

La ingeniería en la “Caja Mágica”

Engineering at the “Magic Box”

Salvador Fernández Fenollera. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
TYPESA. Dirección Facultativa O. Civil. sfernandez@typsa.es

Luis Catalán Burón. Ingeniero Técnico de Obras Públicas
TYPESA. Dirección Proyecto. lcatalan@typsa.es

Luciano González Nazábal. Ingeniero Industrial
TYPESA. Proyecto Instalaciones y Dir. Facultativa Instalaciones. lgonzales@typsa.es

José Luis Sánchez Jiménez. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
TYPESA. Proyecto Estructuras. jlsanchez@typsa.es

Resumen: En el diseño y construcción de una arquitectura como la de la Caja Mágica tiene un importante peso la ingeniería civil, estructural y de instalaciones, en diálogo permanente con el arquitecto, para conseguir una construcción sólida, sostenible, energéticamente eficaz y adaptada a la multifuncionalidad que requiere su uso. Este artículo repasa la intervención de la ingeniería para hacer realidad el diseño del arquitecto: accesibilidad, estructuras, acústica, climatización, seguridad ante incendios, sostenibilidad, etc.

Palabras Clave: Infraestructura olímpica; multifuncionalidad; sostenibilidad; cubierta móvil

Abstract: On the design and construction of an architecture like the Magic Box's, civil, structural and facilities engineering played an important part, in dialogue with the architect, to achieve a solid, sustainable, energy efficient and suited to the multifunctional requirements for its use. This article reviews the involvement of engineering to realize the architect's design: accessibility, structures, acoustics, air conditioning, fire safety, sustainability, etc.

Keywords: Olympic infrastructure; multifunctionality; sustainability; movable roof

1. Principales retos constructivos

El diseño de un Complejo tan ambicioso como la Caja Mágica tiene una serie de premisas que guían la fase de proyecto y que se siguen como ejes en la fase de construcción. Así se han mantenido como referencias en el trabajo de todo el equipo proyectista, de dirección de obra y constructora:

- Diseño y construcción de un edificio sostenible energética, ambiental y socialmente. Logrado no solo a través del empleo de materiales reutilizados o ecológicos o de un diseño “amable” (sombras, ambiente de trabajo agradable, zonas verdes, lago ecológico con empleo de agua regenerada) y con el objetivo de recuperación para los ciudadanos de un entorno degradado e infrautilizado, sino también fundado en el diseño de instalaciones basadas en la optimización y ahorro del consumo energético, en la gestión inteligente para optimizar su uso, en el diseño de elementos de fácil y barata instalación y mantenimiento, etc.

- Calidad arquitectónica, pero ajustada al uso de gran público en diversos eventos, así los materiales y acabados son resistentes (hormigón, acero) y no hay concesiones a lo superfluo.
- Multifuncionalidad: Permitir mediante el diseño del edificio la posibilidad de utilizarlo en numerosos eventos de diferentes características a lo largo del año, para rentabilizar la inversión con su uso. Así se han concebido distintas configuraciones de graderíos, importantes aislamientos acústicos entre pistas y de cara al exterior (por encima de lo exigido en la normativa), distintas configuraciones del espacio mediante las cubiertas móviles, etc.
- Cumplimiento de los objetivos de plazo y coste, buscando alternativas constructivas que mejoraran rendimientos y manteniendo la calidad de la construcción al menor coste posible.

Para cumplir con estos objetivos se ha trabajado superando múltiples retos técnicos, para lo que ha sido preciso el trabajo comprometido de un equipo multidisciplinar de arquitectos y arquitectos técnicos,

ingenieros civiles e ingenieros de instalaciones, de la Dirección Facultativa y del Contratista, y de los industriales especialistas.

Bajo la promoción del Ayuntamiento de Madrid a través de la empresa municipal Madrid Espacios y Congresos, y con la dirección de Dominique Perrault junto a TYPESA como ingeniería para estructuras e instalaciones como redactor del Proyecto de Construcción y Dirección de Obra, han intervenido FCC Construcción como contratista principal y redactor del Proyecto de la Cubierta, LKS Studio como Asistencia Técnica de la Propiedad e Intermac realizando supervisión de proyecto y el control de calidad de materiales.

2. Recuperación del entorno

La ribera del Río Manzanares en la zona sur de Madrid ha venido siendo tradicionalmente un ambiente hostil e incomodo por la presencia de infraestructuras de importancia para la ciudad, pero con una fuerte y agresiva presencia. Este es el caso por ejemplo de las playas de vías de las infraestructuras ferroviarias, estaciones de tratamiento de agua o, singularmente, la autopista de distribución perimetral M-30.

Como consecuencia, la ciudad creció en esta zona sur de espaldas al río, quedando las márgenes de éste como una zona degradada y resultando los barrios del sur de la ciudad empobrecidos.

En los últimos años el Ayuntamiento de Madrid ha hecho un esfuerzo por recuperar este entorno y abrir de nuevo la ciudad a su río, destacando especialmente el soterramiento del anillo de circunvalación M-30 y como consecuencia la recuperación de una superficie pegada al río que se ha convertido en un parque a su alrededor.

En este marco se inició hace varios años la construcción del Parque del Manzanares, en una zona muy cercana al centro de la ciudad pero separada de ella por estas grandes vías, y que se había convertido en un núcleo de infraviviendas solo rodeadas de infraestructuras y vertederos.

Dentro del Parque y con el objetivo de crear un centro de atracción de actividad, regeneración de la zona y un foco de atención al sur, se reservó espacio en la normativa urbanística para un gran equipamiento deportivo que ha devenido en el Centro Deportivo Multifuncional del Parque del Manzanares "Caja Mágica", del que se espera que gracias a su actividad de-

portiva, de espectáculos o comercial durante gran parte del año, en un entorno de gran calidad arquitectónica, colabore en el relanzamiento y desarrollo del previamente abandonado sur de la ciudad.

Además, reforzará esta misión su posición clave en la candidatura de la ciudad de Madrid para los juegos olímpicos de 2016 como realidad contraída y en uso, tras serlo ya para los de 2012 como proyecto.

3. Accesibilidad

De cara a verificar la viabilidad de los accesos de público al recinto, y en cierto modo fijar el aforo máximo del recinto (y contrastar el previsto) se realizó un estudio de accesibilidad y comportamiento del tráfico complementario a los que se han venido realizando en las diversas actuaciones relacionadas con el Parque del Manzanares, esta vez centrando el enfoque en la celebración de una evento de máxima ocupación en la Caja Mágica, y teniendo en cuenta las mejoras de la red de infraestructuras desarrolladas en la zona, en particular la línea 3 de metro.

En primer lugar se calculó la capacidad máxima de los aparcamientos propuestos, comprobándose que cumple los requerimientos sobre dotaciones mínimas de aparcamientos indicadas en el Plan General de Urbanismo.

Posteriormente se evaluó la capacidad máxima de los medios de transporte públicos existentes y previstos en el año de apertura de la Caja Mágica, y por último se analizó la incidencia que tiene el reparto modal entre el transporte público y el privado en la necesidad de aparcamientos, al objeto de garantizar la movilidad de la zona.

Los accesos por medio de vehículo privado se realizarían principalmente desde el nudo Sur de la M-30 o el Supersur de la M-40, y desde la Av. De Andalucía y la prolongación de la calle Embajadores, que conectan directamente con el centro de Madrid. El acceso a los aparcamientos previstos en el PGOUM y en el Master Plan del Parque del Manzanares enlaza con ellos.

Los aparcamientos previstos para reforzar los ya ejecutados en el Parque del Manzanares, que cuenta ya con 630 plazas (495+135), son 269 plazas en el Media Garden, es decir en el interior mismo del recinto Caja Mágica más el desarrollo de la banda de aparcamientos en el Camino de Perales (360 plazas ya ejecutadas) y en la superficie acondicionada para aparcamiento



Fig. 1. Localización de viarios de acceso de vehículos.

eventual este en la margen izquierda del río (1650 plazas ya ejecutadas, muy por encima de las previstas en el estudio inicial).

Además se propuso la construcción de un último aparcamiento en superficie al sur, con 559 plazas adicionales, que está pendiente de ejecución. Según la dotación mínima establecida en el PGOUM se precisarían 900 plazas de aparcamiento, cifra ampliamente superada.

Por otra parte, las tres líneas de autobús más cercanas a la Caja Mágica, más la gran capacidad de la red de metro, con una estación a 800 m de la Caja Mágica permitiría sobradamente el desalojo de la totalidad del aforo en el evento de mayor ocupación, garantizando la accesibilidad con transporte público.

Fig. 2. Localización de superficies para aparcamiento.



Tras el análisis de las posibilidades de acceso existentes y del aforo previsto se obtuvo como conclusión que se debe alcanzar un reparto modal como mínimo del 66 % en transporte público colectivo. Es de destacar que este reparto modal no es inalcanzable si se proporciona un servicio de transporte público lo suficientemente eficiente y competitivo con el transporte privado, implementándose así mismo medidas que favorezcan el uso del transporte público, como se ha logrado en el Estadio de Wembley (R.U.), donde la distribución modal es de un 16/84 a favor del transporte público en los acontecimientos deportivos (Datos del *Planning Brief: Access, circulation, parking & servicing, Wembley Stadium, Brent Council 2003*)

Finalmente, con las plazas ya ejecutadas y descontando las previstas aún sin ejecutar, se obtuvo como conclusión que el aforo máximo de 18.500 espectadores era viable, considerando la oferta de 2.909 plazas de estacionamiento previstas en zonas próximas a la ubicación del Complejo, para vehículos que mostrasen ocupaciones medias de 2,75 personas, más un acceso en transporte público conforme a una distribución modal del 43/57 a favor de transporte público (evitando las congestiones con ofertas de horario desplazado) apoyada fundamentalmente en la capacidad de difusión de la futura ampliación de la Línea 3 del Metro de Madrid.

En cualquier caso, y como es habitual en este tipo de recintos con gran afluencia de público, se consideró importante incluir medidas de potenciación del transporte público y desincentivación del vehículo privado para lograr este reparto modal ideal, ya que el hábito del usuario de vehículo propio provocaría la saturación de la zona y los aparcamientos, así se recomendó plantear alternativas como servicios lanzadera, incluir los billetes del transporte público en los tickets de entrada al evento, potenciar la información, y las frecuencias de servicio en los días de evento, etc.

4. La solución estructural

La estructura de hormigón es la que da forma a los niveles inferiores (de usos técnicos) y a los tres estadios, quedando la estructura metálica como la caja que los envuelve.

Dado el carácter de uso de multitudes del edificio, y la intención del arquitecto de dar un cierto aspecto

industrial al conjunto, muchas de las estructuras de hormigón, especialmente las que por su marcada geometría tiene una fuerte presencia, quedan vistas. Esto ha supuesto un especial cuidado tanto en el diseño (la geometría) como en la ejecución (los acabados).

Los forjados de las plantas -1 y +0, en particular ésta última por sus dimensiones, se han resuelto mediante losas postesadas de 40 cm de canto, apoyadas en una retícula de pilares cada 14,40 m, y con una única junta de dilatación que la divide en dos cuerpos de aproximadamente 170x100 m y 170x70m. Tanto la modulación de soportes como la presencia de unas vigas perimetrales de 1,50 metros de canto que deben quedar vistas enmarcando el falso techo son los requisitos formales de arquitectura.

La mayor parte del forjado del nivel +0 debe ejecutarse a 8,0 m de altura, desde el nivel -2 (nivel del lago), lo que llevó a plantear en el proyecto soluciones prefabricadas apoyadas en una retícula de vigas in situ, que eran parte del concepto formal de arquitectura. Finalmente, para la obra, y tras la desaparición de la crujía de vigas cada 14,40 m, se optó por una solución de losa postesada en una o dos direcciones, en función de la geometría de la planta, con un canto de 40 cm apoyada sobre pilares, que resultó con un rendimiento incluso superior al de la solución prefabricada, por el plazo de suministro. Se empleó hormigón HA-45 no solo por su resistencia, sino para permitir en plazos cortos una gran resistencia inicial que permitiera un desencofrado rápido.

El postesado se ha dispuesto inicialmente en bandas de pilares y en la medida que era preciso aumentar su cuantía se han completado en la zona entre bandas de pilares. Se utilizan vainas planas de 4 cordones de 150mm². Debido a su corta longitud y a la disposición de juntas constructivas, se ha dispuesto únicamente un anclaje activo.

Los pilares están dispuestos en una malla regular de 14,4 x 14,4 m, y se resuelven con fustes de sección cuadrada de 1,50 m de lado, de hormigón armado. Estas secciones establecidas por criterios arquitectónicos resultan sobredimensionadas para muchos de los pilares, pero está muy ajustada en algunos, que soportan los esfuerzos de las deformaciones diferidas, el peso de parte de los graderíos a través de pórticos unos, y otros la bajada de cargas de la cubierta a través de los pilares metálicos, con los que se conectan mediante barras Macalloy. Además, al ser elementos que debían ser vistos, exigieron un minucioso trabajo

en el encofrado (reforzado mediante tableros fenólicos) y su estructura soporte (para no tener que emplear espaldines)

Estadios

Los vasos de los estadios y los graderíos, se resolvieron mediante elementos de grada prefabricados apoyados sobre grandes pórticos situados cada 14,4 m. En estos, el dintel o costilla principal tiene una inclinación de 30° aproximadamente, con proyección en planta de 27,6 m, y queda sustentada en el extremo inferior y en una pareja de soportes que, arrancando del mismo punto, se abren con ángulos de 60° con la horizontal para recibir la pieza superior. Esta situación conlleva en el dintel un comportamiento como viga continua a la que se superpone una tracción general por la inclinación de los soportes.

Estos pórticos también quedan vistos, formando parte del carácter industrial de la arquitectura. Por ello debían tener un buen acabado, por lo que se planteó en el proyecto su ejecución mediante elementos prefabricados ensamblados in situ con junta húmeda. En la obra se optó por la ejecución in situ con el empleo de moldes metálicos específicamente contruidos, que facilita la ejecución y logra un acabado, si no tan bueno como el prefabricado, sí de una gran calidad.

Los pórticos de aproximadamente 12 metros de altura y con una inclinación de casi 30° (según las necesidades que imponen las líneas visuales de los espectadores) se reparten en un módulo también de 14,40m. Para dividir la luz y permitir la formación del graderío con elementos prefabricados dentro de los 7 metros de luz se han necesitado unas vigas paralelas intermedias, prefabricadas y pretensadas, apoyadas en los muros de vomitorio de niveles inferiores, y en la viga de borde del Sky-Lounge.

En las piezas de pórtico tipo (las 20 que conforman los apoyos de las gradas de los cuatro lados del estadio) el nivel de tensiones resultante de la superposición de ese trabajo como viga continua y la tracción del dintel es tal que permite proponer para dichos elementos una solución en hormigón armado que cumpla satisfactoriamente los requerimientos resistentes y funcionales (con especial atención a un control de fisuración que condiciona la disposición de altas cuantías de armadura).



Fig. 3. Armado y encofrado pórticos de gradas.



Fig. 4. Graderío este, pórticos tipo.

Fig. 5. Pórtico en esquina.



Fig. 6. Vista general del montaje del graderío, pórticos de esquina y losa de Sky-Lounge.



Sin embargo, en las piezas que conforman los cuatro pórticos de esquina, la mayor longitud e inclinación, junto con una configuración de cargas que acentúa su componente de vuelco, hacen que las tracciones resultantes sean aproximadamente el doble que las del pórtico tipo y, así, invalidan la posibilidad de proponer una solución similar en hormigón armado. Para compensar estas fuertes tracciones se proyecta un pretensado con trazado parabólico, que reduce al mismo tiempo las flechas del voladizo extremo, y permite ajustar las dimensiones del dintel. Son precisos dos tendones de 15 f 0,6" por cada dintel.

Las gradas prefabricadas de hormigón armado pueden resolverse económica y eficazmente con elementos en L que aprovechan la altura del respaldo para dotar de inercia a la sección; la losa de huella, muy flexible, queda apoyada entre la base del respaldo correspondiente y la coronación del elemento inmediatamente inferior. Como singularidad, las gradas debían incorporar taladros en la tabica para alojar los difusores de la climatización bajo los asientos, y en la

pisa para alojar luminarias, y en el respaldo se han integrado guías corridas para la fijación de los asientos. Por último, se realizó un importante esfuerzo en el sellado de las juntas de los apoyos de las piezas, al constituir el cierre del plenum de climatización.

En los estadios 2 y 3, la situación es muy similar, si bien con dimensiones mucho más reducidas. Se diseña una solución con muros que dan apoyo a las piezas de gradas, algunos de los cuales además sirven de soporte a las escaleras de acceso. Soportan el voladizo de una ménsula que resuelve el pasillo de acceso inferior, y la losa que forma el pasillo del nivel superior. Solo las esquinas se resuelven con pórticos similares a los del Estadio 1, aunque por su menor dimensión no necesitan pretensado.

Sky-Lounge

El "Sky Lounge" es un anillo perimetral a la pista principal, que cierra en la fila superior el estadio formando un conjunto de palcos acristalados que serán destinados a usuarios VIP.



Fig. 7. Cimbra en altura para losa postesada de Sky-Lounge.



Fig. 8. Perspectiva de la Caja Mágica con las cubiertas abiertas.

Resulta del forjado entre los voladizos exteriores de los pórticos de gradas del estadio principal. Está situado a la cota 583 y se compone de una losa maciza postesada unidireccional de 30cm de espesor constante (relación canto/luz 1/48). Esta losa se apoya en los pórticos del estadio 1, situados cada 14,40. En el borde interior de este forjado se apoyan dos vigas prefabricadas perpendiculares al voladizo, sobre las que se apoyan las gradas, puesto que su luz es de 7,20m. Esto hace que exista un descuelgue de una viga de 60cm de ancho y 100cm de descuelgue bajo el forjado.

El pretensado está fuertemente condicionado por la presencia de huecos. Se ha optado por vainas planas de 4 cordones de 150mm².

Al igual que sucedió con la losa de los niveles principales, el proyecto preveía un sistema de ejecución mediante vigas pretensadas prefabricadas y prelasas para evitar los forjados in situ con gran altura. Finalmente se optó por la solución postesada tras comprobar la eficiencia del método en los niveles inferiores.

5. La cubierta: tenis indoor, tenis outdoor

Uno de los elementos más destacados y sorprendentes del edificio es su cubierta, que da la forma de “Caja” imaginada por el arquitecto, y que tiene tres

“tapas” practicables que permiten que se libere totalmente cada una de las tres pistas, dando la posibilidad de celebración de competiciones o eventos al aire libre o a cubierto, que es la parte “Mágica”.

Esta posibilidad de apertura convierte al edificio en el único estadio de tenis del mundo con tres pistas con cubiertas móviles, que permite la celebración de competiciones *indoor* y *outdoor*, y que la lluvia no interrumpa un torneo más que durante unos pocos minutos.

Además permite multiplicar la cantidad de eventos que se pueden celebrar en el edificio, dando rentabilidad a la inversión, al poder acoger una gran variedad de acontecimientos de muy distinta índole.

Cada una de estas tres tapas móviles está apoyada sobre la cubierta fija que unifica el conjunto y sobresalen sobre ella en todo su canto, de aproximadamente cinco metros.

Para dar respuesta a este diseño hubo que recurrir, lógicamente, a una estructura metálica que, debido además a la necesidad de acoger en su interior toda una serie de instalaciones y máquinas de climatización, no podía ser de celosía tridimensional. Y por otro lado desarrollar un sistema de elevación y desplazamiento de las cubiertas móviles que hiciera posible esa versatilidad.

La solución adoptada se centra en el diseño de una estructura de carácter muy convencional en



Fig. 9. Cercha tipo de estructura de cubierta.

cuanto a la tipología de sus elementos resistentes, aunque las dimensiones y complejidad de algunos elementos en particular resultan extraordinarios.

Cubiertas fijas

La estructura general se divide en dos partes correspondientes por un lado al estadio 1, y por otro a los estadios 2 y 3; separadas ambas zonas por una junta estructural, reflejo de la única junta estructural de la base de hormigón que la sostiene.

La estructura de ambas zonas está formada por un emparrillado ortogonal de celosías de forma que se consigue salvar la importante luz de unos 100 m cada 7,20 m con el canto arquitectónico exigido de sólo 5,46 m, que corresponde a un canto estructural de

4,00, con una flexión bidireccional gracias a las celosías secundarias, perpendiculares a las principales, sumando casi 4 millones de kg de acero estructural.

La tipología adoptada para todas estas celosías consiste en la ejecución de las barras de la estructura con perfiles laminados en los casos de cargas reducidas y perfiles armados en el caso de las celosías más solicitadas de forma que se consigue una geometría uniforme de estructura, un muy buen aprovechamiento del material y una sencilla fabricación.

El acero estructural empleado es de tipo S355 J2 G3 en las chapas y perfiles laminados; a excepción de las cerchas que será S460N. La calidad de acero de los perfiles tubulares es S 355 J2 H para aquellos de espesor mayor o igual a 6mm y de acero S 275 J0 H para los espesores menores de 6mm.

Las almas de los perfiles se han colocado horizontales de forma que se simplifican las uniones y los cruces de celosías que no tienen porqué tener la misma dimensión en sus cordones.

En los laterales de la cubierta fija en esta zona, y con el objeto de permitir el desplazamiento de las cubiertas móviles de los estadios 1, 2 y 3 se disponen vigas mixtas, que recogen los carriles sobre los que se moverán los mecanismos de desplazamiento de las cubiertas, y que permite la mitigación efectiva de los posibles ruidos y vibraciones de la estructura durante su desplazamiento, así como de una plataforma efectiva de acceso a los mecanismos de elevación y desplazamiento.

Las celosías principales se apoyan en sus extremos sobre los soportes mediante diafragmas especiales que permiten el paso de la viga carril por la que se desplaza la cubierta.

Siguiendo los condicionantes establecidos por el proyecto de Arquitectura, se han dispuesto un tipo de soportes de características exteriores prácticamente iguales, capaz de proporcionar una gama de capacidades muy amplia que pueda adaptarse, sin sobrecostes significativos, a la serie de diferentes cargas que cada soporte recibe en función de su posición en el complejo; y que, a la vez, posean unas características adecuadas a las grandes dimensiones requeridas por su altura de aproximadamente 17 m.

La disposición de estos soportes sitúa su canto mayor ortogonal a la fachada, de forma que recogen mejor las acciones de viento y, sobre todo, los sistemas de movilidad y rodadura de los sistemas mecánicos de las cubiertas, en las zonas que lo requieren.



Fig. 10. Vista de la estructura de cubierta.

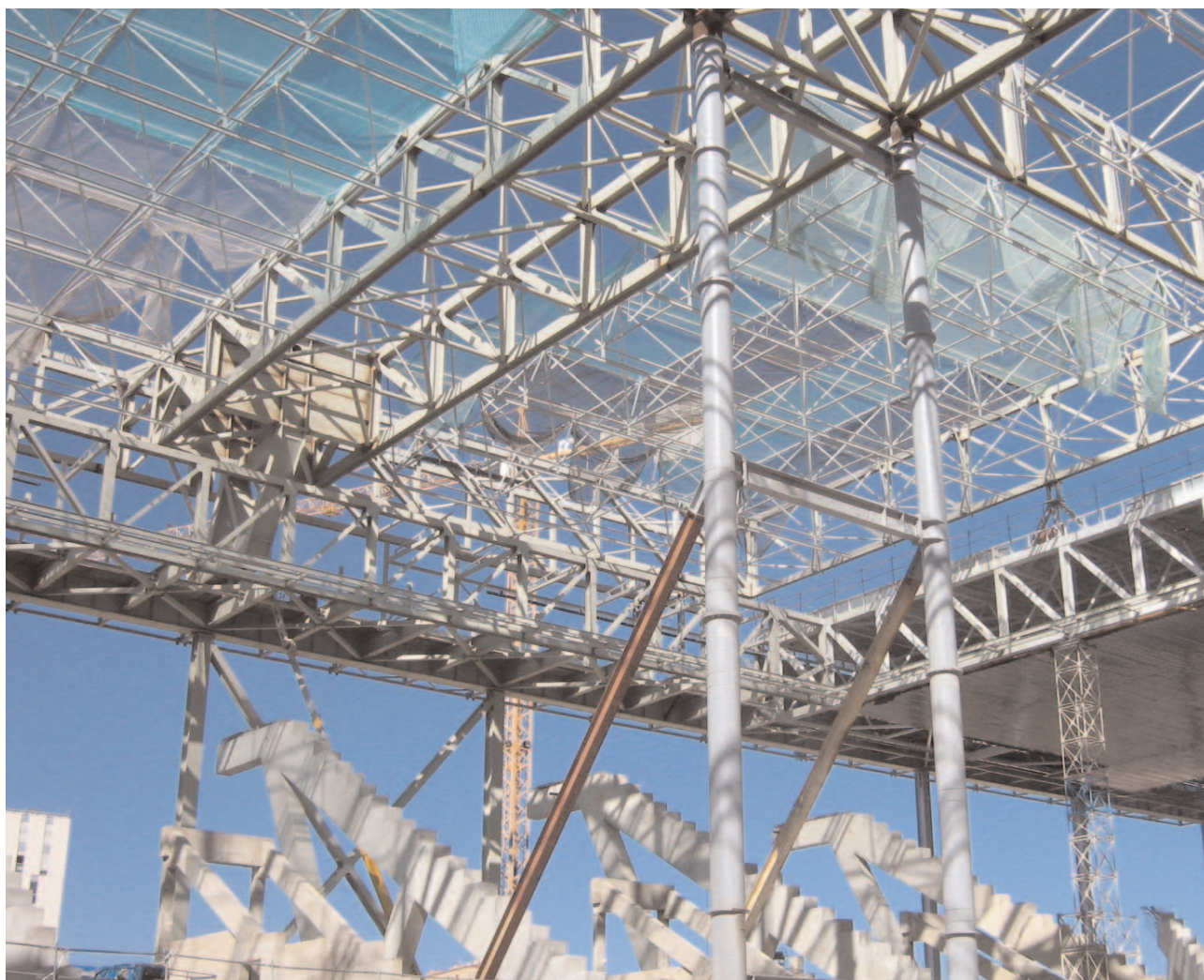


Fig. 11. Montaje de la estructura de la Cubierta Móvil 1 con torres de apeo provisionales.

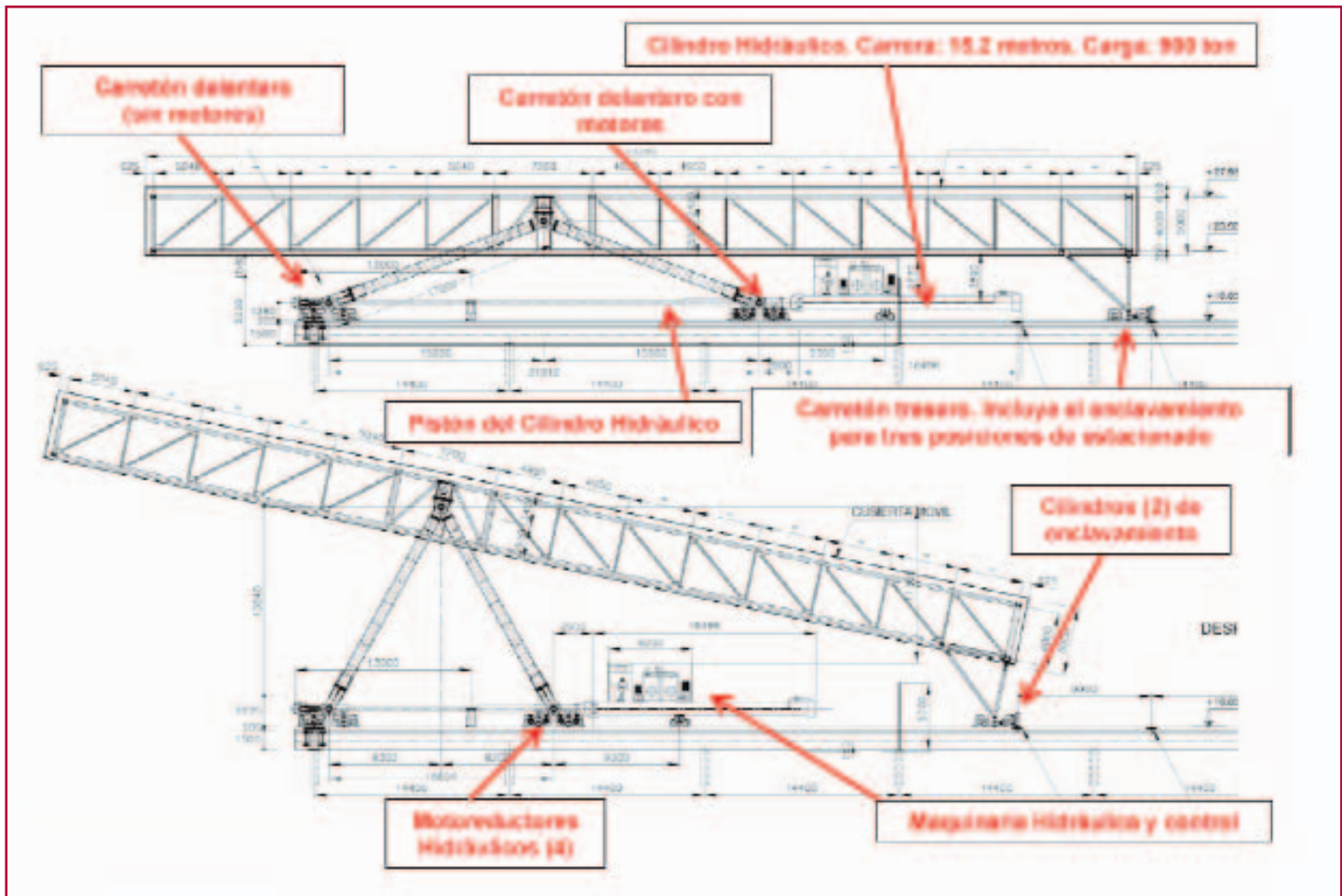


Fig 12. Sistema de desplazamiento y elevación Cubierta 1.

La unión de estos soportes es también de empotramiento con su cimentación, la cual está vinculada a la de los soportes de la cubierta.

La estructura de cubierta se completa con los sistemas de arriostramiento antiviento colocados a la altura del cordón inferior de las celosías, con estructuras adicionales necesarias para la sustentación de los falones laterales de cerramiento de las cubiertas.

Cubiertas móviles

La característica principal de las cubiertas del edificio, y en definitiva uno de los elementos de mayor fuerza arquitectónica y espectacularidad es la capacidad de desplazamiento de grandes tramos de la cubierta, de manera que permitan la apertura total del hueco sobre cada una de las pistas, quedando las "tapas" de la "Caja" volando sobre esta.

La cubierta principal tiene unas dimensiones aproximadas de 103 x 73 metros, está compuesta por una

estructura principal a base de celosías convencionales completada por una estructura espacial tridimensional. Se abre 12° girando alrededor de la charnela de 103 metros y se mueve, perpendicularmente a esa charnela, 65 metros. El tiempo de apertura de giro es de 15 minutos y la velocidad de traslación de 5 metros/minuto.

Los mecanismos de elevación y apertura supusieron una ejecución enormemente especializada que se ha desarrollado entre Alemania, Holanda y Portugal, con el ensamblaje final y puesta en marcha en posición a 30 m de altura.

Para lograr el giro/elevación se desarrolló una solución basada en utilizar un esquema de triángulo, con un lado que disminuye de longitud situado en la alineación de unos bogies de rodadura. Queda por tanto un triángulo formado por dos patas estructurales de longitud fija que descansan en unos bogies que ruedan sobre raíles, y un cilindro hidráulico que une los bogies de rodadura. Se trata de lograr que los gatos



Fig. 13.
Apertura de
Cubierta 3.

sean del menor recorrido posible y que las partes móviles estén en la alineación del camino de rodadura y no en la cubierta.

La solución consiste de los siguientes elementos (en cada una de las dos alineaciones de rodadura):

- Dos barras articuladas que forman los lados indeformables del triángulo. Estas barras son de estructura metálica convencional. En su vértice superior se unen entre ellas, y a la cercha principal de cubierta, en unas rótulas esféricas libres de mantenimiento, que se encajan en un único eje coincidente con el eje de giro.
- Dos bogies a los que llegan las barras anteriores. Son los que se ocupan de la traslación de la cubierta, que se realiza mediante fricción entre rueda y carril. Estos bogies constan cada uno de cuatro ruedas, accionadas por motores hidráulicos, con su correspondiente reductor. Este motor va adosado y se sitúa uno por cada dos ruedas.
- Un bogie trasero, cuya carga es muy pequeña, dado que el centro de gravedad está muy aleja-

do de él. Dada la pequeña carga, todas las ruedas de este bogie, son "locas", es decir que son arrastradas y ellas mismas no tienen ningún motor.

Atravesando ambos bogies, se sitúa el cilindro hidráulico cuya carrera es de 5.2 metros y la carga del mismo de 920 toneladas. Este cilindro constituye el lado deformable del triángulo y es de esta manera como se sube y baja la cubierta, hace también la función de enclavamiento mecánico, uniendo los bogies sin necesidad de presión de aceite.

Por su parte, los sistemas de movimiento de las cubiertas 2 y 3, de iguales dimensiones en planta (44 x 60) y con una estructura compuesta con una tipología de celosías tradicionales, arriostradas por correas, son similares. Ambas se abren 25° con el eje largo como charnela de giro. El sistema de giro se produce por unos cilindros hidráulicos que atacan directamente a la estructura móvil, apoyándose en unos bogies dobles sobre vigas carriles, que permiten el eventual desplazamiento de las cubiertas móviles. Los elementos son:

- Dos cilindros hidráulicos de 420 toneladas de capacidad y 6.5 metros de carrera, que recogen la carga de cubierta y la trasladan directamente a la estructura fija.
- Dos barra de seguridad, cuya función es enclavar la cubierta, para que una vez levantada, la cubierta no tenga que descansar sobre el gato en carga. Esta barra es accionada también por cilindros hidráulicos.
- Ocho bogies dobles, con 4 ruedas de 80 mm.

6. Las fachadas de malla

Los tres estadios principales están integrados en un único edificio con una cubierta común y una envolvente metálica, una fachada resuelta mediante una malla tejida de espirales de acero inoxidable, que es a la vez cierre, piel y respiradero del conjunto del edificio.

Esta malla, en paneles de 22 metros de altura y 7 de anchura, tiene en torno a un 35% de huecos. Esto, unido a su gran superficie y flexibilidad, la convierte en una fachada en la que el control de deformaciones provocadas por el viento y más aún, dotarla de rigidez suficiente para que no haya grandes oscilaciones con efectos perniciosos desde el punto de vista de la estética pero sobre todo de la durabilidad (por fatiga de los elementos de anclaje) son los parámetros estructurales determinantes en el diseño.

Para la fijación de la estructura se optó por una solución con pórticos con modulación cada 7,20 m anclados a la losa del nivel +0, y con un apoyo en sentido perpendicular a la fachada sobre la cubierta, pero que no le transmita cargas ni en horizontal ni en vertical.

Para controlar las deformaciones frente a viento se dispone un cable cada 1,5 metros en sentido horizontal, que recoge las deformaciones y tensiones mediante la rigidez de los propios montantes, y un anillo de cierre con un travesaño superior (punto de cuelgue de la malla) y la losa como cordón inferior.

Los montantes se resuelven mediante perfiles comerciales HEB 450 de 24 metros de altura, a los que se une una orejeta cada 1,5 metros para el anclaje de los cables de tesado horizontal, mientras que los pilares en los extremos son perfiles armados de mucha mayor rigidez, ya que quedan descompensados al so-

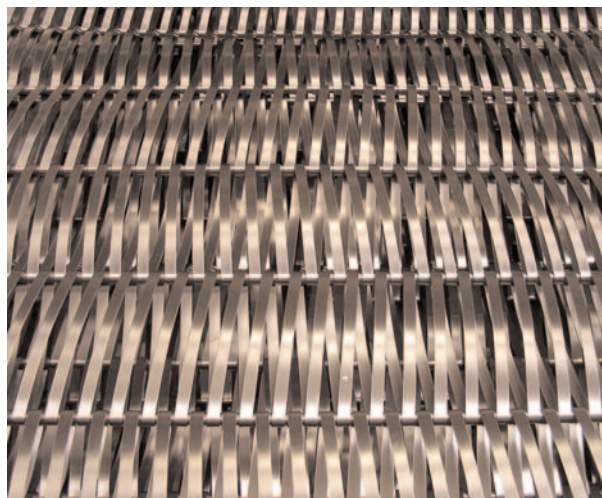


Fig. 14. Detalle del tejido de malla y montaje de estructura-bastidor.



lo tener cables por un lado, y necesitan transmitir todas las reacciones horizontales a la losa de hormigón

De especial dificultad es el diseño de los anclajes a la losa y especialmente el anclaje a cubierta, que precisa de un complejo elemento con dos grados de libertad, en muy pequeño espacio.

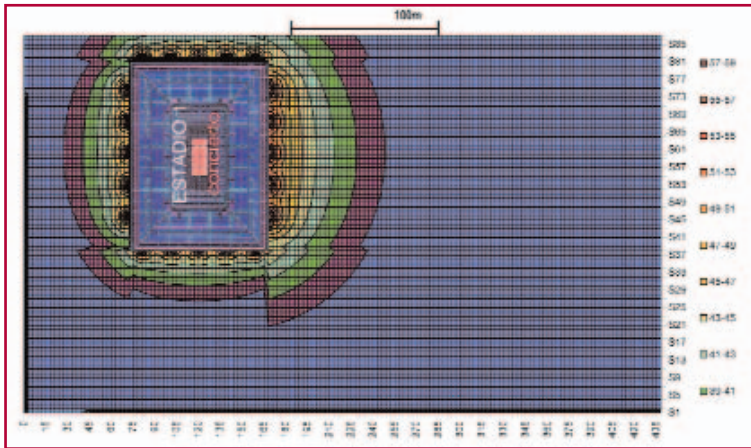


Fig. 15. Presión acústica del estadio 1 Con una emisión de tipo aplauso máximo (medidas en Bercy Omnisports) 100 dB(A).

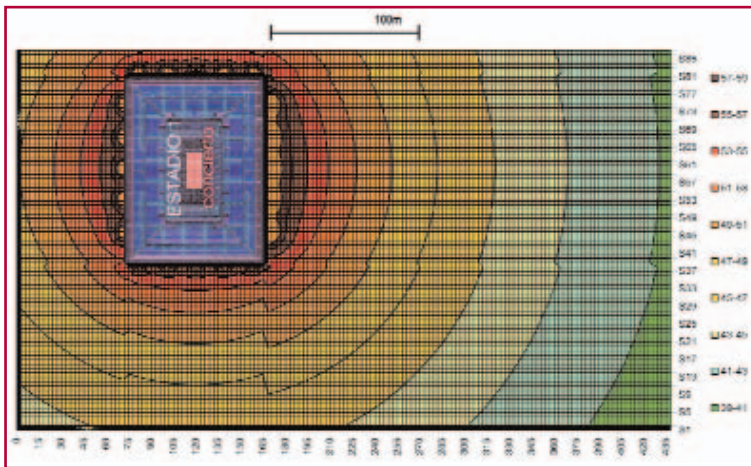


Fig. 16. Presión acústica del estadio 1 Con una emisión de tipo concierto amplificada a 105 dB(A).

7. Acústica

Para permitir la multifuncionalidad del edificio el diseño debía contemplar que las condiciones de aislamiento acústico fueran tales que, por una par-

te, impidieran laafección al vecindario en la celebración de eventos ruidosos (tipo concierto), y a la vez que permitiera el uso simultáneo con actividades de distinta necesidad de control acústico (un concierto de cámara a la vez que un partido de tenis o un combate de boxeo, por ejemplo).

En primer lugar se analizó la posible incidencia acústica de los distintos eventos que se podrían celebrar en el Complejo, dado su carácter multifuncional. La combinación de los resultados extraídos de diversos eventos en lugares similares señaló cuáles serían los niveles de ruido que habría que controlar.

Era necesario por tanto plantear cómo aislar acústicamente los estadios entre sí, y para ello resolver los problemas que generarían sobre los estadios adyacentes la distancia entre ellos, el hecho de tener una cubierta común, y las reflexiones de sonido sobre esta cobertura

En primer lugar, se contó con la composición de la formación de falso techo y cubierta, diseñada por un lado para dotar de confort acústico e inteligibilidad de la sonorización en el interior de cada estadio, en segundo lugar para evitar el paso del ruido de uno a otro, y por último, para lograr que no escapara ruido al exterior.

Además, se forzó un cierre físico entre los estadios con la cubierta fija, llevando sus paramentos (el sky-lounge en el caso del estadio Principal) hasta ella, y resolviendo la necesidad de absorción de los movimientos diferenciales mediante una junta elástica, de neopreno y rellena de lana mineral, que tiene flexibilidad suficiente para ello, y el comportamiento acústico requerido.

Para ello se aíslan acústicamente dos de los estadios respecto al tercero, y el más cercano al barrio (el principal) forma una barrera acústica del conjun-

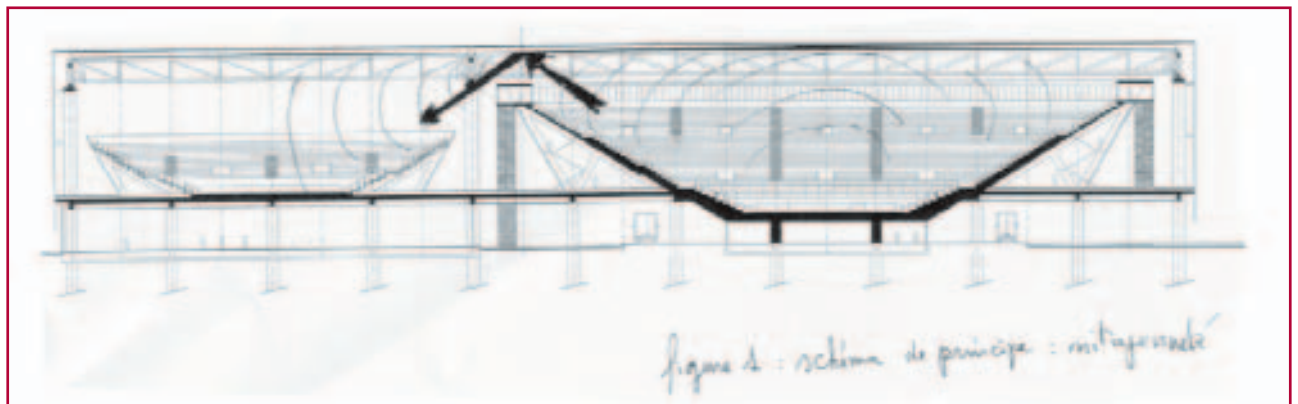


Fig 17. Esquema de principio de tratamiento de medianerías.

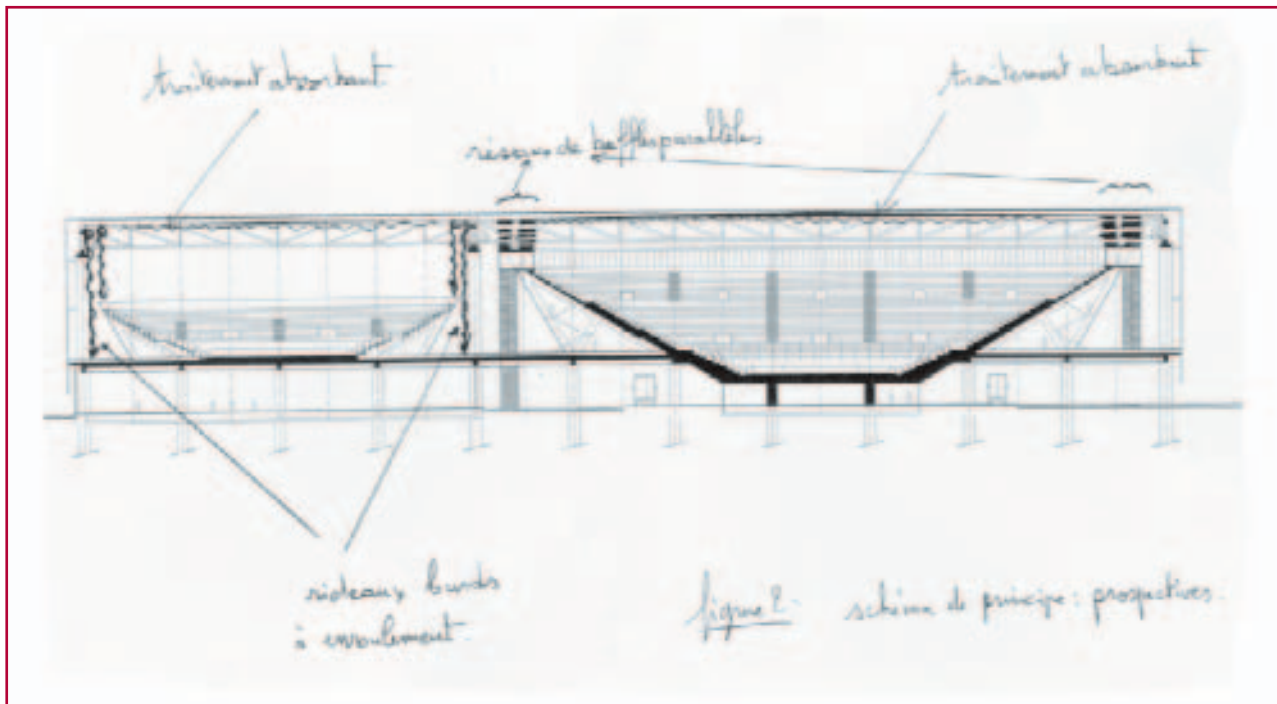


Fig. 18. Posicionamiento de problemas acústicos y tratamientos.

to. Por último las cubiertas fijas y móviles se cubren mediante un sistema de falso techo más formación de cubierta formando una doble barrera con materiales de distintas composiciones (chapa de acero lisa o perforada, lana mineral, chapa de aluminio...) con un gran poder fonoabsorbente.

Se complementan estas medidas con la construcción de accesos a los estadios con vestíbulos de independencia insonorizados (en dos de los tres estadios) con doble puerta, de manera que siempre haya una cerrada.

Por último, y para cerrar la apertura entre las cubiertas fijas y móviles se ha diseñado una compuerta con un funcionamiento tipo guillotina y junta de goma que consigue cerrar la fisura entre ellas, tanto de cara al ruido como de la lluvia. Esta guillotina además se abre automáticamente para permitir que esa abertura actúe como exutorio para evacuación de humos en caso de incendio.

8. Instalaciones de ventilación y climatización

De entre las instalaciones que en definitiva, hacen funcionar un edificio del tamaño, uso e importancia de la Caja Mágica destacan por su complejidad y por su importancia en el confort para el usuario las instalacio-

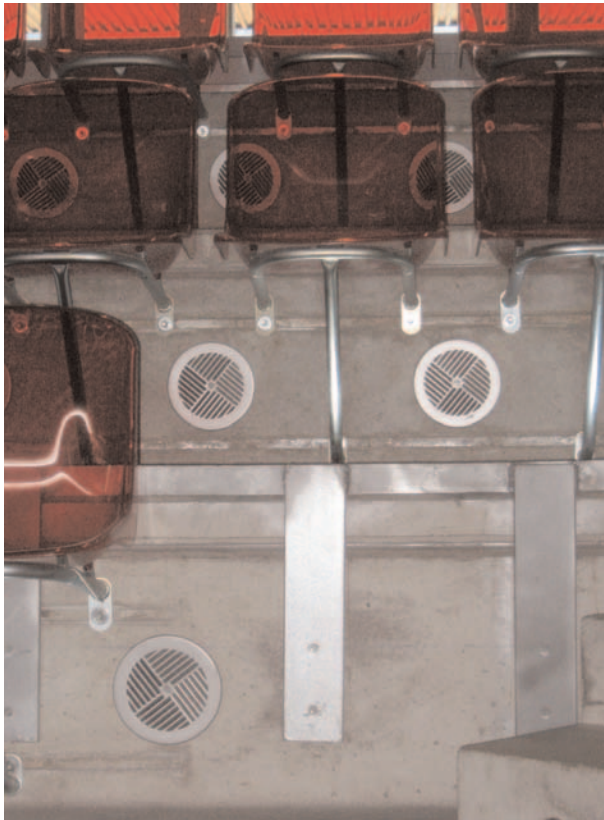
nes de Acondicionamiento de aire (refrigeración, calefacción, ventilación) y producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS).

Además, por su peso en el conjunto del consumo energético del Complejo, su diseño buscando soluciones óptimas, acordes con el estado del arte en las diferentes tecnologías en cada campo de aplicación, tiene como punto de mira la eficiencia de los sistemas planteados, y la optimización de equipos, rendimientos y gestión, de cara a una utilización sostenible del Edificio.

Así, las instalaciones de climatización con que se ha dotado a la Caja Mágica recogen un amplísimo abanico de soluciones técnicas adaptados a cada uso y estancia, partiendo de una producción centralizada de energía termofrigrífica y, en paralelo, una producción centralizada de ACS mediante paneles solares. Se combinan sistemas a todo aire, mixtos aire-agua, de Volumen Refrigerante Variable (VRV), de expansión directa, con equipos autónomos y suelo radiante.

Entre ellos el más destacado por su singularidad es el tratamiento que se plantea para los tres estadios. En estas pistas 1, 2 y 3, con gran volumen a acondicionar y gran afluencia de público, con usos puntuales, se plantea un sistema de atemperamiento a todo aire de caudal constante, con enfriamientos evaporativos directo e indirecto.

Fig. 19. Detalle de los asientos y los difusores de peldaño bajo ellos.



Desde el origen del planteamiento del diseño de la instalación se consideró óptimo establecer un atemperamiento en lugar de una climatización total, modificando ligeramente la temperatura exterior hasta alcanzar un grado de confort suficiente y adecuado para los usos que tendrán las pistas, y buscando sobre todo un ahorro energético de partida, lo que llevó al empleo de sistemas evaporativos. Así se consigue mantener la temperatura en verano por debajo de 31°C en las condiciones más desfavorables. En invierno, el sistema permite elevar la temperatura hasta los 18°C.

La pista central, con capacidad para más de 12.000 espectadores, precisa de un tratamiento muy específico que permita calentar o enfriar el entorno del espectador con poco gasto energético, al evitarse tener que atemperar todo el volumen de aire del estadio. Para ello se disponen de difusores de peldaño bajo los asientos, en la contrahuella de las gradas prefabricadas de hormigón.

El sistema se compone de una serie de unidades de impulsión de impulsión (UTEAs) ubicadas en los cuartos técnicos dentro de la cubierta fija sobre el estadio, y el aire se conduce hasta el plenum bajo gradas mediante una red de conductos fabricadas en chapa galvaniza-

da, aislados, discurriendo horizontalmente por la cubierta hasta los patinillos verticales previstos en los espacios del Sky-Lounge, para finalmente acometer a cada uno de los plenum bajo gradas asociado a cada UTEA. La toma de aire es mediante plenum de aire, e incluye la instalación de sección de filtración y sección de batería para la recuperación de calor mediante sistema "run-around-coil".

El sistema se completa con otras secciones de toma de aire exterior UTAE.

Para la extracción de aire se ha previsto la instalación de unidades extractoras de gradas, UEGs, ubicadas también en cubierta. Antes de su expulsión se aprovecha el contenido energético de este aire para, haciéndolo pasar por un sistema de Enfriamiento Evaporativo Indirecto (EEI) y un sistema de recuperación de calor, run-around-coils, bajar la temperatura del aire exterior, reduciendo así las necesidades de producción de energía centralizada.

Para los estadios 2 y 3, en cambio, al ser de menores dimensiones y por tanto menor aforo, y tener al público más cerca de la cubierta y más uniformemente repartido, se elige acondicionar el aire mediante toberas direccionales. Por cada pista se ha previsto la instalación de 4 Unidades de Tratamiento Evaporativo de Aire, UTEA, todo aire exterior, dotadas de recuperador rotativo, enfriamiento evaporativos indirecto sobre el aire de retorno, y enfriamiento evaporativo directo sobre el aire de impulsión. Además, las unidades van dotadas de batería de calentamiento aire-agua.

Producción de agua fría y caliente para climatización y producción de ACS. La Central Energética

Debido a las grandes dimensiones del complejo, y a la variabilidad en su uso, pero con una gestión única y con el objetivo de centralizar la producción de agua caliente o fría para climatización, se proyecta un bloque específico en el edificio Tenis Indoor al que se denomina Central Energética, en la que se ubican los grupos frigoríficos y torres de condensación para la producción de agua enfriada, los generadores de calor a gas natural para producción de agua caliente de calefacción y ACS, una planta solar compuesta por campo de paneles radiantes de vacío para producción de ACS y calentamiento de agua de piscina en la cubierta, y zonas de bombeo primario asociadas a esta producción, bombes secundarios para distribución de los fluidos caloportadores a los consumidores.



Fig. 20. Calderas de producción de agua caliente, CEN.

También acoge los aljibes y grupos de presión de agua potable y red de incendios. Además, se ubican en la Central Energética 2 de los 8 centros de transformación de que consta el Complejo Deportivo.

Para la producción de agua enfriada, se han instalado de 3 máquinas frigoríficas de 750 KW de potencia unitaria, condensadas por agua. Para la evacuación del calor producido en la condensación, se proyectó la instalación de 3 torres de refrigeración de 960 KW de potencia unitaria y para la producción de agua caliente de calefacción y agua caliente sanitaria, se proyecta la instalación de 4 Calderas de 1.300 KW de potencia unitaria, alimentadas por gas natural. Las calderas están provistas de quemadores modulantes de gas natural, dotados con rampa de baja.

La distribución de los fluidos caloportantes, desde la Central Energética a cada una de las salas técnicas de clima en las que se emplean se realiza por galería enterrada. Estas galerías que recorren todo el complejo son, además, grandes conductos de climatización, al tener chimeneas que conectan el exterior con las salas técnicas ubicadas en los niveles inferiores de la Caja Mágica, y servir como tomas de aire exterior o como expulsiones de aire.

Paneles solares en el Tenis Indoor

Para la producción de ACS para el edificio Tenis Indoor, con usos muy diferentes de los del edificio Caja Mágica, con una probable alta simultaneidad en sus usos como residencia y centro de alto rendimiento deportivo, pero con muchos menos usuarios que la Caja

Mágica, y además con un uso continuado a lo largo de todo el año y no puntual como en los estadios, se pensó que era necesario disponer de un sistema fiable y sobre todo eficaz energéticamente hablando, procurando minimizar el consumo energético y buscando una solución sostenible. Así, se decidió disponer un sistema de preparación de ACS derivado de la central de producción térmica del Tenis Indoor, independiente de la Caja Mágica con la instalación de un campo de paneles solares por vacío con una capacidad de producción de 16.000 l/h (a 60°C)

La producción de ACS se realiza por medio de depósitos acumuladores e intercambiadores

El funcionamiento de la instalación de preparación de ACS emplea la energía solar como posible fuente de calor, por lo que se diseñó una solución que optimiza el rendimiento de estos colectores y maximiza la energía extraída de los mismos. Así, si la demanda es pequeña se emplea agua de la caldera, y si es superior a la que se puede preparar, serán los tanques de acumulación los que suministrarán el caudal requerido.

La inclusión de una instalación solar en el edificio modifica parcialmente el sistema de producción de ACS. Se incluyen 8.000 litros de acumulación solar que intercambian calor con el circuito proveniente de la central solar de colectores. De esta manera, cuando la radiación solar sea mayor que un valor umbral, se pondrá en marcha la bomba que provoca la circulación por el primario del cambiador correspondiente, garantizando así la producción solar.

Fig. 21. Paneles solares de vacío para la producción de ACS, CEN.



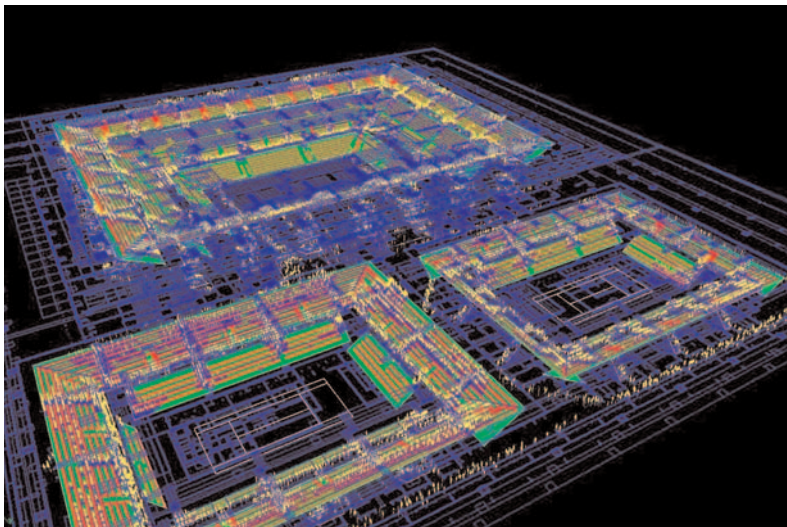


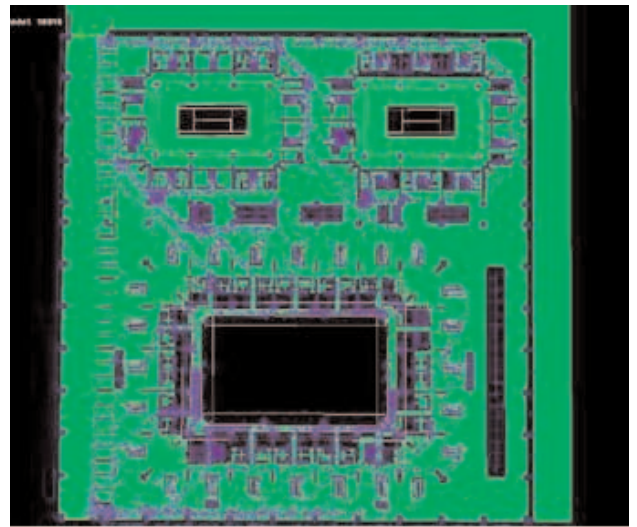
Fig. 22. Vista tridimensional del modelo de evacuación. Los puntos azul claro son los espectadores saliendo de sus localidades. A la derecha, Fig. 23. Vista en planta del modelo de evacuación. Se observa cómo los espectadores buscan la salida.

9. Seguridad ante emergencias. Evacuación de emergencia y exutorios

En el diseño de proyecto se contempló la normativa en ese momento vigente para el diseño de sectorizaciones de incendios, evacuaciones, salidas de emergencia etc. (NBE-CPI-96 y el Reglamento de la CAM de Prevención de Incendios de 2003). Pero la singularidad del Complejo, recogido dentro de la clasificación de "Gran Volumen" pero difícil de encontrar plenamente contemplado en una normativa con todas sus peculiaridades recomendó estudiar puntualmente el comportamiento del edificio, y en particular de los tres estadios, frente a una evacuación de emergencia, y también al control de humos para proteger la evacuación de público y la actuación de los servicios de emergencias.

Para ello se realizó un análisis computacional sobre la evacuación de los estadios utilizando el programa de simulación por ordenador conocido como STEPS, "Simulator of Transient Evacuation and Pedestrian movementS" (Simulador de evacuación de transeúntes y movimientos peatonales).

El modelo simula las evacuaciones totales de tres pistas interiores y calcula los tiempos de evacuación previstos con el fin de compararlos con los tiempos de evacuación aceptados internacionalmente para edificios similares de pública concurrencia. Los tiempos se basan fundamentalmente en las recomendaciones de la Guía Verde (guía para la seguridad en campos de deporte) "Green Guide", Guide to Safety at Sports



Grounds" (UK Department for Culture, Media and Sport, The Stationery Office, London, 1997) y la experiencia en otros estadios deportivos internacionales.

Se examinaron tres escenarios que muestran la evacuación total poniendo especial acento en el movimiento de los ocupantes desde las zonas de público y de salida del recinto de la pista interior de tenis, combinando distintos porcentajes de público dentro de las pistas o en los espacios adyacentes.

La simulación dio como resultado que el peor escenario era el de todas las pistas a plena capacidad, y el tiempo que fijaba el modelo era, en una primera instancia, de 10 minutos y 41 segundos para la evacuación total del edificio a los espacios exteriores.

Este resultado, siendo bueno (se considera un tiempo dentro de los estándares habituales en recintos de este tipo, que habitualmente se encuentran entre 8 y 15 minutos), podía mejorarse no modificando el diseño del edificio, sino estableciendo un sistema de gestión de la evacuación por medio de personal que guiara a los espectadores a las salidas recomendadas para evitar aglomeraciones en determinados puntos. Con la consideración de estas medidas se rebajó el tiempo de evacuación a 8 minutos y 48 segundos, teniendo en cuenta que al cambiar de sector (salir del estadio) el espacio es de relativa seguridad, se cumplen los parámetros de la Guía Verde.

Por otro lado resultaba de especial interés asegurarse de que el diseño de la gestión de humos prevista originalmente favorecería tanto la evacuación de espectadores como el acceso de los bomberos.

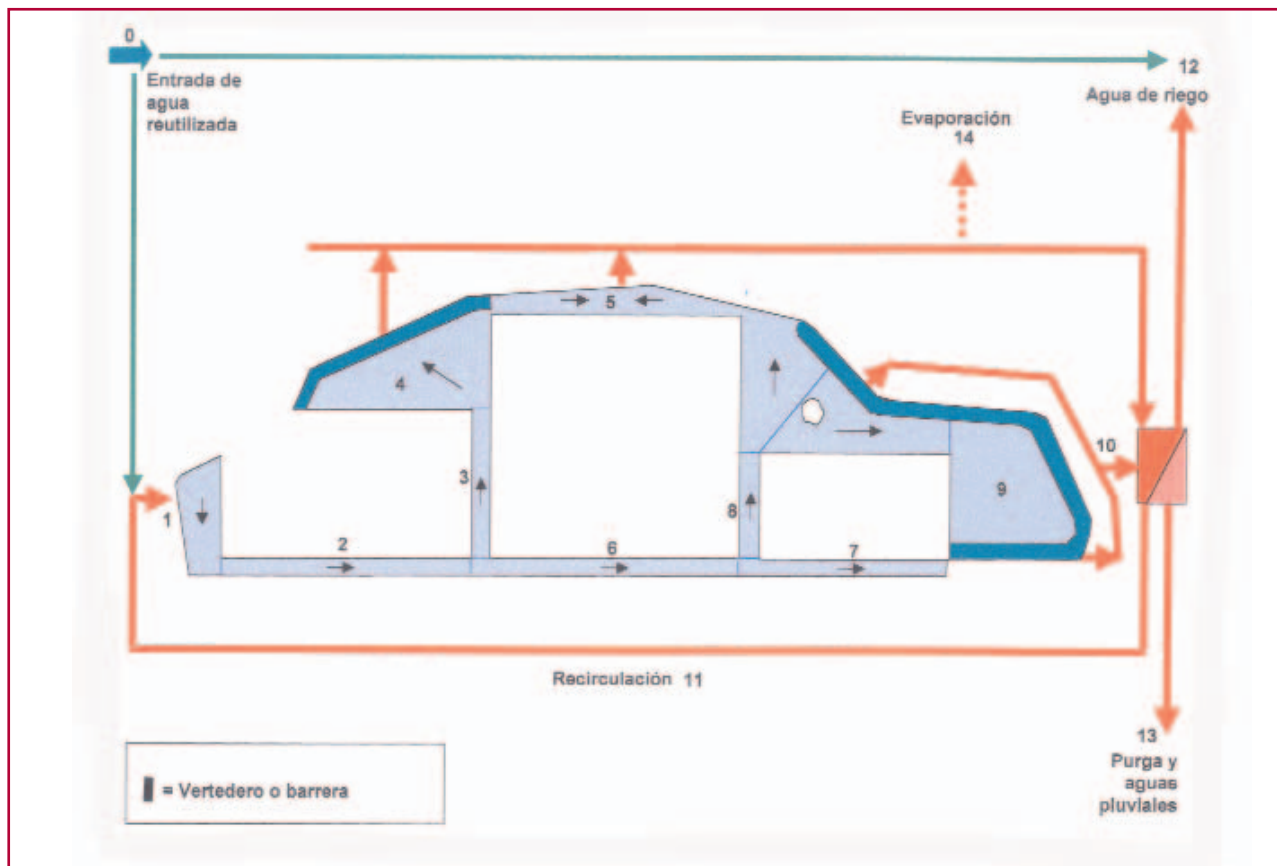


Fig. 24. Esquema del flujo del agua.

Era de particular importancia comprobar la evacuación de humos en los estadios (singularmente en el estadio principal, por su mayor volumen) antes de que un enfriamiento de los mismos provocara su caída y así interfiriera con la evacuación o labores de extinción.

La posibilidad de instalar exutorios automáticos para evacuación del humo en las cubiertas móviles era de solución complicada, al pretender en ellas eliminar cualquier tipo de mecanismo o instalación. Y su apertura dejando libre el vaso era, evidentemente, una solución clara pero podía tener condicionantes externos que lo impidiera (fallos en el funcionamiento de los mecanismos de apertura, vientos excesivos...). Así que se valoró la necesidad de superficie total de salida de humos, resultando sobradamente suficiente el espacio entre la cubierta móvil y la fija (necesita aproximadamente un metro para garantizar que no hay interferencias en los movimientos). Este espacio se cubre cuando la cubierta está cerrada con unos paneles elevables (guillotinas), que, conectados con el sistema de gestión de incendios, actúa de compuerta exutorio.

Por último, se analizó si se mantienen en condiciones aceptables los espacios de evacuación durante el

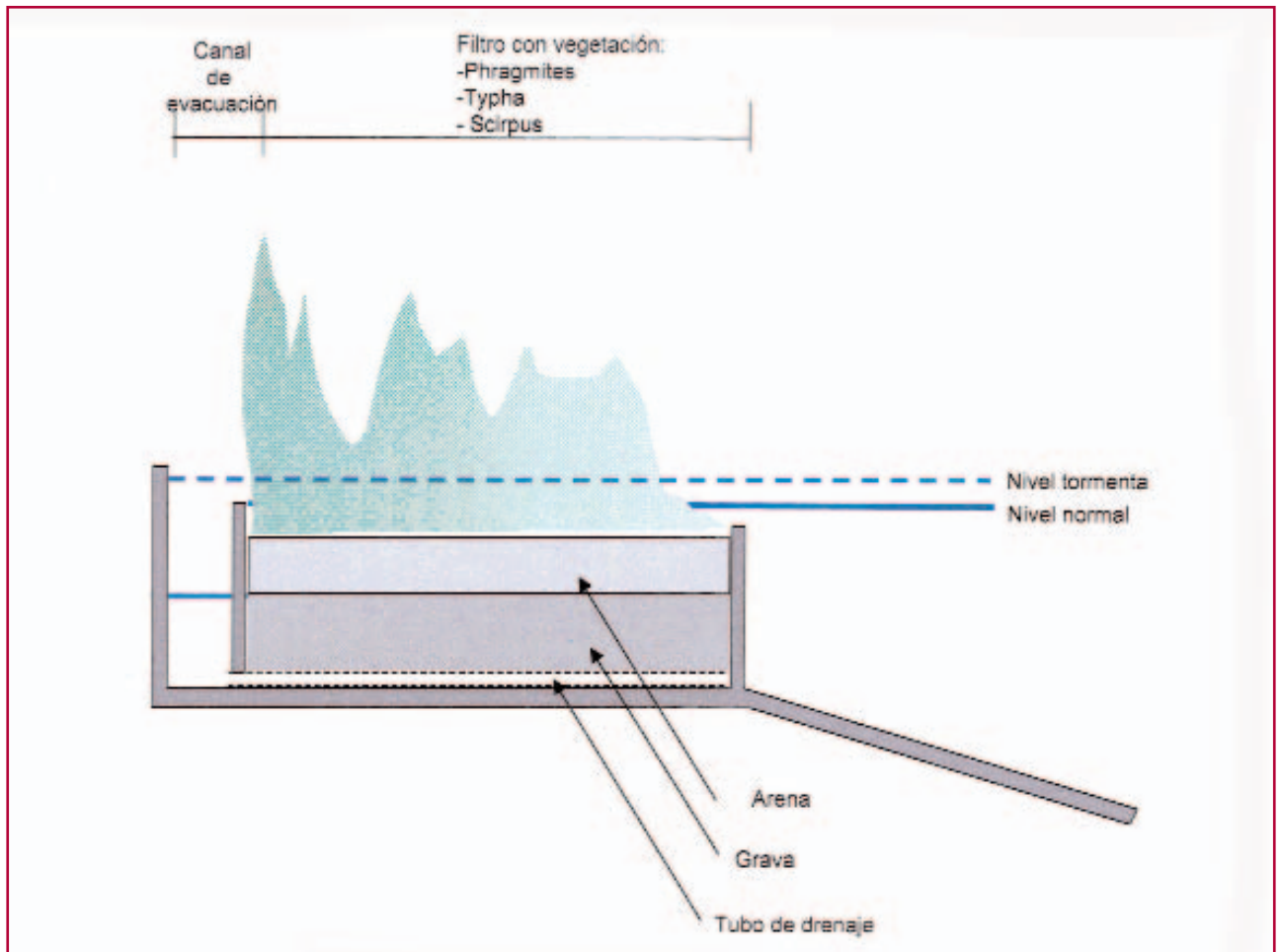
tiempo que dure. En particular se observó la necesidad de establecer un sistema de control de humos en la zona de circulación a Nivel -2 entre la huella del Estadio 1 y los Estadios 2 & 3. Esta zona forma parte del camino de evacuación de los Estadios y contiene áreas que constituyen focos de posibles incendios.

Así se decidió complementar los sistemas de gestión de humos iniciales mediante una combinación de cortinas automáticas corta humos que embolsaran el humo impidiendo su paso a otros niveles a través de los huecos de comunicación vertical, más unos potentes extractores direccionales que, bajo la losa, expulsara el humo al exterior del recinto, impidiendo su caída sobre los espectadores en evacuación.

10. El lago ecológico

En el diseño arquitectónico, la Caja Mágica, junto con dos elementos auxiliares, invoca la sensación de constituir un conjunto de tres islas interconectadas, ubicadas en un gran lago. El lago cumple así una función como barrera física para controlar el acceso del públi-

Fig. 25.
Esquema de composición del humedal artificial.



co al recinto, además de formar parte del diseño paisajístico y de jardinería.

Además forma parte de la red de aguas pluviales del recinto, recibiendo las aguas pluviales de gran parte de la superficie del complejo y constituyendo la balsa de retención previo al bombeo de aguas pluviales hacia el Río Manzanares. El lago cumplirá en esta configuración además una función como sistema de pretratamiento de las aguas pluviales.

Para lograr estas funciones cumpliendo además con criterios de diseño sostenible se llevó a cabo un diseño "ecológico", de forma que el lago que se creaba artificialmente fuera "natural" no solo en su aspecto sino también en la forma en que se mantenía el agua en condiciones adecuadas de salubridad.

Además, siguiendo una política de ahorro de agua potable, el lago es alimentado por agua regenerada procedente de la depuradora de la China. Esta agua ha recibido un tratamiento previo que garantiza su calidad sanitaria. Sin embargo, el contenido residual de

materia orgánica y nutrientes puede llevar al deterioro de la calidad del agua que se manifiesta en anoxia, el florecimiento de algas y malos olores.

Para evitar el deterioro de la calidad del agua se debe, en primer lugar, evitar zonas de estancamiento. Para ello se estableció un sistema de circulación del agua en el lago, que no es un único cuerpo de agua sino un conjunto de balsas y canales interconectados, de manera que exista un flujo permanente con entrada por un extremo y salida por el otro, y con zonas con reducción o ampliación de sección útil para provocar aceleraciones o desaceleraciones del agua.

Según se aprecia en el gráfico, existe un solo punto de entrada de agua en el sistema (Tramo 1). Mediante bombeo se extrae agua en cada uno de los brazos del lago (Tramos 4, 5, 7 y 9), y se reintroduce a través de la recirculación (11), a la cascada de entrada.

Esta cascada además de ser el punto de entrada tiene la misión de proporcionar suficiente aireación del agua. Así, se evita el agotamiento del oxígeno en el



Fig. 26. Vista de la construcción de la Pasarela de Perales.

agua, para no generar malos olores provenientes de la degradación de la materia orgánica residual del agua regenerada.

Además, al crear suficiente volumen de agua y su purga, se evita una excesiva concentración de minerales debido a la evaporación en tan gran superficie de agua, por otro lado restituida con la aportación de agua regenerada o con las lluvias.

Por último, y dado que el lago está concebido como un ecosistema (lago ecológico) y no como una fuente ornamental, debe incorporar elementos naturales que proporcionan sustrato, refugio y hábitat, tanto para flora como fauna. A su vez, estos elementos deben facilitar la auto depuración del agua, inspirándose para ello en el ecosistema de un humedal de forma que actuará como filtro biológico y como tal contribuye en la neutralización de la carga orgánica y de nutrientes aportada por las aguas recicladas. El humedal artificial es esencial para el control de la eutrofización del lago.

Así, por medio de las especies vegetales que pueblan el filtro se consigue estabilizar la superficie del filtro y crear una zona de sedimentación y retención de sólidos encima del sustrato. Además las raíces contribuyen en la creación del medio filtrante y proporcionan una gran superficie para la adhesión de microorganismos, que beneficia procesos como la nitrificación y desnitrificación.

Además sirven de soporte de la cadena trófica y crean un hábitat para que se establezcan diferentes clases de fauna, que en el encuentran la totalidad o parte de su alimento.

11. Puentes e islas

Alrededor de los edificios Caja Mágica y Tennis Indoor se encuentran algunos elementos que vertebran el paisaje y conectan las instalaciones con los alrededores. El Media Garden se concibió como un

Fig. 27. Vista inferior de la Pasarela de Perales, con las pilas en V.



Fig. 28. Vista inferior de las vigas y riostras metálicas de la Pasarela del Manzanares.





Fig. 29. Vista del acceso a la Caja Mágica por la Pasarela del Manzanares.

jardín para medios de comunicación en las grandes competiciones y aparcamiento del personal del centro en el resto de ocasiones, y el Tennis Garden en un recinto exterior con 16 pistas de tenis.

Estos espacios forman islas en el lago que comunica y a la vez controla los accesos a los distintos espacios, y se comunican entre si mediante pontones de presencia muy ligera resueltos con tramex apoyado sobre muretes, que a la vez son tajamares que provocan ligeras aceleraciones en el agua del lago.

Y como elementos fundamentales de acceso del público, y vertebrados del conjunto, se han construido dos puentes-pasarelas que forman un eje que, partiendo del barrio en la entrada oeste del complejo, atraviesa el Tennis Indoor y la Caja Mágica, cruza sobre el río, y desemboca en el Parque del Manzanares en la otra orilla.

La Pasarela de acceso desde Calle Perales hace de conexión de la calle Perales y la Caja Mágica, atravesando el edificio del Tennis Indoor. La mayor parte del tiempo está previsto que sea una pasarela peatonal, acceso principal de público, pero ocasionalmente debe permitir el tránsito de vehículos al interior de la Caja Mágica, así como permitir el acceso de bomberos.

La pasarela se ha resuelto mediante un tablero mixto compuesto por 2 vigas centrales separadas 5.30m entre sí y dos vigas laterales separadas 3.40m de las anteriores todas ellas doble T de 1.25m de canto y una losa de compresión superior de 0.31m de espesor medio.

La estructura principal del puente consta de dos pórticos paralelos longitudinales coincidentes con la posición de las vigas centrales. Dichos pórticos se asemejan a un balancín con el extremo del lado de la Caja

Mágica más largo que el del lado del Tenis Indoor. Las pilas del pórtico tienen forma de "V" inclinadas 60° respecto a la horizontal. Se resuelve cada una con una sección metálica doble T de 0,60 m de ancho por 1,00 m de canto.

La Pasarela sobre el río Manzanares, al otro lado de la Caja Mágica, permite el acceso peatonal al edificio desde el Parque del Manzanares. Como ocurre con la otra pasarela de acceso debe permitir el tráfico al interior del recinto y el acceso a los vehículos de bomberos.

El tablero mixto se resuelve mediante dos vigas principales longitudinales continuas sobre los apoyos y travesaños intermedios compatibles con la utilización de chapa grecada colaborante.

Longitudinalmente la pasarela está formada por 5 vanos con una luz máxima de 31.0m. Las pilas son de hormigón cuadradas con cimentación profunda mediante pilotes.

Por las grandes dimensiones de los vanos centrales, el montaje de las vigas exigió la creación de dos penínsulas provisionales, alternándolas en cada orilla para no afectar la capacidad del cauce, y grandes grúas para permitir las operaciones sin necesidad de cimbrado en el río.

12. Conclusión

Con la inauguración de la Caja Mágica el 30 de abril de 2009 y su puesta de largo para el torneo de tenis Mutua Madrileña Madrid Open a primeros de mayo de 2009 se dio fin a más de ocho años de trabajo, desde la concepción de la idea a la redacción del proyecto y la ejecución de la obra, durante los que la colaboración de un equipo multidisciplinar de arquitectos e ingenieros, tanto en el proyecto como en la construcción y dirección de la obra, ha logrado llevar a cabo la idea del arquitecto, un diseño espectacular que cumple con los requerimientos de su uso multifuncional dentro de los parámetros de la construcción sostenible y que permitirán garantizar la rentabilidad de la inversión.

La intervención coordinada, desde la fase de proyecto, de arquitectos, ingenieros estructurales y de instalaciones, especialistas en fachadas, en mecanismos, en definitiva en todas las especialidades de la construcción ha resultado en un edificio singular, referencia dentro de las instalaciones deportivas mundiales, y elemento fundamental dentro de la candidatura de la ciudad de Madrid para los Juegos Olímpicos de 2016. ♦

FICHA TÉCNICA

Promotor:

Madrid Espacios y Congresos. Ayuntamiento de Madrid

Arquitecto proyectista:

Dominique Perrault

Proyecto Estructuras e Instalaciones:

TYPSA

Proyecto Cubierta:

Luis Viñuela (FCC Construcción)

Dirección Facultativa Arquitectura:

Juan Fernández Andrino
(Dominique Perrault Architecture)

Dirección Facultativa Estructuras e Ing. Civil:

Salvador Fernández Fenollera (TYPSA)

Dirección Facultativa Instalaciones:

Luciano González Nazábal. (TYPSA)

Coordinador seguridad y salud:

-En fase de proyecto: José Manuel Moreno Falero (TYPSA)

-En fase de ejecución: Javier Muñoz Luna (TYPSA)

Project Management/Asistencia Tca. Propiedad:

LKS Studio

Empresa constructora:

FCC Construcción

Jefe de Departamento:

Francisco Pelluz (FCC)/Enrique Díaz (FCC)

Jefe de Obra Caja Mágica:

Rafael Foulquié (FCC)/Virginia Melguizo (FCC)

Jefe de Obra Cubierta:

David Álvarez (FCC)

Jefe de Obra Tenis Indoor:

David Orozco (FCC)

Jefe de Obra Urbanización:

Ricardo Rodríguez (FCC)

Jefe Oficina Técnica:

Belén Valero (FCC)

Jefe Planificación, Calidad y M.A.:

Margarita Sánchez (FCC)

Presupuesto:

160 millones de Euros

Fecha inicio de la obra:

Abril 06

Fecha finalización de la obra:

Abril 09

Datos técnicos de la obra:

Superficie total: 17 Ha

30 pistas de tenis en total complejo

16 aire libre

11 cubiertas

3 en el edificio principal

Lago ecológico 30.000 m²

Superficie Edificio Principal: 109.000 m². Planta 30.000 m²

Tres pistas independientes en el mismo edificio.

Capacidad para:

Estadio 1: 12.000-15.000 espectadores (según configuración)

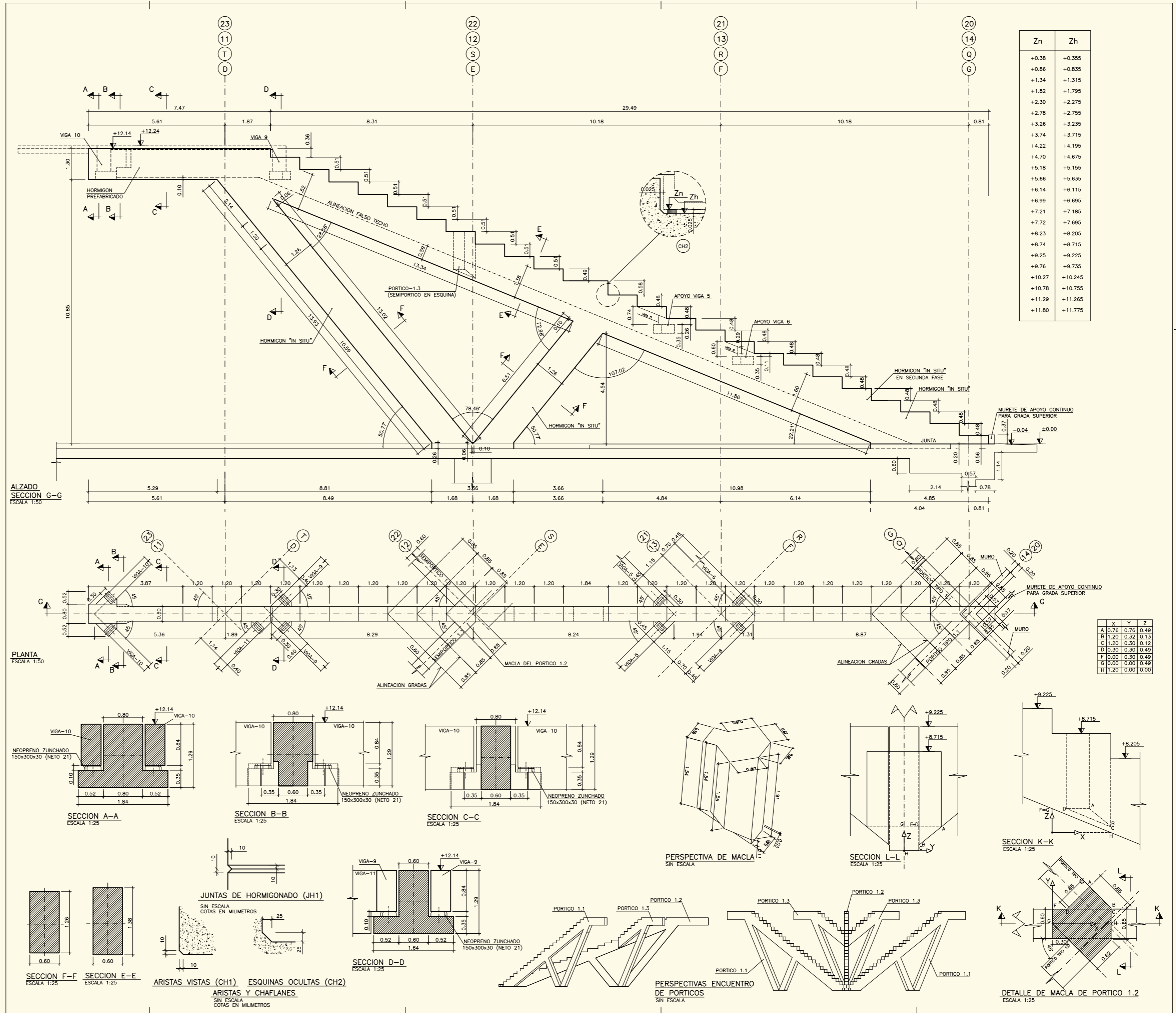
Estadio 2: hasta 3.500 espectadores

Estadio 3: hasta 2.500 espectadores

Tres cubiertas móviles



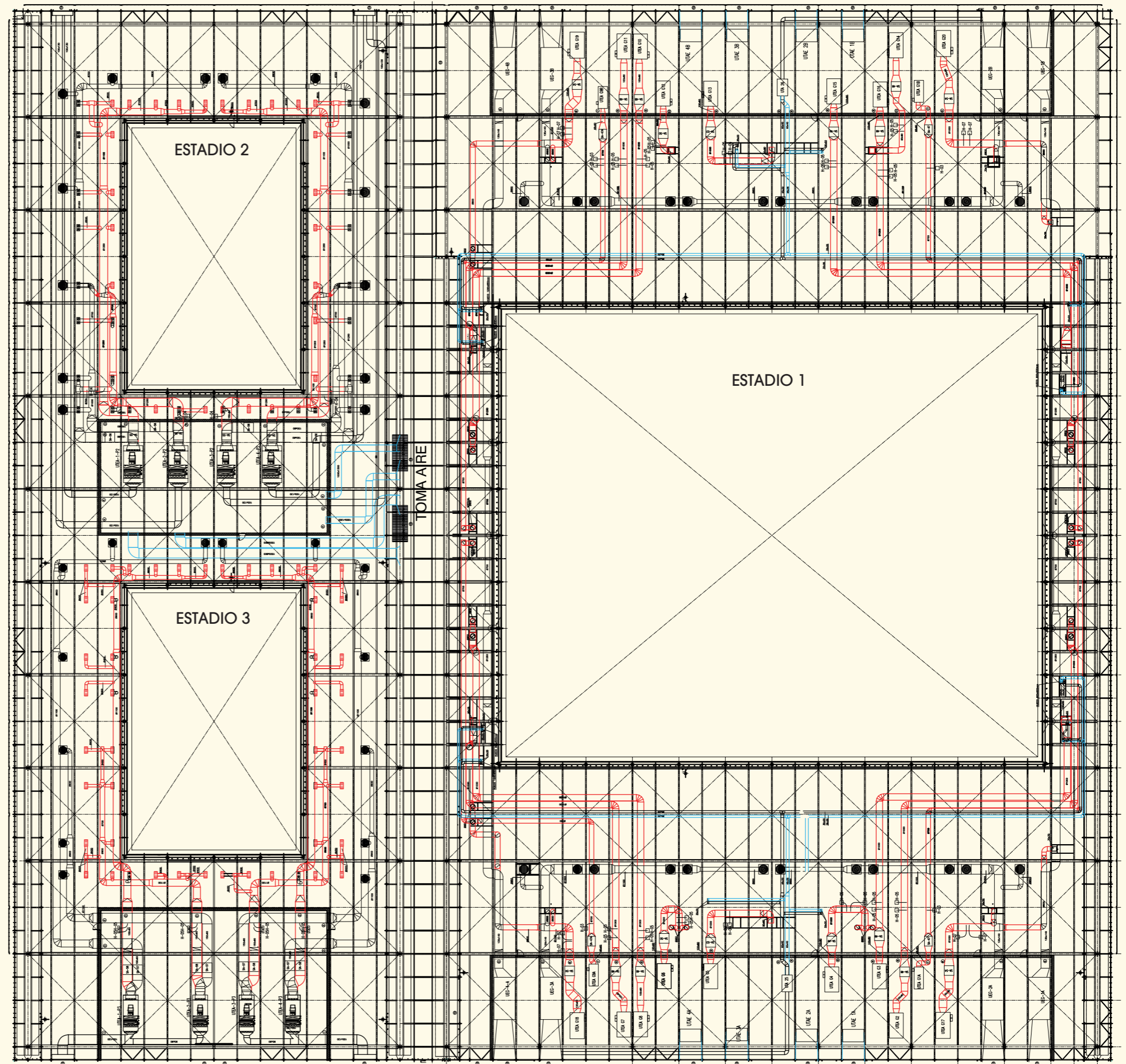
Forma pórtico de esquina



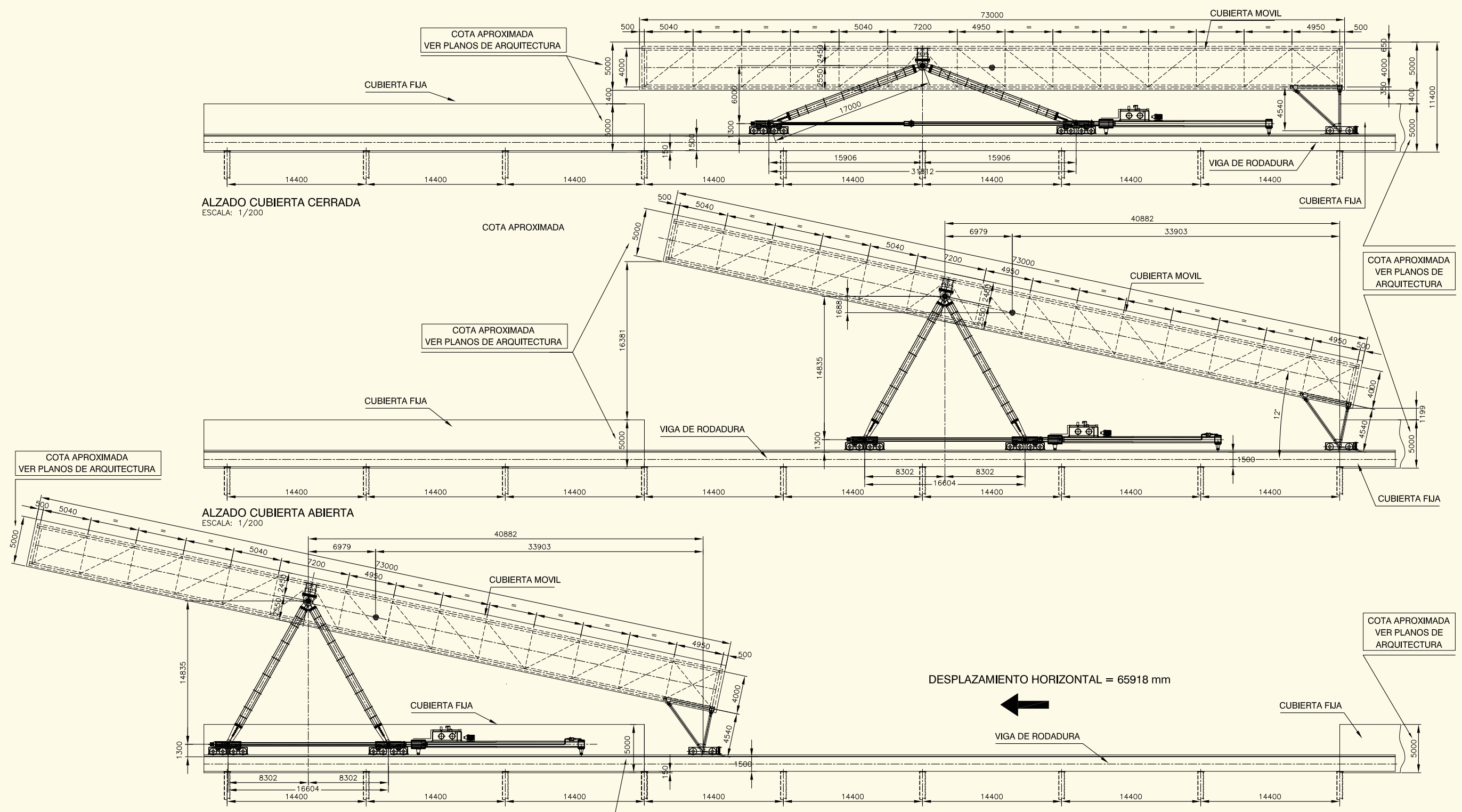
Zn	Zh
+0.38	+0.355
+0.86	+0.835
+1.34	+1.315
+1.82	+1.795
+2.30	+2.275
+2.78	+2.755
+3.26	+3.235
+3.74	+3.715
+4.22	+4.195
+4.70	+4.675
+5.18	+5.155
+5.66	+5.635
+6.14	+6.115
+6.99	+6.695
+7.21	+7.185
+7.72	+7.695
+8.23	+8.205
+8.74	+8.715
+9.25	+9.225
+9.76	+9.735
+10.27	+10.245
+10.78	+10.755
+11.29	+11.265
+11.80	+11.775

X	Y	Z
A	0.76	0.49
B	1.20	0.13
C	1.20	0.12
D	0.30	0.49
F	0.00	0.49
G	0.00	0.49
H	1.20	0.00

Distribución de aire por cubierta



Esquema funcionamiento cubierta móvil 1

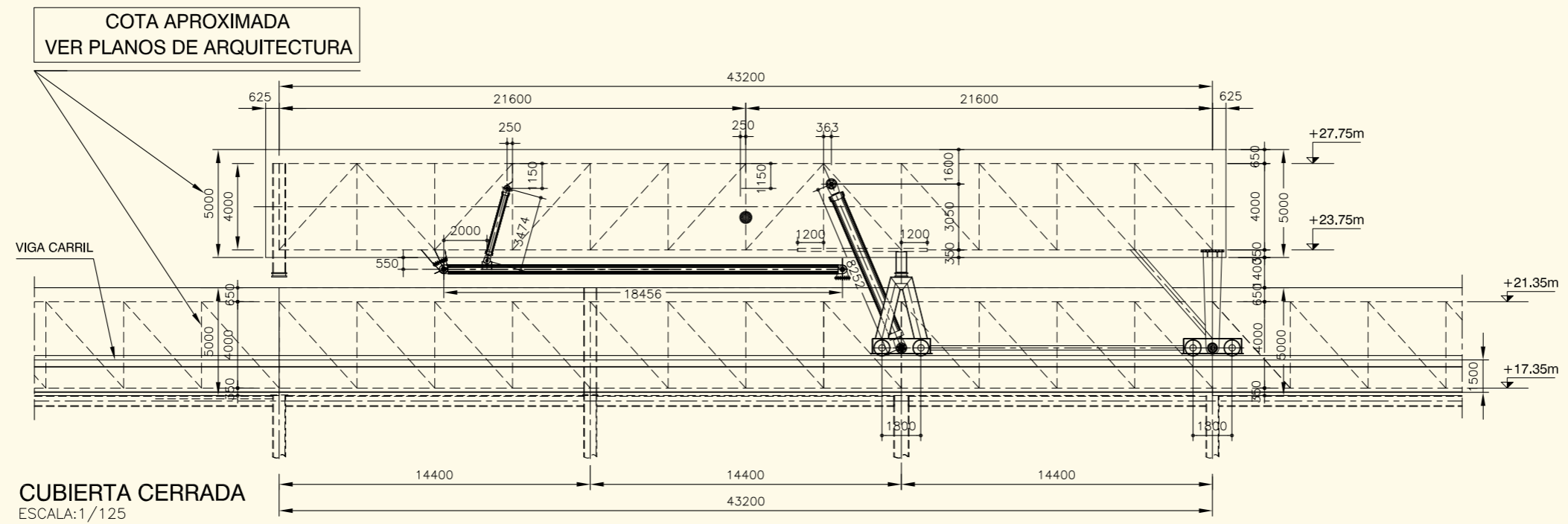
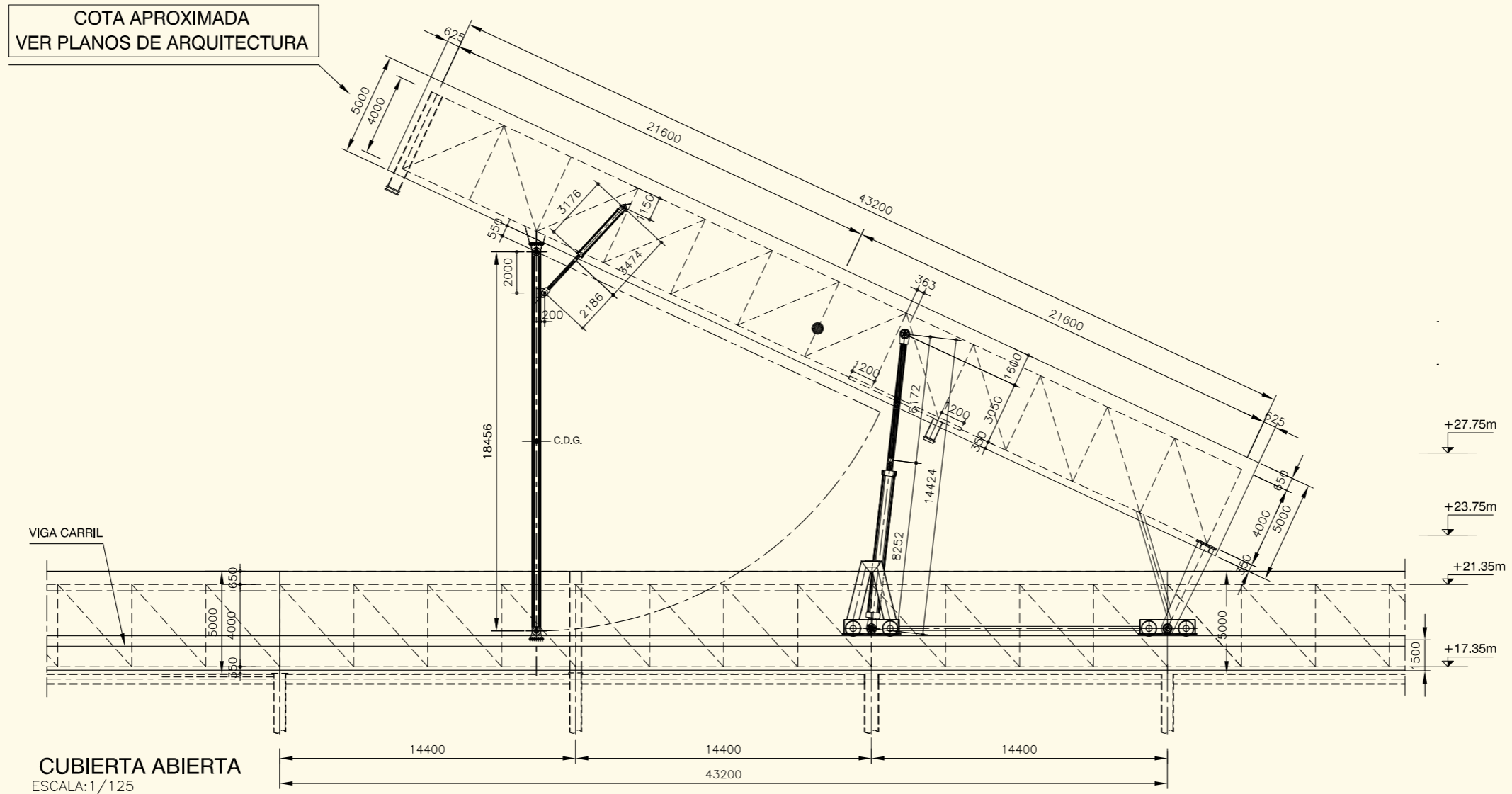


NOTA:
 GATOS (2):
 - CARRERA = 15.208 m
 - CAPACIDAD = 670 Tm

- MATERIALES**
- ACERO ESTRUCTURAL EN CHAPAS Y PERFILES:
 t ≤ 40mm S355J2G3 [EN10025]
 t > 40mm S355K2G3 [EN10025]
 - ACERO ESTRUCTURAL EN CORDONES DE CERCHAS 3 Y 4:
 t ≤ 40mm S460N [EN 10013-2]
 t > 40mm S460NL [EN 10013-2]
 - ACERO ESTRUCTURAL EN TUBOS:
 e ≥ 6mm S355J2H [EN10210/EN10219]
 e < 6mm S275J0H [EN10210/EN10219]

CONTROL DE CALIDAD Y PROTECCION CONTRA LA CORROSION SEGUN PLIEGO DE CONDICIONES

**Esquema
funcionamiento
cubierta móvil
2 y 3**



MATERIALES

ACERO ESTRUCTURAL EN CHAPAS Y PERFILES:
 e > 40mm S355K2G3 [EN 10025]
 e ≤ 40mm S355J2G3 [EN 10025]

ACERO ESTRUCTURAL EN TUBOS:
 e ≥ 8mm S355J2H [EN 10210/EN 10219]
 e < 8mm S275J0H [EN 10210/EN 10219]

**ACERO EN BULONES X17CrNi16-2
(1.4057) [UNE 10088]**
 LIMITE ELASTICO: >500N/mm²
 CARGA DE ROTURA: >750N/mm²
 ALARGAMIENTO (5d): >14%
 RESILIENCIA (ISOV): 43J A 20°C

**CONTROL DE CALIDAD Y PROTECCION CONTRA
LA CORROSION SEGUN PLIEGO DE CONDICIONES**