIO MARTÍNEZ CALZÓN (Dr Ingeniero de Caminos. Director de MC2). "Estudio de ingeniería Torre Mare Nostrum para Gas Natural en Barcelona" en Revista Hormigón y Acero, vol. 245, 3º trimestre 2007. Asociación Científico-técnica del hormigón estructural.

<<http://e-ache.com/modules/hormigonyacero/pdf.php?id=245>>

Figura 97. Portaaviones. Diagrama de axiles. ELU1, pág. 49

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 98. Peritaje. Sección cordón inferior más desfavorable, pág. 49

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 99. Portaaviones. Diagrama de momentos flectores. ELU1, pág. 50

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 100. Peritaje. Sección montante más solicitada a axil (1), pág. 50

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 101. Peritaje. Sección montante más solicitada a axil (2), pág. 51

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 102. Pandeo de viguetas inferiores en 'Portaaviones', pág. 51

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 103. Peritaje. Montante principal, pág. 51

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 104. Estructura principal edificio 'Portaaviones' Deformada ELS1 (f=100), p. 52

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 105. Viga cajón de suspensión. Tensiones direcciones principales, pág. 52

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 106. Viga cajón de suspensión. Deformada ELS1. (f=150), pág. 52

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 107. Deformada general. ELS 1. (f=50), pág. 53

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 108. Deformada general. ELS 1. (f=100), pág. 53

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 109. Axiles en barras de 'Capitel' y tensiones en Y en N1, pág. 54

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 110. Peritaje. Pilar más desfavorable "Capitel". HEB, pág. 54

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 111. Peritaje. Pilar más desfavorable "Capitel". HEM, pág. 54

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 112. Deformada 'Capitel' con núcleo N1. ELS 1. (f=100), pág. 55

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 113. Deformada 'Torre' + 'Capitel' ELS1. (f=100), pág. 55

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 114. Peritaje. Pilar más desfavorable "Torre". HEB, pág. 56

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 115. Peritaje. Pilar más desfavorable "Torre". HEM, pág. 56

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 116a y 116b. Diagramas axiles "Torre". Completo y planta baja, pág. 56

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 117. Diagrama de momentos "Torre", pág. 56

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 118. Diagrama momentos "Puente". (máx. positivo), pág. 57

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 119. Diagrama momentos "Puente". (máx. negativo), pág. 57

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 120. Peritaje. Viga más desfavorable "Puente". S275, pág. 57

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 121. Peritaje. Viga más desfavorable "Puente". S335, pág. 57

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 122. Desplazamiento vertical (eje z). Edificio "Cascada", pág. 58

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 123. Deformada 'Puente'. ELS 1. (f=100), pág. 58

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 124. Estructura "Cascada" con deformada. ELS 1 (f=100), pág. 58

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 125a y 125b. Mx para dimensionamiento de losa, pág. 59

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 126. Resistencia a flexión de la losa del ábaco. HA-30, pág. 59

Fuente: Tabla del programa de cálculo de estructuras EF-Cid. © A. Pérez García, A. Alonso Durá, P. Pelluz Fernández, V. Llopis Pulido.

Figura 127. Solicitud My. Edificio "Cascada". ELU 1: Uso, pág. 59

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 128. Cruce UPN con estribos oblicuos embebidas, pág. 59

Fuente: http://arquitecturadc.es/wp-content/uploads/2011/07/DSC_0323_800x531.jpg

Figura 129. Deformada edificio "Cascada". ELS 1 (f=50), pág. 59

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 130. Deformada del conjunto global. ELS 1 (f=100), pág. 60

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 131. Deformada global. ELS 1 (f=50), pág. 60

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 132. Estructura "Cascada" con deformada (f=100), pág. 61

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 133. Deformada global horizontal. ELS 1 (F=1000), pág. 61

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 134. Desplazamientos horizontales (eje X). ELS 1, pág. 62

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 135. Desplazamientos horizontales (eje Y). ELS 1, pág. 62

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 136. Desplazamiento vertical (eje Z). ELS 1, pág. 63

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 137. Sy Principales ELU 1, pág. 63

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 138. Montaje del muro cortina en el 'Portaaviones', pág. 66

<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=252960&page=30>>

Figura 139a y 139b. Comparación deformada-indeformada (f=100), pág. 66

Fuente: elaboración propia mediante el programa Architrave ©

Figura 140. Montaje de la estructura del 'Portaaviones', pág. 67

<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=252960&page=7>>

Figura 141. Acceso principal del Edificio Gas Natural, pág. 68

<<http://megaconstrucciones.net/?construccion=sede-gas-natural-barcelona>>

Figura 142. Edificio Gas Natural. Maqueta de entorno. Fase de proyecto, pág. 68

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA (2004). EMBT. Enric Miralles, Benedetta Tagliabue. Work in progress: estado de las obras = estat de les obres: 03/06/2002.

