

CENTRO DEPORTIVO PARQUE DEL MANZANARES EN MADRID

CAJA MÁGICA

Hugo CORRES PEIRETTI

Dr. Ing. Caminos, C. y P.

FHECOR Ingenieros Consultores
Presidente

hcp@fhecor.es

Javier TORRICO LIZ

Ing. Caminos, C. y P.

FHECOR Ingenieros Consultores
Jefe Departamento Obra Civil

jatl@fhecor.es

Resumen

El Centro Deportivo del Parque del Manzanares de Madrid constituye un recinto deportivo de 17 Ha dedicado principalmente al tenis, en el cual destaca la estructura de los tres estadios denominada Caja Mágica. Consta de dos edificios: el del Estadio 1 y el de los Estadios 2 y 3, separados por una junta de dilatación con continuidad a cortante mediante conectadores de tipo Goujon. El Estadio 1 tiene en planta una forma rectangular, con unas dimensiones de 159,90 x 102,30 m sin juntas de dilatación y los Estadios 2 y 3 con 159,90 x 65,55 m. Las diferentes plantas (hasta 4 alturas) se articulan en una malla ortogonal con una cuadrícula principal de 14,40 x 14,40 m entre pilares. La solución estructural de los forjados es de losa maciza postesada, en una o dos direcciones, de luces principales de 14,40 m, con un canto de 40 cm (relación canto/luz de 1/36), sobre pilares de 1,50x1,50 m en el contorno, y de 1,50x1,50 m ó 0,40x1,50 m en el interior, además de en muros de hormigón en las dos direcciones principales de los edificios.

Palabras Clave: Losa sin juntas. Losa postesada. Pórtico postesado.

1. Introducción

El Centro Deportivo del Parque del Manzanares de Madrid constituye un recinto deportivo de 17 Ha dedicado principalmente al tenis, pero que, al mismo tiempo, es un entorno de ámbito multifuncional con posibilidad de celebrar eventos, conciertos y ferias.

Alberga tres estadios independientes con cubiertas abatibles (la denominada Caja Mágica, con capacidad para 12000, 3500 y 2500 personas respectivamente), 16 pistas de tenis de entrenamiento al aire libre (Tenis Garden) y el edificio del Tenis Indoor, que incluye otras 11 pistas cubiertas además de las oficinas de la futura sede de la Federación Española de Tenis.

El proyecto de Construcción fue realizado en 2005 para Madrid Infraestructuras Deportivas 2012 (actualmente Madrid Espacios y Congresos) por Dominique Perrault Architecture, junto con LKS en la Gestión del Proyecto y TYPESA en las Estructuras, Instalaciones y Urbanización.



Fig. 1 Fotomontaje de la obra final

La construcción de la obra se dividió en dos contratos independientes, uno para las cubiertas móviles y otro para el resto de los edificios, siendo la adjudicataria en ambos casos la empresa FCC Construcción.

La intervención de FHECOR Ingenieros Consultores, por encargo de FCC Construcción, ha consistido en la realización del Proyecto Modificado de la Estructura de hormigón de la Caja Mágica, optimizaciones en diversos elementos estructurales del edificio de Tenis Indoor y Asistencia Técnica a la Construcción de todos los edificios.

2. Descripción de la estructura de hormigón de proyecto

La Caja Mágica consta de dos edificios: el del Estadio 1 y el de los Estadios 2 y 3, separados por una junta de dilatación en la que la estructura de los estadios 2 y 3 se apoya mediante neoprenos en una ménsula corrida que sobresale de la viga de borde del estadio 1, la continuidad del pavimento se realiza con una junta elástica de neopreno.

El Estadio 1 tiene en planta una forma rectangular, con unas dimensiones de 159,90 x 102,30 m y los Estadios 2 y 3 159,90 x 65,55 m.

Las diferentes plantas se articulan en una malla ortogonal con una cuadrícula principal de 14,40 x 14,40 m entre pilares.

La cimentación de todos los muros y pilares es profunda, con encepados de 2 ó 4 pilotes en el caso de los pilares, los pilotes tienen diámetros de 0,40; 0,80; 1,20 y 1,50 m. Su longitud oscila entre 4 y 21 m.

El edificio en altura consta de cuatro niveles.

El primer nivel se sitúa sobre el terreno a la cota 563,20 y comprende el área total del edificio excepto la proyección vertical de la pista de tenis. Este nivel se resuelve mediante una solera continua de hormigón armado apoyada sobre el terreno de 20 cm de espesor excepto en las zonas con tráfico de vehículos pesados que tiene 30 cm.

El segundo nivel se sitúa a la cota 567,20. Su superficie está retranqueada en el Estadio 1, respecto al nivel inferior, una crujía de 14,40 m en todo el perímetro. En este nivel se sitúa la pista de tenis, directamente sobre el terreno. El forjado se apoya en su contorno en los pilares de hormigón situados cada 7,20 m, con dimensiones de 1,50x1,50 m ó 0,40x1,50 m, y en muros de hormigón en las dos direcciones principales del edificio. El apoyo del forjado en los pilares se realiza a través de apoyos de neopreno. La solución estructural es de pórticos de hormigón formados por vigas postesadas de 0,95 m de canto y ancho variable entre 0,60 y 1,50 m, con luces de 14,40 ó 7,20 m, que unen los pilares y forjado de losa alveolar de 20+5 cm de canto trabajando en la dirección perpendicular a los pórticos, en algunas zonas se sustituye el forjado alveolar por losa maciza armada de 0,20; 0,25 ó 0,30 m de espesor, según las cargas previstas en cada zona, siendo el canto total de la estructura de 1,20. En el perímetro de todos los huecos se disponen vigas o zunchos de borde de 0,95 m de canto.

En los Estadios 2 y 3 la estructura se limita a tres pequeñas zonas de 12,45 m de ancho y longitudes de 24,30; 48,20 y 24,20 m. La estructura planteada son pórticos de un vano en la dirección corta apoyados en muros y/o pilares formados por vigas postesadas de 0,95 m de canto y forjado alveolar de 25+5 cm de canto y/o losas armadas de 0,20 ó 0,25 m de canto.

El tercer nivel se sitúa a la cota 571,20, su superficie comprende el área total del edificio excepto la proyección vertical de la pista de tenis. El forjado se apoya en su contorno en pilares de hormigón situados cada 14,40 m, mediante apoyos de neopreno zunchado, sus dimensiones son de 1,50 x 1,50 m. En la siguiente alineación, concéntrica a la anterior a 14,40 m de distancia, se apoya en pilares también sobre neoprenos, situados cada 7,20 m, con dimensiones de 1,50x1,50 m ó 0,40x1,50 m, y en la siguiente alineación en muros de hormigón que rodean la pista de tenis. La solución estructural planteada consiste en pórticos en las dos direcciones formando cuadrículas de 14,40 m de lado, las vigas son postesadas con continuidad, los vanos son de 14,40 m de luz y su sección transversal de 1,50 m de ancho y 0,95 m de canto, excepto las vigas de borde que tienen 1,50 m de canto. Entre estas vigas principales en la mayoría de los vanos aparecen vigas secundarias de 0,60 ó 0,70 m de ancho y 0,95 m de canto. El forjado es alveolar de 25+5 cm de canto y/o losas armadas de 0,20 ó 0,30 m de canto.

El cuarto nivel está formado por los graderíos y los pasillos perimetrales de éstos ubicados a la cota 583,45 (Sky-Lounge), únicamente en el Estadio 1, a diferencia de los niveles inferiores presenta 8 juntas de dilatación. El forjado está resuelto mediante vigas prefabricadas pretensas de 1,10 m de canto y prelosas de hormigón prefabricado nervadas de 5 cm de canto (15 cm en los nervios) y losa de compresión hasta alcanzar un canto total de 20 cm.

Las gradas son elementos prefabricados en forma de L que se apoyan en pórticos o muros situados cada 14,40 m. La misión de los pórticos de graderíos es recibir las cargas de los graderíos y transmitir las a los pilares, directamente en el estadio 1, mientras que en los estadios 2 y 3 a través de la losa de cota 571,20. La configuración global de los pórticos está formada por pórticos tipo 1.1, paralelos y equidistantes, dispuestos en perpendicular a las pistas. Las esquinas se

resuelven mediante un pórtico tipo 1.2 postesado, situado en la bisectriz del ángulo que forman los pórticos finales de cada alineación. 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 (patas) que, arrancando del mismo punto, se abren con ángulos de 60° con la horizontal para recibir la pieza superior.

3. Modificaciones introducidas en el proyecto modificado

El objetivo de FHECOR al hacerse cargo del Proyecto Modificado consistió en racionalizar la estructura, eliminando elementos difíciles de construir o mantener en el futuro, a la vez que se proponían optimizaciones en los procedimientos constructivos y empleo de medios auxiliares, todo ello con un ahorro en el presupuesto de ejecución material de la obra.

Las principales modificaciones introducidas en la estructura de la Caja Mágica son las siguientes:

- Se eliminan todas las juntas de dilatación, a excepción de la que separa en el nivel 571,20 el Estadio 1 de los Estadios 2 y 3, dicha junta se mantiene pero se simplifica su ejecución al pasar de una ménsula corrida con neoprenos y junta de neopreno a una junta con continuidad a cortante mediante conectadores de tipo Goujon. Esta junta no necesita ningún mantenimiento ni operaciones futuras de inspección ni de sustitución, con la complejidad que ello significaría en un edificio de estas características. Igualmente se modifican con la misma tipología las juntas previstas entre el edificio y las dos pasarelas de acceso.



Fig. 2 Junta entre estadio 1 y estadios 2 y 3



Fig. 3 Junta entre estadio 1 y pasarela

- La cimentación de todos los muros y pilares pasa a ser directa mediante zapatas, para llegar a la cota de terreno competente se realiza una sobreexcavación que se rellena con hormigón pobre o se aumenta la altura del pilar. Representa una clara ventaja en cuanto a tiempo de ejecución y economía, independiza además la estructura del Estadio 1 de la del resto del edificio, que antes compartían encepados de pilares comunes.
- En el segundo nivel (cota 567,20) se eliminan todos los apoyos de neopreno y se empotran los pilares en el forjado. Se modifica la tipología estructural del forjado, pasando a ser una losa maciza postesada en una o dos direcciones en función de la geometría de la planta, las luces principales son de 14,4 m, adoptándose un canto de 40 cm (relación canto/luz de 1/36). Esta tipología permite minimizar los cantos y da una solución estructural, constructiva y económicamente muy interesante, además permite simplificar la ejecución, ya que todo el forjado presenta la misma tipología y tiene el mismo canto (no hay vigas descolgadas, excepto en la alineación exterior por requerimientos arquitectónicos) y se ejecuta a la vez por zonas, con secuencias de trabajo de dos semanas por fase que incluyen: 1) movimiento del encofrado; 2) ferrallado, colocación de vainas y enfilar de cordones de pretensado; 3) hormigonado; 4) tesado del pretensado.

La losa presenta claramente diferentes zonas de flexión unidireccional. Por ello se ha establecido un pretensado en una única dirección cambiante según las condiciones estructurales. Como la losa apoya interiormente en muros, no tiene sentido concebir un pretensado centrado en bandas de pilares y se ha dispuesto un pretensado uniforme. Este pretensado se ha situado fuera de los pilares para que las cabezas de anclaje del pretensado no interfieran con la armadura de los pilares, facilitando la ejecución.

Una vez escogida la solución pretensada, se plantea la disyuntiva entre el sistema de pretensado no adherente o pretensado adherente con vaina oval, lo que exige efectuar un estudio comparativo de ambas soluciones. El primer sistema tiene la ventaja de no requerir inyección posterior al tesado, con las facilidades de ejecución que esto supone; sin embargo, con este sistema, en Estado Límite Último sólo se puede disponer de la tensión media de pretensado en servicio más un cierto incremento, compatible con la deformación global entre anclajes. Esto puede llevar a un incremento de la armadura activa requerida, especialmente en el caso de cargas elevadas, como ocurre con el edificio en cuestión.

En el sistema de pretensado con tendones adherentes con vaina oval se hace necesaria la inyección posterior a la operación de tesado; pero, en contrapartida, se puede disponer de una mayor capacidad resistente de la armadura activa con la consiguiente disminución de cuantías respecto del sistema anterior. El uso de la vaina oval permite obtener un brazo mecánico muy similar al que resulta con cordones no adherentes. La vaina oval presenta una gran flexibilidad y, por consiguiente, permite con facilidad abordar cualquier tipo de trazado, el enfilado resulta una operación sencilla y fácil de realizar y la inyección resulta, asimismo, muy rápida. Efectuado el estudio, se consideró como óptima la tipología estructural formada por losas macizas postesadas con tendones adherentes con vaina oval.

Se ha optado por vainas planas de 4 cordones de 150 mm² cada uno tesados al 75% de la carga de rotura (1425 MPa). Como los cables no presentan longitudes importantes se ha optado por un único anclaje activo en cada cable con la excepción de las 2 familias de mayor longitud donde es recomendable realizar un tesado por ambos extremos.

- En el tercer nivel (cota 571,20), al igual que en la planta inferior, también se han eliminado todos los apoyos de neopreno sobre los que se apoya la losa y se ha optado por una solución estructural de losa maciza postesada en dos direcciones, siendo las luces principales son de 14,4 m, adoptándose un canto de 40 cm (relación canto/luz de 1/36). Con la esbeltez resultante y las elevadas cargas actuantes se plantea el aumento del canto alrededor de los pilares con el fin de aumentar la capacidad resistente frente a punzonamiento. El canto de estos ábacos es de 0,65 m, es decir, se produce un descuelgue de 25 cm bajo la losa. Las dimensiones de estos ábacos en planta son de 4,80x4,80 m, los ábacos no representan un problema de ejecución ya que al tener todos las mismas dimensiones en planta y el mismo canto permiten realizar el encofrado por bandas de dos alturas, la experiencia resultante en obra constató que el ritmo de producción fue similar al de la planta inferior.



Fig. 4 Vista de los ábacos terminados



Fig. 5 Ferrallado de los ábacos

Las grandes dimensiones de la losa han llevado al diseño de un proceso constructivo por fases. Se ha dividido la losa en 24 fases de hormigonado diferentes, disponiéndose las juntas de hormigonado de tal manera que las diferentes superficies resultaran aproximadamente iguales.

El proceso constructivo consiste en tesar e inyectar los cables de cada una de las fases de manera sucesiva, una vez que el hormigón haya alcanzado una resistencia característica mínima de 25 MPa. De esta forma se puede descimbrar cada una de las fases una vez inyectadas las vainas y desplazar la cimbra hacia la siguiente fase.

En el Estado 1 la losa se comporta de manera diferente en función de las condiciones de sustentación en las distintas zonas; consecuentemente el diseño del pretensado se ha ajustado a estas condiciones. En las crujeas situadas en los bordes del forjado se da un notable funcionamiento unidireccional, dado que los pilares se sitúan a 14,40 m del borde y en cambio dichos pilares se encuentran separados entre ellos 7,20 m, de modo que salvo en la zona comprendida entre las alineaciones H – P y 10 – 14, se ha dispuesto un pretensado unidireccional, concentrado en bandas de pilares, pues es donde mayor concentración de esfuerzos hay. En la zona restante, debido a que en ambas direcciones los pilares se encuentran a 14,40 m. ha sido necesario disponer un pretensado bidireccional.

En aquellos casos en los que las deformaciones en centro de vano resultan elevadas se han dispuesto familias adicionales de pretensado entre bandas de pilares.

Se ha optado por vainas planas de 4 cordones de 150 mm² cada uno tesados al 75% de la carga de rotura (1425 MPa). Dependiendo de la longitud de los cables, se ha dispuesto uno o dos anclajes activos.



Fig. 6 Armado de losa nivel 571.20



Fig. 7 Detalle acopladores de pretensado



Fig. 8 Pretensado en zona de losa con huecos



Fig. 9 Detalle anclaje pasivo



Fig. 10 Detalle arranque de pórticos antes de hormigonar



Fig. 11 Detalle arranque de pórticos tras el hormigonado

La solución estructural planteada ofrece además otras ventajas como la facilidad de montaje de las instalaciones al presentar un techo plano en toda la superficie y la mayor versatilidad que presenta la losa maciza frente a los forjados alveolares para la ubicación de huecos de cualquier dimensión.



Fig. 12 Hueco para instalaciones ejecutado a posteriori

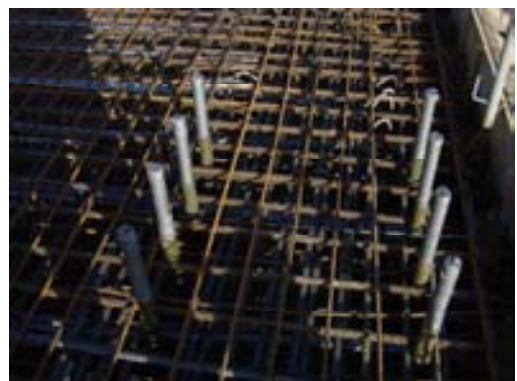


Fig. 13 Detalle arranque de pilares de cubierta



Fig. 14 El techo plano sin vigas descolgadas facilita el montaje de instalaciones



Fig. 15 Versatilidad de la losa ante la apertura de huecos en su borde apoyado en un muro

Las plantas de pretensado se muestran a continuación:

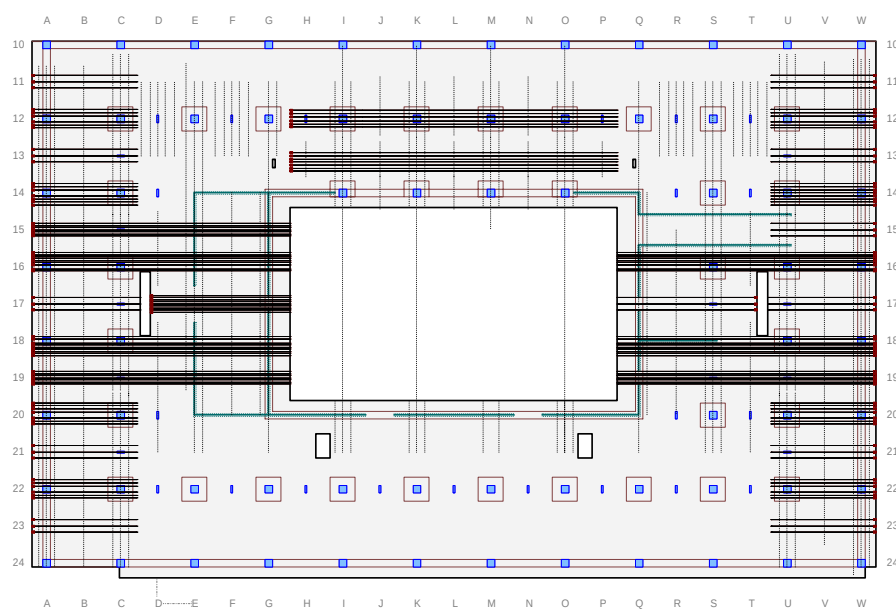


Fig. 16 Planta pretensado dirección X – Estadio 1

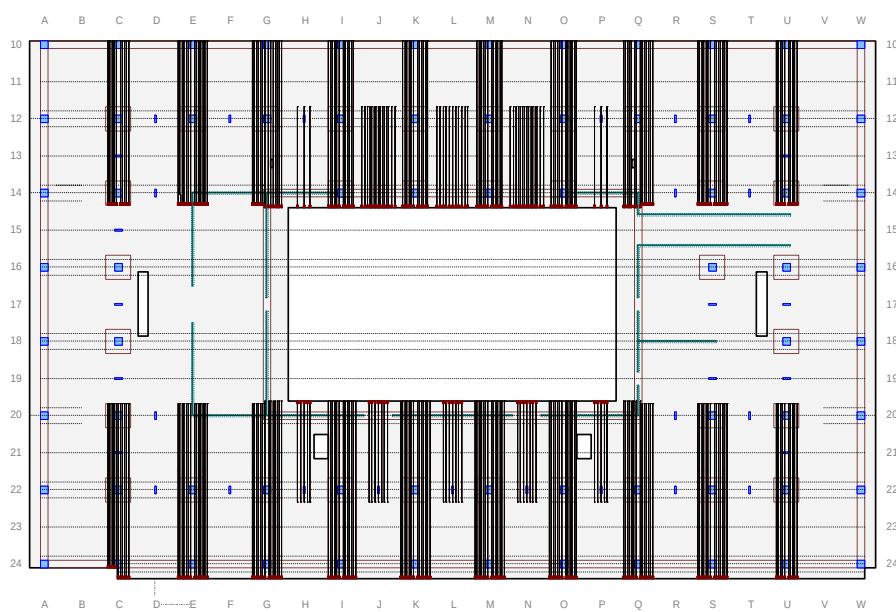


Fig. 17 Planta pretensado dirección Y – Estadio 1

En los estadios 2 y 3 la losa se comporta de manera diferente en función de las condiciones de sustentación en las distintas zonas; consecuentemente el diseño del pretensado se ha ajustado a estas condiciones. La preponderancia de recuadros de luces iguales en dirección X e Y, junto con la sencillez de ejecución, han llevado a disponer un trazado bidireccional, concentrado sobre las bandas de pilares.

En aquellos casos en los que las deformaciones en centro de vano resultan elevadas, coincidiendo con la existencia de muros o pórticos de los graderíos, se han dispuesto familias adicionales de pretensado entre bandas de pilares.

Se ha optado por vainas planas de 4 cordones de 150 mm² cada uno tesados al 75% de la carga de rotura (1425 MPa). En los cables dispuestos en un único recuadro, su longitud es tan corta que no hay beneficio alguno en tesarlos desde los dos extremos, por tanto en estos cables se ha dispuesto un único anclaje activo. Asimismo, debido a las fases de ejecución de la losa, se disponen acopladores con extremos activos o pasivos en función del proceso constructivo.

En cuanto a los cables más largos en la dirección Y, el retesado supone una apreciable reducción de las pérdidas del tendón y resulta por tanto interesante, para lo cual será necesario dejar una zona sin hormigonar en el extremo próximo a la junta con la losa del estadio 1 hasta el tesado de los mismos.

Las plantas de pretensado se muestran a continuación:

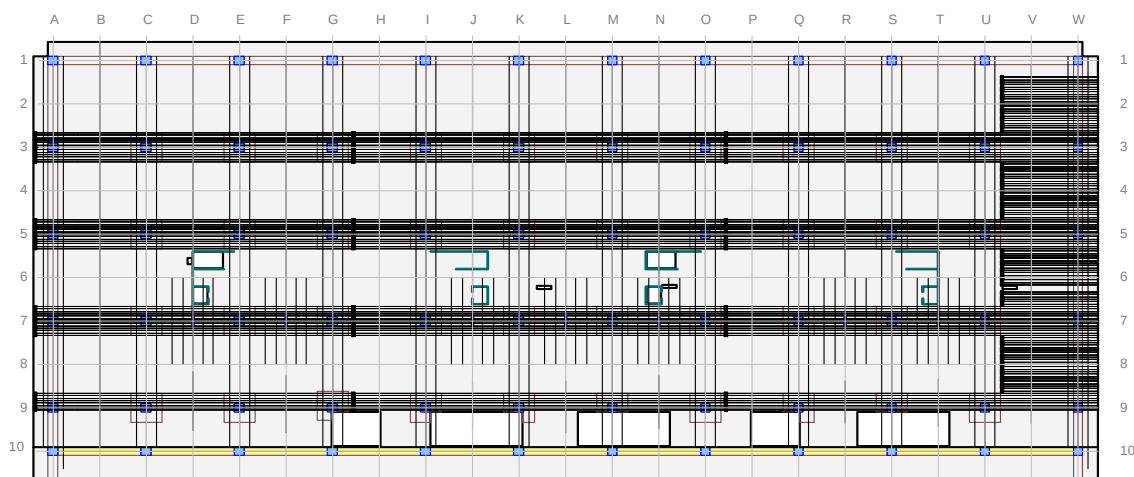


Fig. 18 Planta pretensado dirección X – Estadios 2 y 3

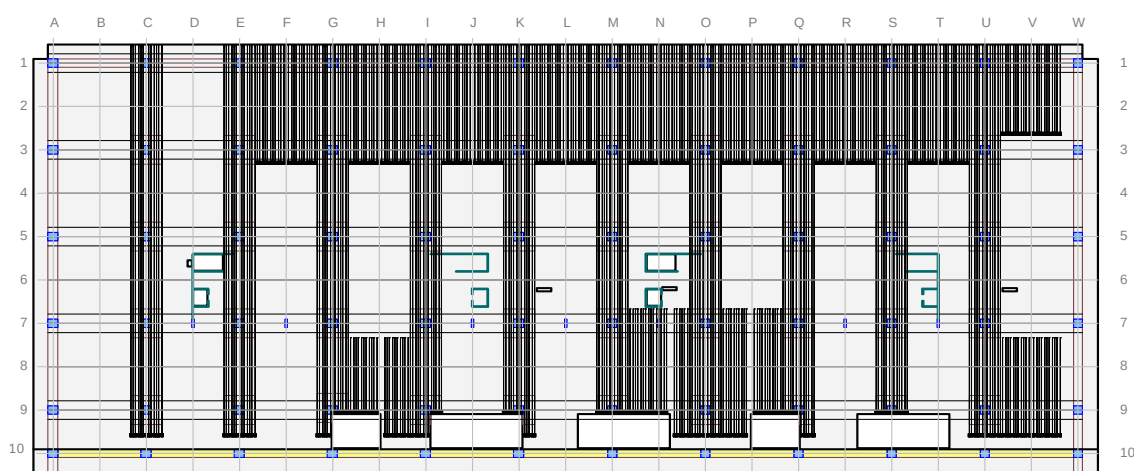


Fig. 19 Planta pretensado dirección Y – Estadios 2 y 3

- En el cuarto nivel o Sky-Lounge (cota 583,45), el forjado se ha resuelto mediante una losa maciza postesada en una dirección en función de la geometría de la planta, las luces son de 14,4 m, adoptándose un canto de 0,30 m (relación canto/luz de 1/48). Esta losa se apoya en su contorno en los pórticos de hormigón que sustentan las gradas del estadio 1, situados cada 14,40 m. En el borde interior de este forjado apoyan cada 14,40 m y justo en el

centro de cada vano dos vigas prefabricadas sobre las que apoyan las gradas, puesto que la luz de las gradas es de 7,20 m. Esto hace que se descuelgue una viga de 0,60 m de ancho y 0,70 m de descuelgo bajo el forjado.



Fig. 20 Vista del Sky-Lounge desde el nivel 571.20



Fig. 21 Armado del Sky-Lounge, se aprecia la armadura superior del pórtico y la dimensión del voladizo

Las grandes dimensiones de la losa han llevado al diseño de un proceso constructivo por fases. Se ha dividido la losa en 10 fases de hormigonado diferentes, disponiéndose de juntas de hormigonado, eliminándose las juntas de dilatación presentes en el proyecto inicial. El proceso constructivo consistirá en tesar e inyectar los cables de cada una de las fases de manera sucesiva, una vez el hormigón haya alcanzado una resistencia de 25 MPa. De esta forma se puede descimbrar cada una de las fases una vez inyectadas las vainas y desplazar la cimbra.

Los pórticos se han optimizado adaptándolos a las cargas que les transmiten las gradas y el nuevo Sky-Lounge. Se ejecutaron por fases, inicialmente se dejaron las esperas embebidas en la losa del nivel 571,20, posteriormente se hormigonó el nudo de arranque junto con una pata y la mitad de la viga de apoyo de las gradas con un único encofrado vibrante, finalmente se ejecutaba con un nuevo encofrado el resto de la viga de apoyo de las gradas, el voladizo de soporte del Sky-Lounge y la otra pata.



Fig. 22 Arranque de las dos patas de un pórtico tipo



Fig. 23 Encofrado de primera fase de pórtico tipo

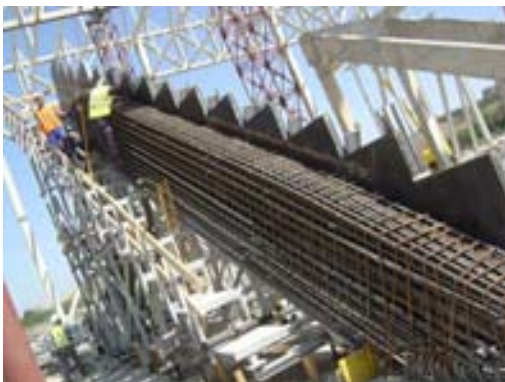


Fig. 24 Ferralla de primera fase de pórtico tipo



Fig. 25 Pórtico tipo terminado y ejecución de la losa del Sky-Lounge

Para minimizar el canto de la losa del Sky-Lounge el tramo horizontal del pórtico se hormigonó en dos fases, en la primera fase se dispone una armadura en la cara superior capaz de soportar el peso propio del voladizo del pórtico y se hormigona hasta ese nivel, quedando por encima las armaduras necesarias en servicio, que se hormigonaban junto con el Sky-Lounge (ver figura 21). Sin duda la concepción del procedimiento constructivo de los pórticos y su ejecución fue el elemento más complejo de la obra y con menor rendimiento en su ejecución, especialmente los pórticos de esquina, cuyo arranque se macla con los de dos pórticos tipo perpendiculares y del que nacen a media altura otros dos pórticos paralelos a los tipo.



Fig. 26 Arranque de pórtico de esquina y dos pórticos tipo



Fig. 27 Encuentro en pórtico de esquina



Fig. 28 Vista de pórtico de esquina con dos pórticos ortogonales



Fig. 29 Interior del Estadio 2



Fig. 30 Interior del Estadio 1 donde se aprecian los pórticos terminados

4. Evolución de las obras

La estructura de hormigón se ha realizado en 27 meses, la excavación de las cimentaciones se inició en Junio de 2006 y se ha completado en Agosto de 2008, simultaneando su construcción con el montaje de las fachadas y la cubierta, así como las instalaciones. El edificio se inauguró en Octubre de 2008.

A continuación se muestran fotografías de conjunto que revelan el avance de la obra:



Fig. 31 Julio de 2006



Fig. 32 Septiembre de 2006



Fig. 33 Diciembre de 2006



Fig. 34 Marzo de 2007



Fig. 35 Junio de 2007



Fig. 36 Septiembre de 2007



Fig. 37 Diciembre de 2007



Fig. 38 Marzo de 2008

5. Equipo interviniente

Además de las personas firmantes, han tenido una participación especial en el desarrollo del proyecto Javier Milián Mateos, Miguel García Rojo, Javier de Cabo Ripoll, Alberto Reig Pérez y Javier Antón Díaz, entre otros.

CENTRO DEPORTIVO POLIVALENTE EN LA RIBERA DEL RÍO MANZANARES EN MADRID. LA CAJA MÁGICA.

Salvador FDEZ. FENOLLERA

Ingeniero de Caminos, C. y P.

TYPSA

Dir. Proyectos Div. Desarrollo Urbano

Director de Obra Caja Mágica

sfernandez@typsa.es

José Luis SÁNCHEZ JIMÉNEZ

Ingeniero de Caminos, C. y P.

TYPSA

Director del Dpto. de Estructuras

jlsanchez@typsa.es

Marta CARRUESCO PALAU

Ingeniero de Caminos, C. y P.

TYPSA

Ingeniero de Estructuras

mcarruesco@typsa.es

Resumen

La “Caja Mágica” es un edificio deportivo polivalente diseñado por el prestigioso arquitecto Dominique Perrault para el Ayuntamiento de Madrid. Actualmente se encuentra en construcción. Destaca por sus cubiertas móviles y la rotundidad de su presencia metálica.

Palabras Clave: losa postesada, cubierta móvil, celosía, arquitectura, Dominique Perrault, olímpico.

1. Introducción

En los últimos años el Ayuntamiento de Madrid ha hecho un esfuerzo por recuperar la ribera del río Manzanares en su tramo sur, que estaba rodeada de infraestructuras, industria, vertederos y barrios marginales, y abrir de nuevo la ciudad a su río, destacando especialmente actuaciones como el enterramiento del anillo de circunvalación M-30, y como consecuencia de ellas ha logrado 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 infraestructuras. 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 deportiva, 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 se enmarca dentro de la promoción de infraestructuras deportivas que se está haciendo en la ciudad en la búsqueda de la celebración de unos juegos olímpicos

La búsqueda de un diseño de fuerte presencia e impacto, junto con el estilo de carácter industrial de las construcciones del arquitecto Dominique Perrault, ganador del concurso para su diseño, obliga a la búsqueda de soluciones estructurales complejas y espectaculares en sus características, dimensiones y aspecto final.

Con el común objetivo de llevar adelante este Complejo singular intervienen, bajo la promoción del Ayuntamiento de Madrid a través de la empresa municipal Madrid Espacios y Congresos, Dominique Perrault junto a TYPSA como ingeniería para estructuras e instalaciones como redactor del Proyecto de Construcción y Dirección de Obra, 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. Descripción del Proyecto. Arquitectura

El complejo, de 17 Ha de superficie e integrado en un parque atravesado de norte a sur por el río Manzanares, se concibe como un lago del que sobresalen tres islas, la principal de las cuales es la Caja Mágica.

Además, y formando el cierre longitudinal del recinto y la primera fachada en el lado del barrio se levanta un edificio auxiliar de 600 m de longitud y que se eleva una altura sobre el nivel de la calle y que alberga 11 pistas de tenis cubiertas, toda la zona de oficinas, residencia e instalaciones, y el núcleo de generación de agua caliente y fría, núcleo de climatización y centro de distribución de energía para todo el complejo (Central Energética).

Y en el centro de todo el complejo está la isla principal, la Caja Mágica, un volumen compacto de 172 por 165 m en planta y una altura total de 35 metros, de los cuales 27 sobresalen sobre el nivel de la calle, concebido con dos niveles principales.

El inferior, ocho metros por debajo del nivel de calle (nivel -2) y al nivel del lago acoge todos los equipamientos e instalaciones necesarios para el desarrollo de los eventos en el recinto, desde los vestuarios para jugadores a los centros de transformación de energía eléctrica, incluyendo oficinas, centro de prensa, espacios para VIP y área de restauración



Fig.1. Vista General del Complejo (infografía)

El nivel superior es el nivel de calle, denominado nivel +0, y es el de circulación de público y sobre el que se elevan los tres estadios que contiene el edificio, tres volúmenes con capacidad para en torno a 12.000, 3.500 y 2.500 espectadores, independientes en construcción y uso unos de otros, bajo una cubierta común y envueltas en una piel semipermeable.

Las estructuras que forman los estadios son de hormigón, y quedan recogidas bajo una gran cubierta común sostenida por esbeltos soportes metálicos, con una formación de cubierta y falso techo también de acero, y todo el conjunto envuelto en una malla semipermeable de acero, dando al edificio el aspecto de "Caja" metálica que recoge en su interior los estadios, dando la sensación de que "flota" sobre el lago al quedar suspendida con un ligero apoyo sobre los pilares del nivel -2.

Uniendo el conjunto y articulando la accesibilidad al recinto se crea un gran eje, un puente que conecta el barrio al oeste con el Parque al este, atravesando el edificio y cruzando el río. Este puente se incorpora como un gran balcón, abierto al Parque, de forma que la "Caja Mágica" se incorpora al paisaje del Parque.

3. Descripción del Proyecto.

3.1 Estructuras de Hormigón

3.1.1 Concepto

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).

Las principales estructuras de hormigón son los forjados, especialmente en el nivel +0, resueltos mediante una losa postesada, los pilares que la sostienen, los pórticos que sustentan las gradas prefabricadas, y la losa en voladizo del denominado "Sky-Lounge".

La Caja Mágica en planta es una superficie prácticamente cuadrada de aproximadamente 172x165m con una modulación de soportes de 14.40m en dos direcciones ortogonales. El nivel de acceso es el +571.20 (cota +0) a 8.0m sobre el terreno, bajo este nivel se sitúa una planta intermedia más.. Sobre el nivel principal se ubican las gradas de los estadios y las cubiertas, que suponen una altura adicional de unos 18.0m.

3.1.2 Losas, vigas y forjados



Fig. 2. Vista aérea de los tres estadios

Las principales estructuras de hormigón son los forjados, resueltos por medio de losas postesadas, apoyadas en pilares de hormigón. La solución de forjado, los requerimientos y concepción arquitectónicos y las estructuras superiores no facilitan la disposición de juntas de dilatación. Por lo que solamente se ha dispuesto una junta en el eje que separa el estadio principal de los otros más pequeños, afectando fundamentalmente a los pilares. La junta se resuelve mediante pasadores metálicos tipo "Goujon".

El nivel +571,20 (cota de acabado -C.A.-) del edificio es el nivel principal (nivel +0), con una superficie total de 159,9 x 167,1 m, y una modulación de soportes de 14,4 m en dos direcciones ortogonales. El nivel -1 (C.A. +567,20) es sensiblemente de menor extensión, ocupando la zona bajo la grada del estadio principal en una zona de 131,4 x 73,8 (salvo dos patios en sendas esquinas de doble altura, de 11,9 x 28,95 m cada uno), y tres pastillas en la zona de restaurantes bajo los estadios 2 y 3, de 24,2 x 12,6 m, 48,2 x 12,6 m y 24,2 x 12,6, respectivamente.

La mayor parte, por tanto, de este 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 vigas in situ. Finalmente, para la obra, 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.

Formalmente, los requerimientos arquitectónicos imponen 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.

De la solución adoptada se valora especialmente su estricta adecuación a los requisitos formales con costes económicos ajustados, el alto rendimiento alcanzado en la ejecución de los forjados con sistemas de cimbras muy optimizados, las grandes cargas que resiste y que le permite servir de base para el montaje de las estructuras que tiene encima, y la facilidad de ejecución posterior de las instalaciones colgadas.

La losa se comporta de manera diferente en función de las distintas condiciones de sustentación en las distintas zonas, adaptando el diseño del pretensado a estas condiciones. En las crujías situadas en los bordes del forjado se ha optado por un funcionamiento unidireccional, salvo en las que sirven de apoyo a los pórticos donde ha sido necesario disponer postesado en las dos direcciones por actuar estas cargas en el centro de la crujía.

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.

Las grandes dimensiones de la losa han obligado a un proceso constructivo ejecutado por fases, dividiendo la losa en 30 fases de hormigonado diferentes, disponiéndose juntas de hormigonado de tal manera que las diferentes superficies resultaran prácticamente iguales. El proceso constructivo consistía en tesar e inyectar los cables en cada una de las fases de manera sucesiva, cuando el hormigón haya alcanzado una resistencia característica mínima de 30 Mpa. De esta forma se puede descimbrar cada una de las fases una vez inyectadas las vainas y desplazar la cimbra hacia la fase siguiente.

Para resolver el punzonamiento de las losas, se han dispuesto capiteles sobre los pilares de canto adicional de 15cm y dimensiones en planta de 4.80x4.80.

3.1.3 Graderíos

El apoyo de las gradas del estadio principal está resuelto con grandes pórticos situados cada 14,4 m. 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.

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. Graderío este, pórticos tipo

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 ϕ 0,6" por cada dintel.

La unión en el arranque inferior del dintel inclinado está sometida a tracciones en algunas configuraciones de carga, por lo que debe estar anclado a la estructura del forjado inferior. Para ello se utiliza el propio pretensado, que resultará pasante hasta el forjado de nivel +0.



Fig. 4. Armado y encofrado de pórtico tipo

Pese a que en el proyecto se previó la construcción prefabricada para garantizar un acabado bien perfilado, gran precisión y superficies de gran planeidad, 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, si de una gran calidad.

En las esquinas del estadio principal, además, debe completarse con dos semipórticos, que acometen al mismo arranque de los soportes y al dintel de la esquina en la vertical de ese punto. Para su construcción se utilizaron modificaciones del molde de los pórticos tipo, buscando la optimización del material. Se crea un nudo de encuentro de cuatro brazos de tres pórticos, que será visto, con una geometría muy llamativa.

La estabilidad lateral de los pórticos se consigue tanto por el empotramiento de los soportes como por el atado de los dinteles mediante la losa del anillo del nivel superior del estadio



Fig. 5. Vista general de graderío, pórticos de esquina y losa de Sky-Lounge

Las gradas prefabricas 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. Los apoyos se realizan a través de bandas de neopreno que garantizan el sellado hidráulico del conjunto. Además, con esta disposición se aleja la junta de los puntos de posible acumulación de agua, con lo que se reduce el riesgo de goteos. En el respaldo se han integrado guías corridas para la fijación de los asientos. Esta tipología, para el ángulo de gradas previsto, es válida normalmente para luces de hasta 7,50 m.

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.

3.1.4 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.

Resulta del forjado entre los voladizos exteriores de los pórticos de gradas del estadio principal. Está situado a la cota 583s44 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 apoyan cada 14,40m dos vigas prefabricadas perpendiculares al sky, 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 prelosas 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.



Fig. 6. Cimbra en altura para losa postesada de Sky-Lounge

Sobre el forjado que conforma el “sky lounge” se implanta una estructura metálica aporticada que cierra un recinto acristalado. Se disponen montantes cada 1,20 m sobre las vigas principales del sky lounge, unidos por travesaños en cabeza, todos ellos con perfiles tubulares de sección rectangular. Entre estos dos pórticos se disponen dinteles con perfiles tipo IPE, que darán apoyo a la estructura de cubrición de este ámbito y en el que se localizarán las instalaciones de climatización, iluminación, etc. Para que el conjunto tenga estabilidad suficiente, se disponen arriostramientos en el plano superior mediante acruceamientos de San Andrés, completados con cruces en fachada.

Igual que en otros elementos metálicos, se disponen espesores de acero suficientes de manera que por propia masividad y resistencia residual pueda considerarse que se dispone de una estabilidad al fuego tipo EF-30, para el incendio tipo señalado por las normativas aplicables. El dintel, oculto en el falso techo de este entorno, se tratará con pintura intumescente para conseguir un nivel de protección equivalente.

3.1.5 Pilares y muros

Los pilares de la Caja Mágica 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. Algunos pilares en las zonas bajo estadios en zonas de simple altura tienen una sección de 0,40 x 1,50 m, situándose cada 7,20 m reduciendo la luz en las zonas más exigidas bajo los estadios.

Estas secciones establecidas por criterios arquitectónicos resulta sobredimensionada 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, y otros la bajada de cargas de la cubierta a través de los pilares metálicos, con los que se conectan mediante barras Macalloy.

La disposición de juntas conlleva unas dimensiones de dilatación de aproximadamente 165 x 102,3 m y 165 x 64,8 m en el nivel +0. Esta circunstancia afecta mucho más a los pilares que al propio forjado, dado que deben adaptarse a unas deformaciones impuestas por la retracción y las oscilaciones térmicas. De este modo, además de transmitir las cargas de viento u otras acciones horizontales, los esfuerzos derivados de las deformaciones impuestas se absorben por los pilares y muros y se llevan a la cimentación.

Además, colaborando con los muros, una parte del nivel +567,2 está soportado por muros de carga de hormigón armado, de 0,40 m de espesor.

3.2 Estructuras Metálicas.

3.2.1 Concepto

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.

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.

Finalmente, y para acabar de dar el aspecto de “Caja”, el conjunto de los tres estadios está envuelto en una malla metálica semipermeable, formada por grandes paños de malla tejida mediante espirales de acero inoxidable, sujeta a grandes pórticos de acero galvanizado mediante cables horizontales pretensados.

3.2.2 Estructura principal de Cubierta

La cubierta del edificio tiene unos condicionantes arquitectónicos que se han de respetar y que limitan las posibilidades para resolver los grandes condicionantes a que se enfrentan: grandes luces de cerca de 100 m y el movimiento de apertura de las cubiertas para permitir despejar totalmente las pistas, un canto estructural de 4.0m (por condicionantes arquitectónicos) y por otro lado desarrollar un sistema de elevación y desplazamiento de las cubiertas móviles que hiciera posible esa versatilidad.

En cualquiera de las tres cubiertas (una por estadio) se distinguen tres estados o posiciones:

- Cerrada: en esta posición las cubiertas están sometidas a las cargas debidas a su peso propio, carga muerta, nieve, cat-walk y carga característica de viento.
- Abierta: en esta posición las cubiertas están abiertas y enclavadas, con los correspondientes mecanismos de seguridad que evitan que las cargas actúen sobre los elementos hidráulicos o mecánicos. Las cargas actuantes en esta posición son el peso propio y cargas muertas, el 70% del viento característico y sin carga de nieve. En esta posición la cubierta se mantiene de forma indefinida hasta que se vuelve a operar la cubierta por detectarse en los anemómetros velocidades de viento por encima de las programadas o por nevar.
- Operación: con este término se designa el periodo de apertura y en su caso traslación de la cubierta.

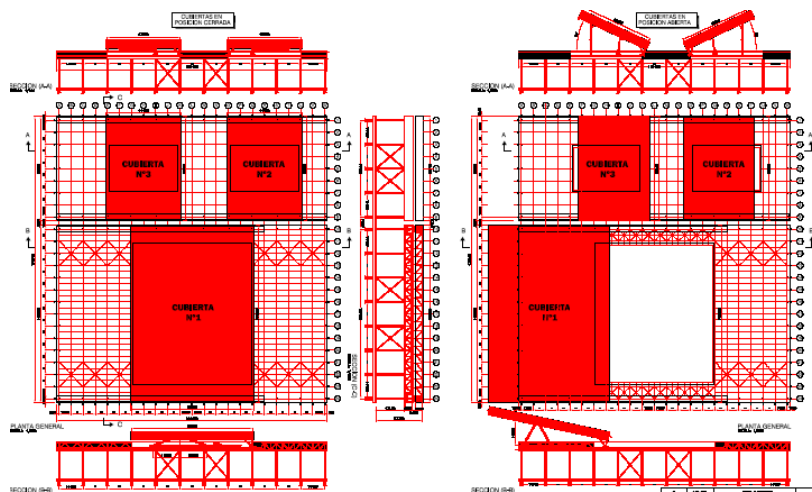


Fig. 7. Esquema de operación de las cubiertas

La solución adoptada se centra en el diseño de una estructura de carácter muy convencional en cuanto a la tipología de sus elementos resistentes, aunque las dimensiones y complejidad de algunos elementos en particular resultan extraordinarios.

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 emparillado ortogonal de celosías de forma que se consigue salvar la importante luz de unos 100 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.

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.

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 estadio 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.

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 faldones laterales de cerramiento de las cubiertas.

La cubierta móvil del estadio 1 está compuesta por una estructura principal a base de celosías convencionales completada por una estructura espacial tridimensional, mientras que las estructuras de las cubiertas móviles 2 y 3 se componen con una tipología de celosías tradicionales, arriostradas por correas.



Fig. 8. Montaje de la estructura de la Cubierta Móvil 1.

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 será 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.

3.2.3 Soportes de 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 sobrecostos 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.

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

3.2.4 Mecanismos de Cubierta

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.

Cubierta 1 (73 M)

Esta cubierta basculante y móvil, tiene unas dimensiones aproximadas de 103 x 73 metros. 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.

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

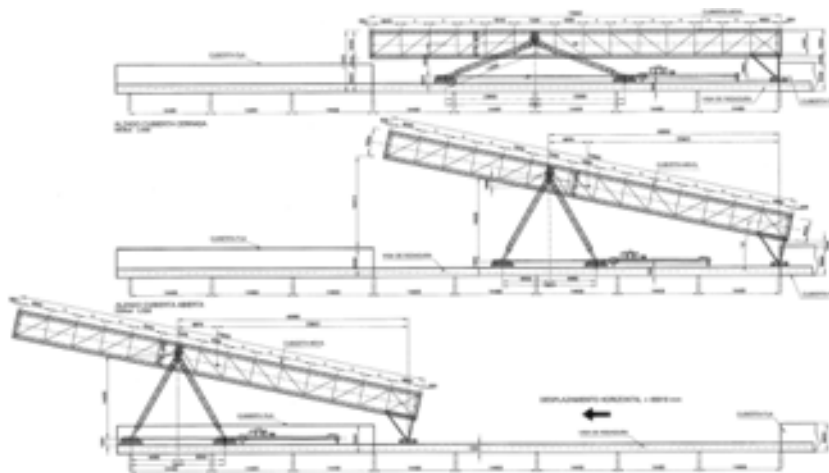


Fig. 7. Esquema de movimientos de la Cubierta Móvil 1

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 alejado 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.

Cubiertas 2 y 3

Los sistemas de movimiento de ambas cubiertas, de iguales dimensiones en planta (44 x 60) 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.

3.2.5 Estructura de soporte de Malla

El cierre de fachada consiste en una malla de acero permeable con 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.

Por último, la fijación de la estructura no se previó colgada de la estructura de la cubierta en el proyecto de ésta. 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 pretensado cada 1,5 metros en sentido horizontal, que se recoge 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 solo tener cables pretensados 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. 9. Montaje de un módulo de estructura de malla

4. Cifras

Resumen de cifras del proyecto:

La envergadura del proyecto da unas cifras de materiales utilizados muy significativas. En la siguiente tabla se presentan algunas de las más representativas del capítulo de estructuras de las distintas partes del complejo.

	m² de Estructura	m³ de Hormigón en estructura (*1)	Kg. de Acero para Armar	Kg. de Acero Activo	Kg. de Acero Estructural (*4)	m² de Encofrado.	Presupuesto(PEM)
CAJA MÁGICA	73.770	49.960	8.228.000	195.230	1.603.980	16.160	32.754.600 €
CUBIERTA (*2)	28.380	435	137.150	-	3.117.700	-	12.261.000 €
TENIS INDOOR	40.875	27.500	2.871.000	6.900	1.173.000	51.590	10.913.500 €
PUENTES URBANIZACIÓN	2.300	1.480	321.020	-	521.810	1.990	3.879.000
TOTAL	145.295	79.375	11.557.170	202.130	6.416.490	69.740	59.808.100 € (*3)

Tabla 1. Resumen cifras de las estructuras del proyecto

- (*1) No incluye hormigón en gradas ni prelosas prefabricadas ni en pilotes.
- (*2) No incluye los mecanismos de elevación.
- (*3) Incluye presupuesto de implantación de instalaciones a ejecutar con la estructura.
- (*4) No incluye el material de la malla metálica, no estructural, sí su estructura.

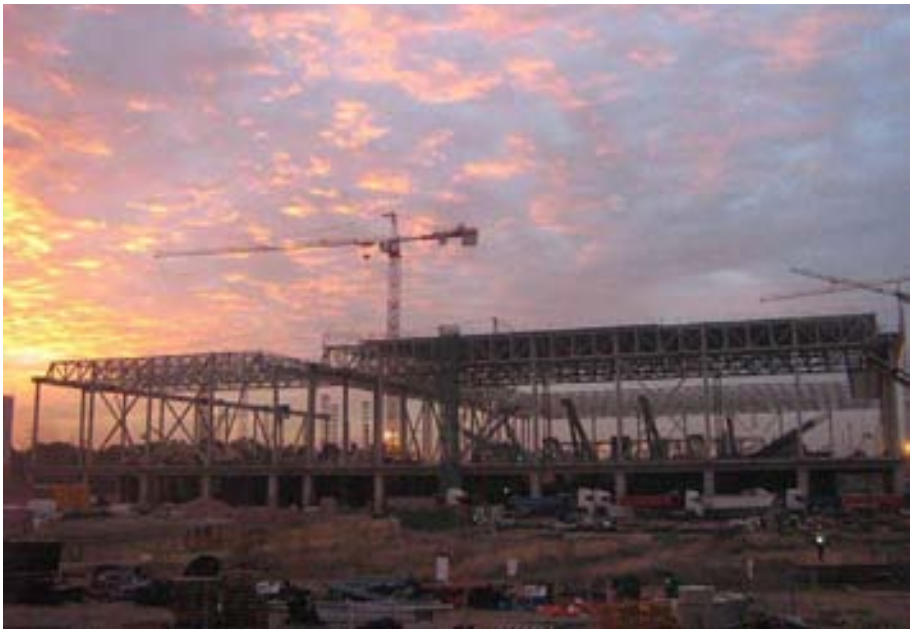


Fig 10. Vista general de la construcción de las estructuras