

Cubierta X-Madrid

X-Madrid Roof

Guillermo Capellán Miguel^a, Javier Martínez Aparicio^b

Santiago Guerra Soto^c, Julio González Zalduondo^d

^aDr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Director Técnico. gcapellan@arenasing.com

^bIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Coordinador Proyectos. jmartinez@arenasing.com

^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Director Internacional. sguerra@arenasing.com

^dIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Jefe de proyecto. jgonzalez@arenasing.com

RESUMEN

X-Madrid es un espacio innovador y creativo creado a partir de la reforma de un centro comercial previo en Alcorcón, Madrid. Uno de los elementos más singulares de esta renovación ha sido la construcción de una nueva cubierta de 75 m de diámetro (4400 m²) para proteger la plaza de entrada. Merlin Properties y el equipo de arquitectura a cargo de la renovación de centro, B+R Arquitectos, contactaron con Arenas & Asociados desde las primeras etapas de estudio para formar parte del proceso de concepción, diseño, proyecto y construcción de esta singular pieza.

ABSTRACT

X-Madrid, is an innovative and creative retail space rebuilt from a previous shopping center in Alcorcón, Madrid. The most significant element of the renovation is the construction of a new 75m-diameter roof (4,400 m²) to give shelter to the entrance plaza, and the architectural firm in charge of the whole renovation, B+R Architects, contacted with Arenas & Asociados to develop the design of this singular structure from the very early first design approaches, to the final stages of the construction.

PALABRAS CLAVE: centro comercial, metálica, textil, PVC, form-finding, diseño paramétrico.

KEYWORDS: shopping centre, steel structure, tensile structure, PVC, form-finding, parametric design

1. Introducción

X-Madrid es un nuevo centro comercial promovido por Merlin Properties, que a su vez encargó al equipo de arquitectura B+R la renovación completa de un complejo existente en Alcorcón. B+R a su vez contactó con Arenas & Asociados como diseñadores especialistas en estructuras singulares para colaborar desde las primeras etapas de diseño y concepción, hasta los últimos detalles de construcción y ejecución.



Figura 1. Vista aérea X-Madrid

2. La plaza

La plaza que conecta el aparcamiento circundante con la entrada principal del centro comercial era anteriormente un espacio a cielo abierto sin proteger de los elementos y con esta nueva actuación se pretende crear una zona de confluencia donde resguardarse del sol y de la lluvia. El diseño del programa de circulaciones y usos ha resultado clave en el diseño de esta pieza: la plaza recoge a los visitantes que llegan a pie desde el aparcamiento o los alrededores y los concentra en un espacio central multiusos y diáfano desde el que los usuarios podrán adentrarse en el centro comercial a través de su entrada principal, o refugiarse en cualquiera de los espacios de cafetería y restauración que rodean la plaza.

Como elemento adicional a estos requerimientos funcionales, la estructura de la cubierta ha tenido que encajarse sobre una edificación existente, ya que el suelo de la plaza, formado por una losa de hormigón, cubre una planta inferior de aparcamiento y está dividido en cuatro sectores con juntas de expansión entre sí.

El último aspecto tenido en cuenta en el diseño propuesto por el equipo de arquitectura fue que todas y cada una de las soluciones estudiadas mantuvieran una vista directa y sin obstáculos a la entrada principal del edificio desde el centro de la plaza.

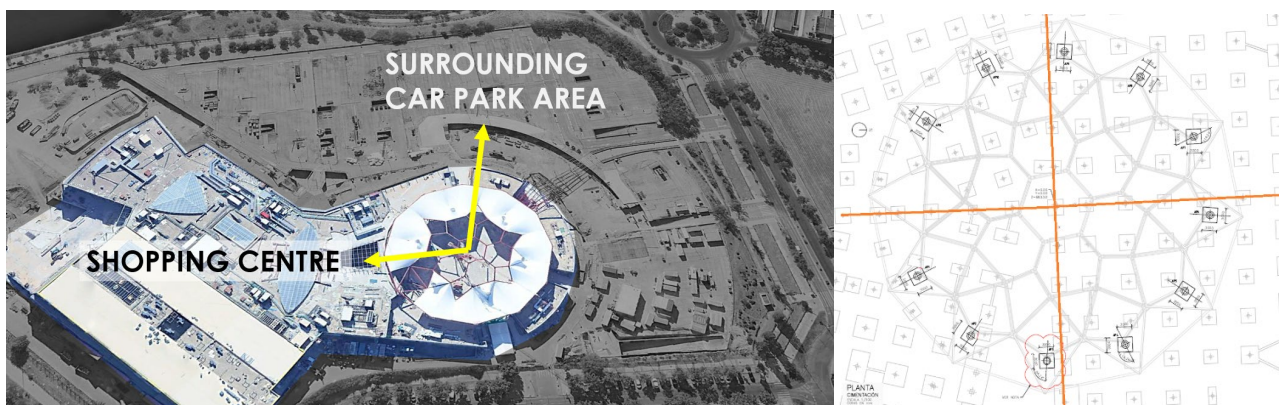
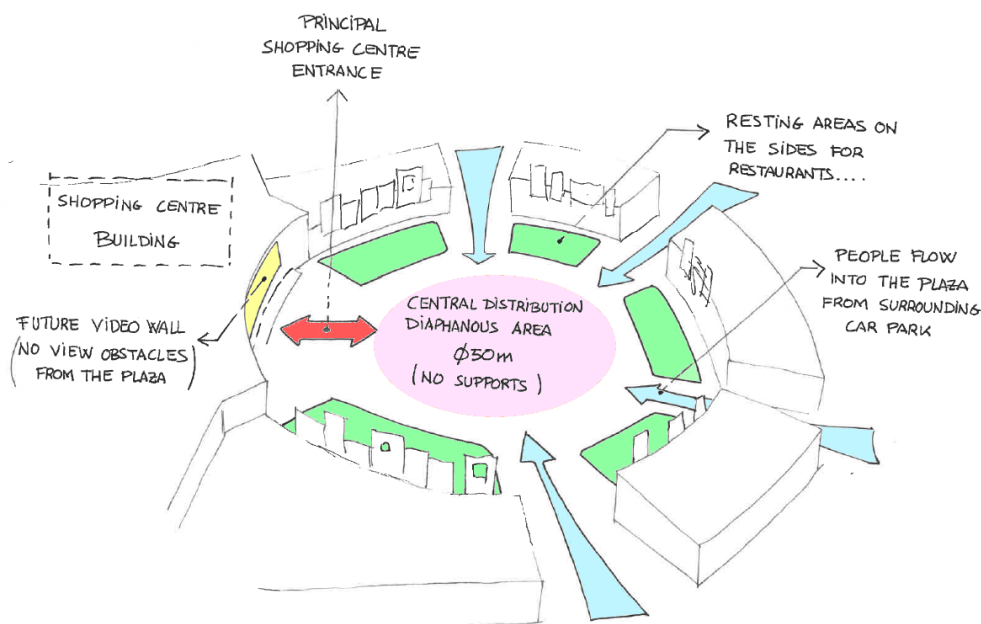


Figura 2. Circulaciones de plaza, juntas de edificio y posición de pilares en aparcamiento existente inferior.

3. Buscando la Forma

El diseño final de la cubierta es el resultado de un proceso iterativo en el cual unas cambiantes condiciones de contorno fueron tenidas en cuenta y articuladas en torno un concepto de rueda que organiza y jerarquiza el espacio simétrica y radialmente, y aglutina diferentes elementos originalmente discretos y separados

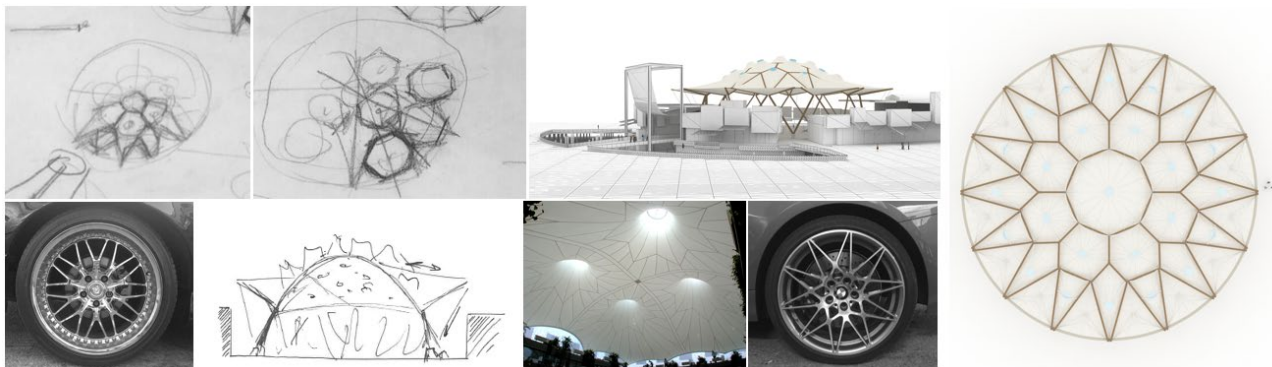


Figura 3. Croquis y referencias más significativas en las primeras etapas del diseño.

El diseño final es una estructura híbrida que combina el uso de diferentes materiales, cada uno trabajando dentro de su ratio de luz más eficiente. Así, la estructura primaria resistente emplea una tipología “gridshell” metálica, y la estructura secundaria está formada por elementos textiles de PVC de altas prestaciones

con luces contenidas. El conjunto de la cubierta metálica se apoya en los vértices inferiores de una celosía Warren circunferencial, en donde se une a unos plintos de hormigón que emergen del suelo y que guían el flujo de fuerzas a través de la losa hasta el terreno.

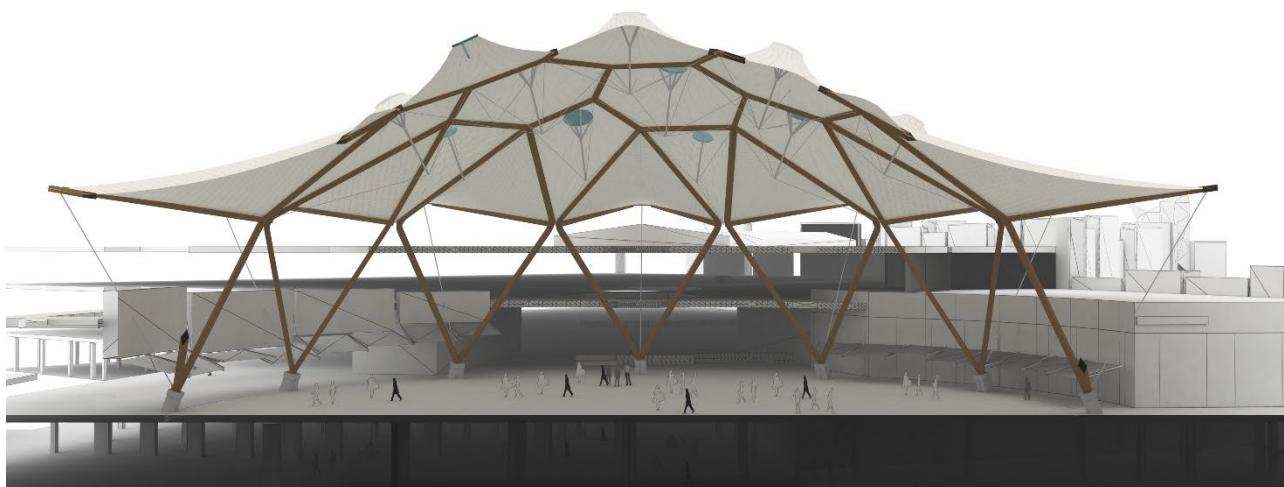


Figura 4. Sección del enfoque general inicial.

4. La solución diseñada

El concepto de cubierta elegido se beneficia del hecho de integrar diferentes tipologías estructurales, ya que el empleo de elementos textiles de 12-15 m tiene como consecuencia que el material de la membrana no requiera refuerzos adicionales que mejoren su comportamiento. El “gridshell” es una alternativa ligera, resistente y competitiva para la estructura principal, que permite un ensamblaje limpio, tiene un buen comportamiento frente a cargas de rotación originadas por el viento., y reduce en general el peso de la cubierta.

La estructura metálica se conecta a las cimentaciones por medio de 11 vértices (cada 30 grados exceptuando el vértice en el que se encuentra la entrada principal, que tal como se ha explicado anteriormente, ha sido liberado intencionalmente para mantener despejada la vista del “videowall” desde el interior de la plaza). Estos puntos de apoyo se encuentran dispuestos alrededor de la zona central de 50 m de diámetro, dejando las zonas más externas destinadas a la restauración separadas formalmente de la zona central, y protegidas por

unos voladizos que surgen de los nodos superiores de la celosía Warren perimetral.

4.1 Desarrollo del diseño

Una vez que las líneas principales de la solución estuvieron establecidas, llevamos a cabo un proceso de optimización de forma, desarrollado no sólo para reducir el peso de la estructura, sino para estudiar también diferentes configuraciones de cimentaciones, patrones, alturas libres y gálibos de la cubierta. Todas estas cuestiones fueron tomadas como datos de entrada variables a lo largo del proceso de cálculo y diseño, por lo que el recurrir a un enfoque paramétrico fue una decisión clave para afrontar el proyecto sin retrasar la producción a pesar de que varios requerimientos no estuvieran plenamente fijados. Esta labor de parametrización incluyó el modelo 3d, el modelo de cálculo general, planos 2d y mediciones. Este proceso de parametrización tuvo como software base el Rhinoceros 3d+ Grasshopper, que a su vez fue conectado con otros softwares específicos.

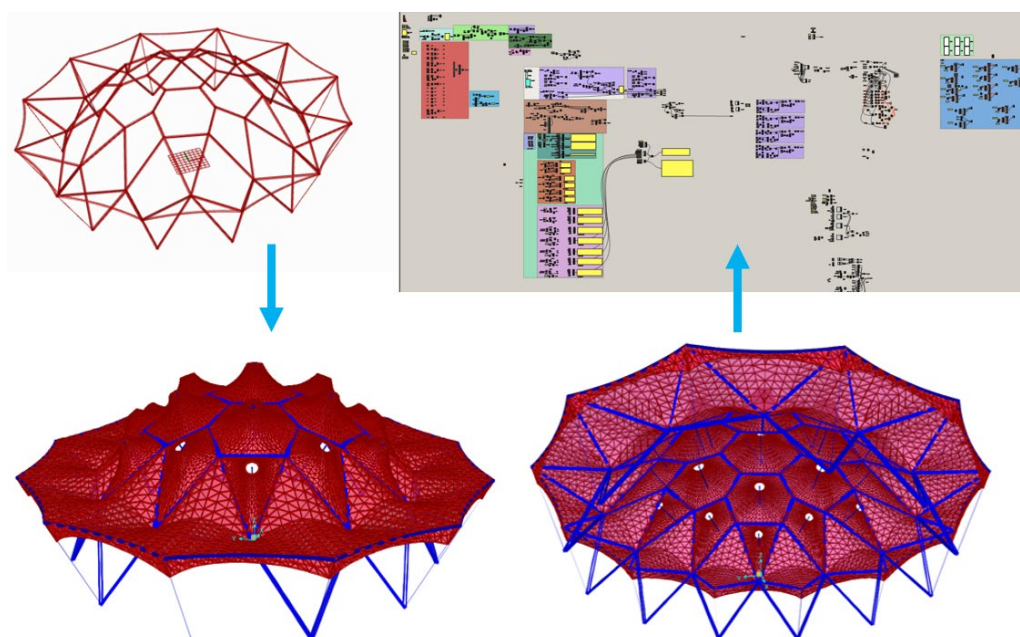


Figura 5. Flujo paramétrico seguido.

La gran ligereza del sistema implica que la carga de viento es la acción más condicionante y de mayor magnitud. Como la geometría irregular de la cubierta no es recogida apropiadamente en el Eurocódigo ha sido necesario plantear una serie de hipótesis a partir de las geometrías básicas en él disponibles, a partir de las cuales se ha ido iterando la forma de la estructura para obtener un buen comportamiento. Una vez verificada la seguridad estructural de la solución, y habiendo elegido una forma con un comportamiento óptimo ante la acción del viento supuesta, se ha realizado un túnel de viento con la ayuda de la empresa especializada RWDI con el fin de estudiar el comportamiento real del viento.



Este túnel de viento fue realizado a una escala 1:200 y dio lugar a una serie de hipótesis de carga estáticas en función de la dirección del viento. La cubierta fue discretizada en numerosos dominios con el fin de obtener la carga de presión-succión adecuada en cada uno de ellos.

Como resultado de esta verificación se realizó una revisión completa de la solución y aunque los cambios aplicados fueron menores, resulta importante resaltar que las hipótesis de viento no siempre coincidieron con las hipótesis establecidas.

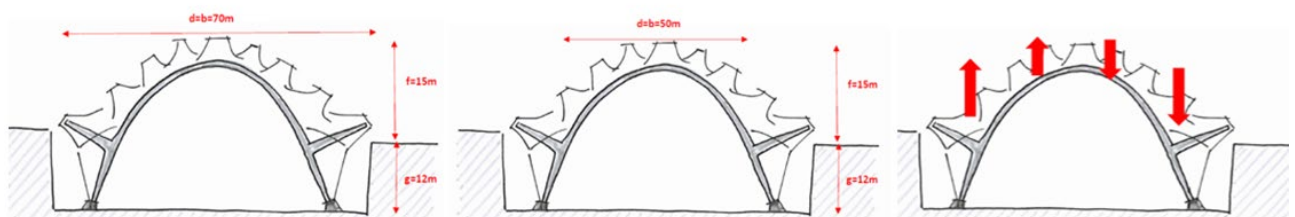
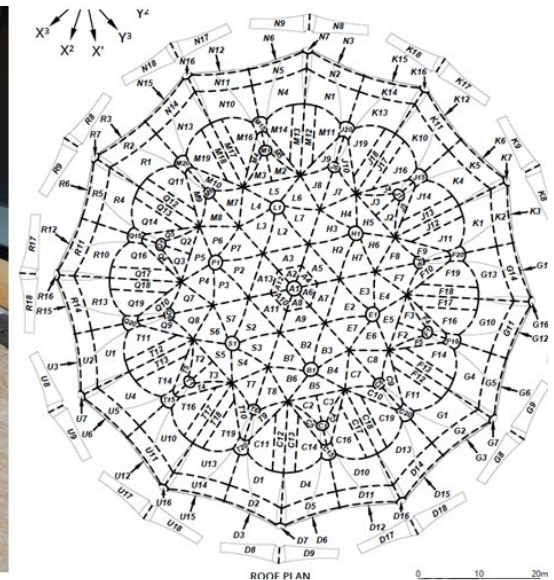


Figura 6. Túnel de viento e hipótesis iniciales.

4.2 Cimentaciones

Las cimentaciones fueron un elemento crítico en la estructura por el reto que ha supuesto transferir las cargas al terreno a través de la planta de aparcamientos existente bajo la plaza. Los plintos de hormigón, que atraviesan la losa de la plaza desde el sótano inferior, tienen un

tamaño comedido y adaptado a la escala humana de los transeúntes y reciben las cargas de la cubierta a través de unas rótulas metálicas de apoyo. La ubicación de dichos elementos de sustentación en planta fue motivo de un profundo análisis con el fin de evitar colisiones e interferencias con la retícula de pilares del aparcamiento inferior, las juntas constructivas

del edificio que dividen la plaza en cuatro cuartos aproximadamente y otros elementos singulares. La interacción con la estructura existente es un elemento del diseño crítico que fue objeto de numerosos modelos de cálculo de detalle.

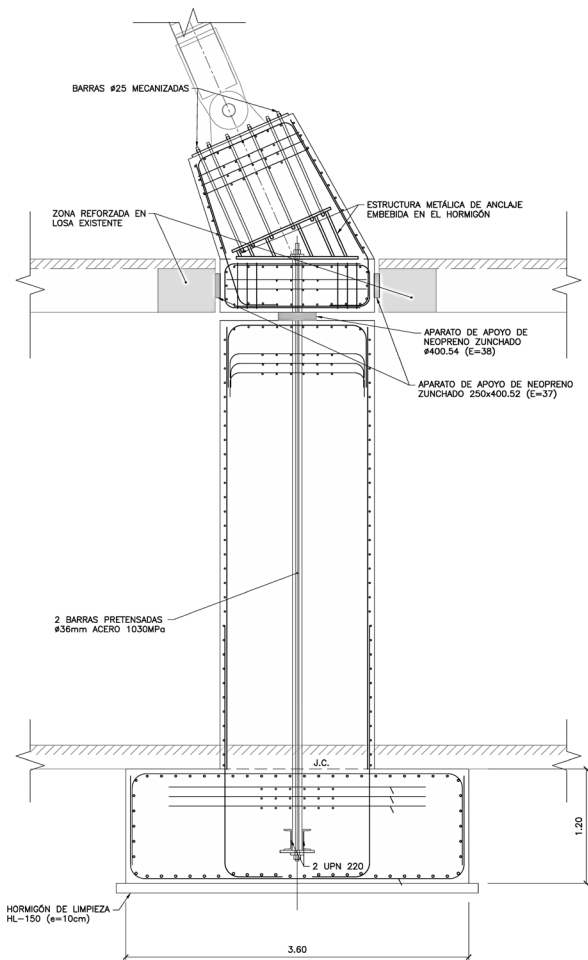


Figura 7. Sección de sistema de apoyo a través de forjado y planta de aparcamiento.

El planteamiento de conexión y transferencia consistió en crear nuevos pilares bajo cada uno de los plintos rotulados en su parte superior y preparados para resistir situaciones de despegue originadas por la ligereza del conjunto de la solución en caso de viento de succión.

La carga horizontal ha sido transmitida a la losa de hormigón y repartida uniformemente entre el resto de pilares ya existentes. Para realizar el análisis de este reparto se realizaron modelos de elementos finitos de cada uno de los sectores e introduciendo sus cargas correspondientes y las reacciones procedentes de la cubierta.

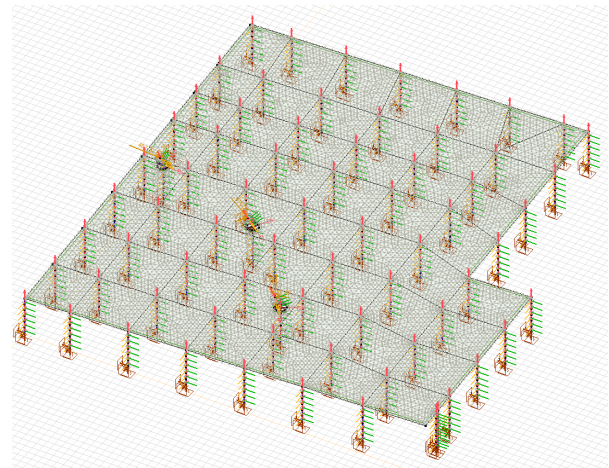


Figura 8. Modelo de losa existente con pilares.

La losa fue por tanto perforada y reforzada alrededor de cada una de las bases de hormigón y el contacto fue asegurado y suavizado por medio de unos neoprenos perimetrales, permitiendo también cierta capacidad de giro del conjunto.

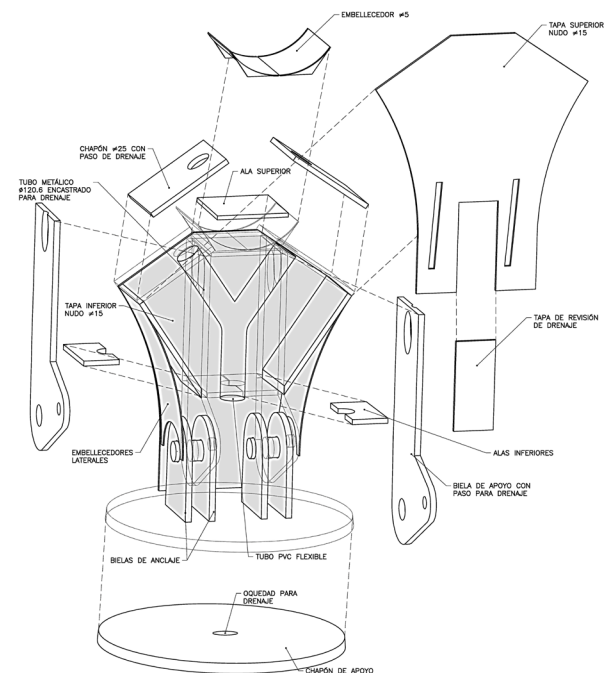


Figura 9. Sistema de drenaje integrado en el sistema de apoyo de rótula de apoyo de metálica.

Estos apoyos de hormigón no sólo son un importante elemento estructural, sino que también forman parte fundamental del sistema de drenaje de la cubierta, encontrándose este plenamente integrado en el diseño de esta pieza.

4.3 Estructura metálica

Tal como se ha expuesto anteriormente, el proceso de verificación de la estructura metálica fue insertado en un proceso de parametrización en el que las cargas y la forma fueron variables hasta el diseño final. Una vez que la geometría fue cerrada y que las cargas definitivas estuvieron calculadas se realizó un análisis de pandeo global

para cada una de las hipótesis de carga tenidas en cuenta.

La forma final es un domo de acero formado por la combinación de diversas formas geométricas como triángulos, rombos y hexágonos. La distorsión de estas formas es controlada por un sistema auxiliar de cables integrado en los mástiles flotantes de los conoides



Figura 10. Vista desde interior de estructura metálica.

Los nudos de conexión, cuyo planteamiento fue redefinido para la construcción, habían sido también completamente parametrizados para trasladar la geometría cambiante del 3d a los planos y a los modelos locales de elementos finitos de cálculo de los nudos, transfiriendo por un lado la geometría de los encuentros y dominios con sus espesores, y por otro lado las diferentes situaciones de carga provenientes del modelo general de cálculo.

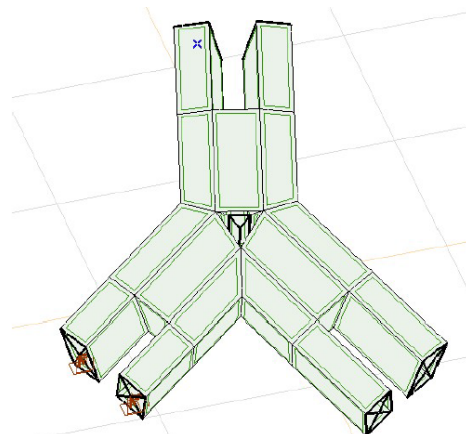


Figura 11. Modelo de elementos finitos de nodo de metálica tipo obtenido mediante parametrización.

4.4 Estructura textil

Los elementos textiles de esta cubierta son elementos secundarios completamente fijados en todo su contorno a la estructura de acero. La superficie curva de la membrana forma un sistema de drenaje que guía el agua hasta los nodos superiores de la Warren perimetral, donde es llevada directamente a los plintos de hormigón. Este comportamiento ha sido verificado realizando comprobaciones locales de “ponding” o encharcamiento analizando la geometría deformada ante los diferentes casos de carga.

Existen cinco formas básicas de tela que se combinan entre sí para formar el patrón de la cubierta, todas ellas materializadas mediante el PVC de altas prestaciones TX30-III. Este planteamiento de telas independientes facilita su mantenimiento y reposición futuros en caso de presentar algún daño.

Puede apreciarse cómo la tipología estructural elegida para estos elementos es la de conoides cuya luz no excede los 15 m. Se aplicó una pretensión de 4.5 kN/m por medio de unos mástiles flotantes telescópicos, lo que se ha permitido tener un control preciso del nivel de pretensión introducido en la membrana.

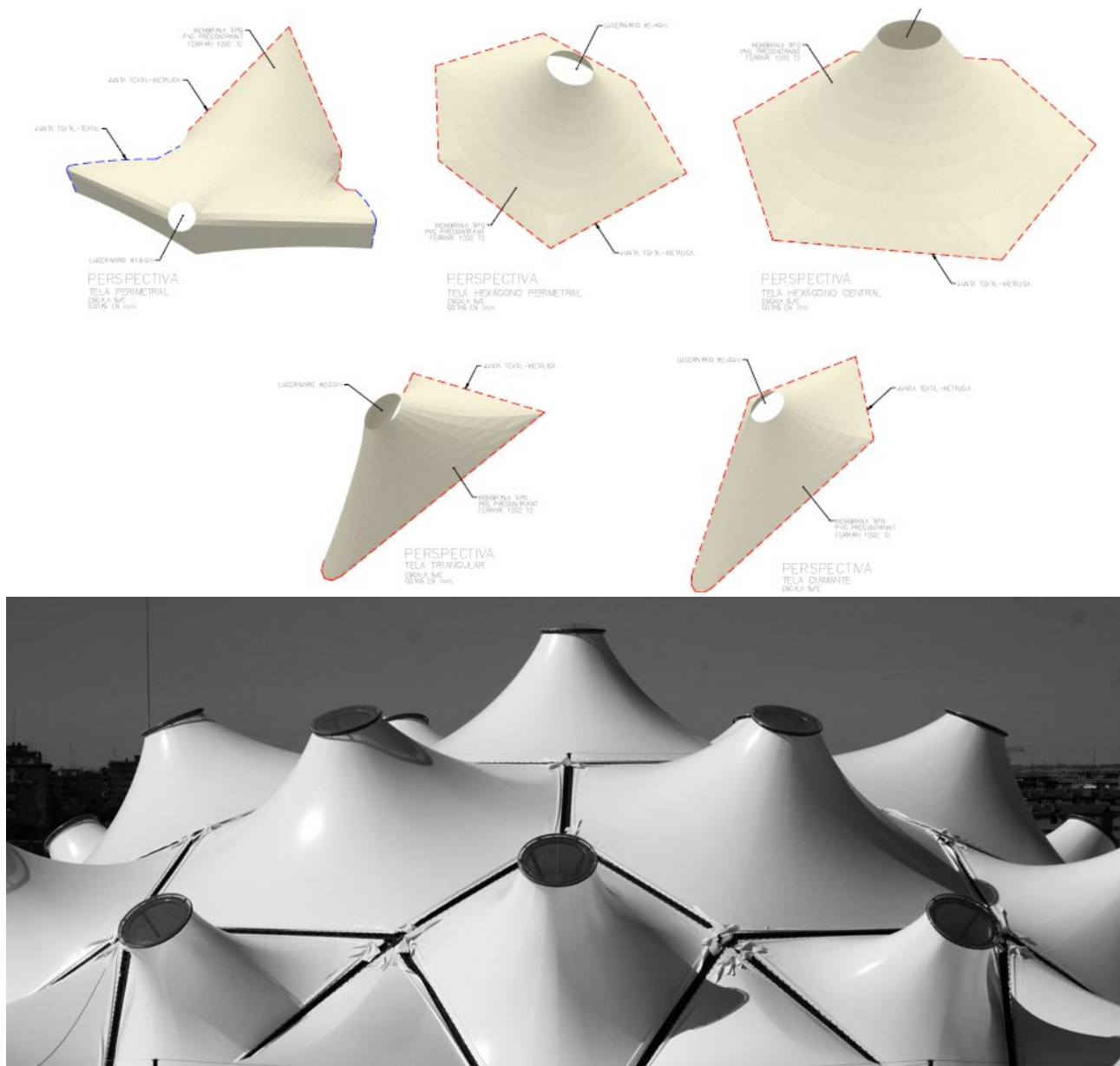


Figura 12. Tipologías de membrana aplicadas y vista superior de la cubierta.

5. Construcción

El papel de Arenas & Asociados durante la construcción de la cubierta consistió en asesorar, verificar y proponer diferentes soluciones ante los retos que ha planteado el montaje.

Durante la ejecución, la limitada capacidad de carga de la losa existente fue un condicionante muy importante para las diferentes operaciones. Se empleó una grúa centrada en la plaza para apoyar la ejecución durante todas las fases.

La secuencia de construcción de la estructura metálica se basó en un ensamblaje progresivo de los diferentes elementos siempre con un peso controlado y consistió en:

1.- Completar el sistema de apoyo tipo Warren perimetral con ayuda de apeos fijando la geometría en cota de los vértices superiores de la triangulación.

2.- Ensamblar la zona de voladizo y cerrar el anillo perimetral que será estable.

3.- Disponer torre central de apeo hexagonal con la clave del sistema.

4.- Cierre de la cubierta con ayuda de apeos provisionales en los nodos intermedios.

5.- Desapeo de la cubierta metálica.

La secuencia de erección de la membrana de cubierta se llevó a cabo en cada una de las piezas por separado y consistió en plegar la tela en las cabezas de los mástiles en el suelo, izar y colocar los mástiles en el sitio, desplegar la membrana y fijar sus bordes, y finalmente tesar el conjunto aprovechando el sistema telescópico integrado en el mástil.



Figura 13. Distintas fases de ejecución de la cubierta.

6. Conclusiones

El resultado final ha sido la creación de una pieza singular que domina su entorno y supone una referencia sobre el paisaje circundante, atrayendo visitantes y guiándolos amablemente hacia el interior del complejo comercial.

Bajo su protección las personas podrán disfrutar de diversos espectáculos al aire libre o descansar merecidamente de la intensa actividad que propone el centro en cualquiera de las zonas de descanso dispuestas en el perímetro.



Figura 14. Vista aérea del resultado final.

7. Agradecimientos

El diseño y construcción de esta emblemática obra ha sido el resultado final del esfuerzo de muchas personas. Nos gustaría agradecer especialmente a Merlin Properties y al estudio de arquitectura “B+R”, con los que trabajamos desde las primeras etapas de diseño y concepción hasta las de construcción, y al contratista Acieroid y sus especialistas Coda y Moñita.