

Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. La creación de un icono del siglo XXI

Renovation of the Santiago Bernabéu Stadium. Creation of a 21st Century Icon

Jesús Javier Mateos Hernández-Briz^{a,*} y Óscar Liébana Carrasco^b

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FCC Construcción.

^b Doctor Arquitecto. Universidad Politécnica de Madrid.

Recibido el 29 de octubre de 2024; revisado el 10 de enero de 2025, aceptado el 5 de mayo de 2025

RESUMEN

El Real Madrid C.F. ha llevado a cabo una ambiciosa reforma del estadio Santiago Bernabéu, un icono no sólo deportivo sino de la ciudad de Madrid, un edificio de mediados del siglo XX con numerosas reformas y ampliaciones hasta la innovadora propuesta de convertir el estadio en un recinto multiusos, dotándolo de una envolvente completa que proporciona aislamiento ante inclemencias atmosféricas, renovando su imagen y creando un nuevo estándar de lo que es un estadio multifuncional moderno.

FCC construcción ha sido el encargado de realizar el diseño y ejecución en un modelo de fast-track, con una gran complejidad logística y de ejecución. El proyecto ha supuesto un hito desde el punto de vista estructural, de los procedimientos de ejecución, aplicación de soluciones y materiales innovadores, siendo foco de atención de la ciudad de Madrid durante toda su ejecución.

En este artículo se describe, a partir de la historia del recinto, la dificultad de los trabajos sobre un edificio del siglo pasado a rehabilitar y en pleno uso, hasta el desarrollo de las principales actuaciones arquitectónicas, estructurales, de instalaciones y tecnológicas, con su problemática y soluciones innovadoras para completar una de las actuaciones más complejas desarrolladas en un entorno urbano.

PALABRAS CLAVE: Estadio, reforma, envolvente, cubierta retráctil, estructura metálica, refuerzos

©2025 Hormigón y Acero, la revista de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE). Publicado por Cinter Divulgación Técnica S.L. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

ABSTRACT

Real Madrid C.F. has undertaken an ambitious renovation of the Santiago Bernabéu Stadium, an icon not only in sports but also in the city of Madrid. This mid-20th century building has undergone numerous renovations and expansions, culminating in an innovative proposal to transform the stadium into a multi-purpose venue. The stadium now features a complete enclosure that provides protection against adverse weather conditions, renewing its image and setting a new standard for what a modern multifunctional stadium should be.

FCC Construcción was responsible for the design and execution of the project using a fast-track model, which involved significant logistical and execution complexity. The project has been a milestone from a structural perspective, in terms of execution procedures, and the application of innovative solutions and materials, drawing the attention of the city of Madrid throughout its execution.

This article describes, starting from the history of the venue, the challenges of working on a building from the last century that needed to be rehabilitated while still in use, to the development of the main architectural, structural, installation, and technological interventions, along with their challenges and innovative solutions to complete one of the most complex projects carried out in an urban environment.

KEYWORDS: Stadium, renovation, envelope, retractable roof, steel structure, reinforcements.

©2025 Hormigón y Acero, the journal of the Spanish Association of Structural Engineering (ACHE). Published by Cinter Divulgación Técnica S.L. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0) License

* Persona de contacto / Corresponding author:

Correo-e / e-mail: jmateosh@fcc.es (Jesús Javier Mateos Hernández-Briz)

Cómo citar este artículo: Mateos, J.J., & Liébana, Ó. (2025). Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. Creación de un icono del siglo XXI. *Hormigón y Acero*. 76(307):11-30. <https://doi.org/10.33586/hya.2025.3988>

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la ciudad de Madrid ha visto la transformación total de su recinto deportivo más significativo, el es-

tadio Santiago Bernabéu, transformación en el que la ingeniería estructural ha tenido un papel protagonista.



Figura 1. Estadio antiguo de Chamartín.



Figura 2. Obras del nuevo estadio junto al antiguo estadio de Chamartín.



Figura 3. El estadio en 1947.



Figura 4. La ampliación de 1954.

El fútbol es, para muchos, más que un deporte, es una pasión que une a personas de diferentes culturas y orígenes, como una religión moderna, y, como tal, tiene sus comunidades, sus rituales, sus ídolos y también sus templos. El estadio Santiago Bernabéu es para muchos millones de personas, seguidoras del Real Madrid CF, el templo donde celebrar sus ritos.

Conscientes de esa trascendencia que tiene el edificio, y, por tanto, cualquier actuación sobre él, desde el Club se decide promover una ambiciosa reforma del estadio que lo lleve a convertirse, no solo en icono para el madridismo, sino también un hito de la construcción del siglo XXI dentro de la ciudad de Madrid.

Es este artículo se recoge la historia de los diferentes recintos que utilizó el Real Madrid hasta el primer proyecto en la situación final, así como las diferentes reformas hasta la actual. Posteriormente, se explica la reforma tras el concurso de 2014 para describir el proyecto realizado en cada una de las actuaciones estructurales, arquitectónicas, de fachada, tecnológicas, de instalaciones y de refuerzos estructurales, para finalizar con el del reto de diseño y construcción realizado, la complejidad de los condicionantes logísticos y técnicos, resueltos por un extenso equipo técnico de diseño y ejecución.

2.

HISTORIA DEL ESTADIO

Desde su fundación en 1902, el Real Madrid C.F. ha utilizado diferentes recintos para la celebración de sus partidos [1]. Desde el campo del Hipódromo de la Castellana, el campo de O'Donnell, el velódromo de Ciudad Lineal (obra de Arturo Soria) hasta el campo antiguo de Chamartín desde 1924 (figura 1), que fue el primero de su propiedad y que tenía capacidad para 15.000 espectadores.

Fue en 1944 cuando el Club, bajo la presidencia de D. Santiago Bernabéu, adquiere los terrenos anexos a este estadio para construir uno nuevo (figura 2) siguiendo el proyecto de los arquitectos Manuel Muñiz Monasterio y Luis Alemany Soler, y con diseño estructural de Carlos Fernández Casado [2][3].

Con un aforo para 100.000 espectadores, situados en grada baja, tribuna y primer y segundo anfiteatro (excepto el lateral este, que no disponía de los antiteatros superiores) el nuevo estadio de Chamartín fue inaugurado el 14 de diciembre de 1947 (figura 3).

A partir de ese primer diseño, a lo largo de los años, el estadio ha ido sufriendo distintas reformas y ampliaciones. El



Figura 5. El estadio en 1982.

19 de junio de 1954, y bajo proyecto y dirección de los mismos técnicos del diseño original, se inauguró la ampliación de lateral este (figura 4). Esta ampliación completa los dos primeros anfiteatros que faltaban en este lateral en el edificio original y añade sobre ambos un tercer anfiteatro, con lo que el aforo completo sube a 125.000 espectadores [4].

En enero de 1955 se decidió el cambio de nombre del estadio Nuevo Chamartín, que pasó a tener su denominación actual de Estadio Santiago Bernabéu, a modo de reconocimiento por la gestión del presidente al frente del club.

La siguiente gran reforma tuvo lugar con motivo del Campeonato Mundial de fútbol que se celebró en España en 1982 (figura 5), bajo proyecto de los arquitectos Luis y Rafael Alemany y Manuel Salinas, y con proyecto estructural de OTEP Internacional, en la que se dotó de cubierta a las gradas de los fondos y del lateral oeste, se remodeló la fachada y se instalaron nuevos marcadores electrónicos [5].

La nueva cubierta se resolvió mediante cerchas en voladizo arriostradas entre sí y fijadas a dos de las líneas de pilares originales del estadio. Los pilares de línea más exterior, que se veían sometidos a fuertes tracciones, requirieron un refuerzo mediante cables verticales de pretensado que aseguraran el correcto comportamiento de los mismos.

Adicionalmente, y para cumplir las normativas FIFA requeridas al Real Comité Organizador del Campeonato Mundial, hubo que transformar los graderíos, convirtiendo un número significativo de localidades de pie en asientos, lo que supuso una pérdida de aforo, que se redujo hasta 90.800 espectadores (55.000 de pie y 35.800 sentados)

En 1994 tuvo lugar otra gran ampliación del estadio (figura

6). Con proyecto arquitectónico del estudio Lamela y estructural de OTEP Internacional, se amplió de nuevo significativamente la capacidad del recinto, creando dos nuevos niveles de anfiteatro en el arco norte-oeste-sur completo, añadiendo 21.000 nuevas localidades [6].

Este aumento de aforo obligó a incrementar los medios de evacuación, para lo que se crearon las cuatro torres en las esquinas que proporcionan escaleras y rampas para una eficaz evacuación en caso de emergencia.

La creación de los nuevos graderíos obligó a elevar la cubierta de 1982 unos veinte metros sobre su posición anterior, conectándose a la estructura de esos nuevos graderíos. Adicionalmente se dispuso una cubierta telescópica en el lateral oeste, sobre la zona del palco presidencial que compensara la pérdida de protección frente a la lluvia de los espectadores que suponía la nueva posición elevada de la cubierta.

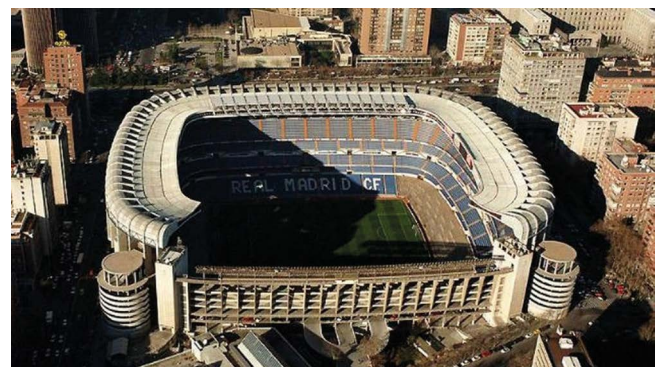


Figura 6. La ampliación de 1994.



Figura 7. La reforma de 2004.



Figura 8. Propuesta de nuevo estadio de Félix Candela.

Posteriormente, en 1998 surgió la necesidad de que la totalidad de las localidades del estadio pasaran a ser de asiento, desapareciendo las de pie. Eso redujo de nuevo la capacidad del estadio a 75.000 espectadores.

Finalmente, la última reforma significativa, antes de la actual, se produjo en 2004 [7], año en el que, también con proyecto de estudio Lamela, se amplió ligeramente el aforo hasta los actuales 80.000 espectadores, y se dotó de cubierta a las gradas del lateral este que eran las únicas que carecían de cubrición, ejecutando también un nuevo cerramiento para la fachada este (figura 7).

Internamente se realizaron ajustes para conseguir la calificación “Élite UEFA” para el estadio. Entre ellas se modificó

la posición del palco presidencial trasladándolo al lateral este, de forma que hubiera conexión directa con los vestuarios, y se mejoraron las zonas y palcos VIP del estadio.

Es evidente la voluntad que ha tenido el Real Madrid de seguir ligado a los terrenos del Paseo de la Castellana, donde tiene su casa desde 1924. No obstante, con la expansión de la ciudad, los terrenos en los que se sitúa el estadio, que en un principio habían sido extrarradio, quedaron situados en pleno centro de la ciudad, y hubo algún intento de mover la sede a terrenos nuevos, como la propuesta en 1973 de un nuevo estadio al norte de Fuencarral, cuyo diseño corrió a cargo de Félix Candela [8] (figura 8).

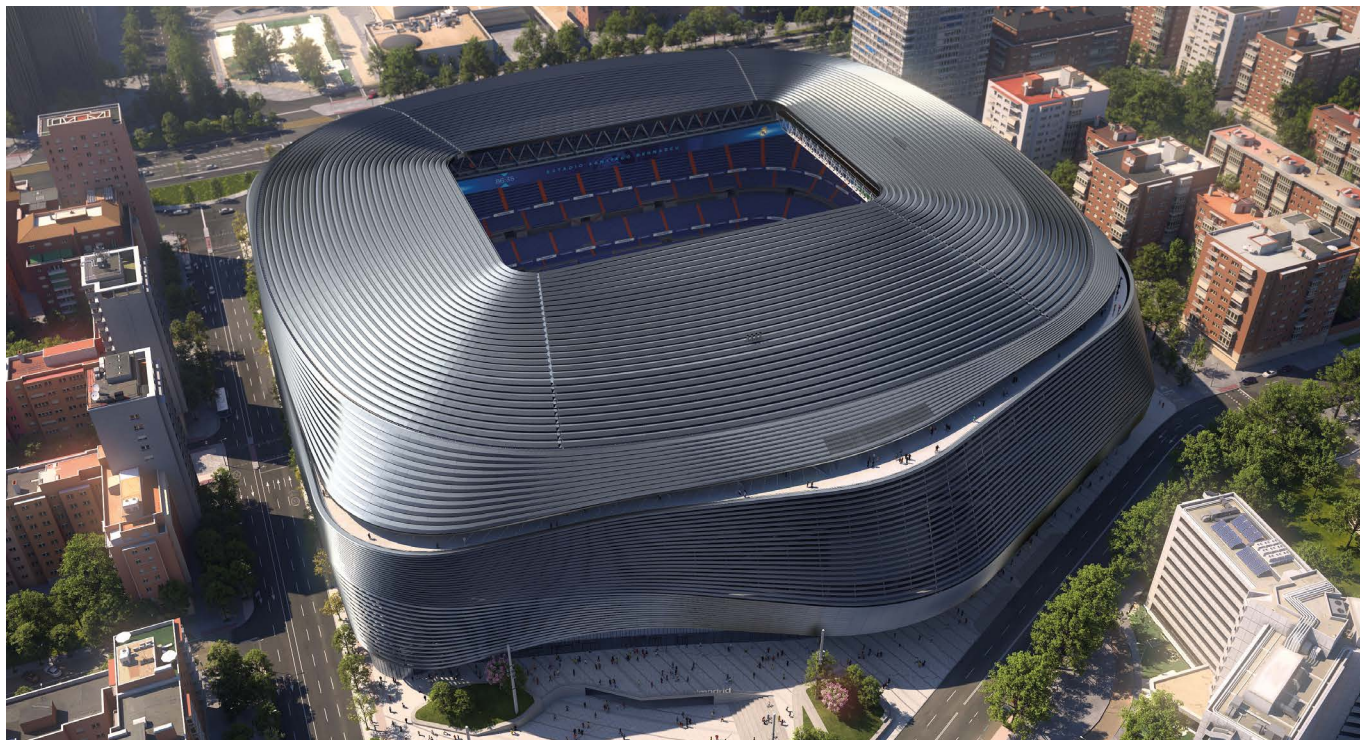


Figura 9. La propuesta de L35, GMP y RIBAS Y RIBAS.

Finalmente, el proyecto no se llevó a cabo debido a la oposición de las autoridades franquistas y a la complejidad de la financiación. Aunque la idea fue aprobada inicialmente por los socios del club, finalmente no se materializó y el Estadio Santiago Bernabéu continuó siendo la casa del Real Madrid.

3. LA REFORMA ACTUAL

La reforma actualmente en curso comienza su andadura cuando, en enero de 2014, el Real Madrid resuelve el Concurso Internacional de Arquitectura restringido para la Reforma Integral del Estadio Santiago Bernabéu que había convocado un par de años atrás, con la principal finalidad de convertir al Santiago Bernabéu en el icono arquitectónico de Madrid y referencia internacional como instalación deportiva.

La solución escogida fue la presentada por GMP Architekten, L-35 y Ribas & Ribas, que se impuso a las propuestas presentadas al concurso por grandes grupos de arquitectos internacionales de prestigio como Herzog & de Meuron junto a Rafael Moneo, Norman Foster y Rafael de la Hoz, y Populous con Estudio Lamela [8].

El diseño propuesto por los ganadores está basado en convertir el estadio en una innovadora y versátil arena multifuncional, dotándolo de una nueva envolvente de geometría asimétrica, formada por lamas de acero inoxidable (figura 9) que dan al Bernabéu un carácter completamente nuevo y enfatizan su estatus como hito de Madrid [10].

Funcionalmente se potencia la usabilidad de las instalaciones, al disponer una cubierta capaz de independizar el interior de las condiciones atmosféricas exteriores. También

se diseñan nuevos espacios expositivos en el nuevo museo, se reconsideran todas las zonas VIP y se mejora la logística interior al disponer una nueva galería transitable bajo la grada y ascensores montacargas que conectan todos los espacios del estadio con el aparcamiento y el exterior.

Esta solución incluye también la rehabilitación urbanística de la manzana completa que acoge al estadio Santiago Bernabéu, con un proyecto de Fernando Porras-Isla y Lorenzo Fernández Ordóñez (Estudio Porras-Guadiana Arquitectos) que incorpora al espacio común la esquina sureste de la parcela del estadio (antiguo Centro Comercial de La Esquina del Bernabéu), creando una plaza de 6.000 m² como espacio privativo de Uso Público (figura 10).

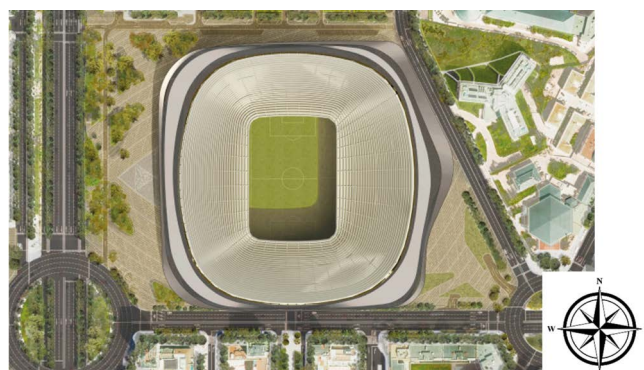


Figura 10. Propuesta de urbanización de PORRAS-GUADIANA.

En mayo de 2018, tras el desarrollo del diseño por los ganadores del concurso Internacional de Arquitectura como proyecto referencial, el Real Madrid convocó un Concurso de Proyecto y Obra al que se presentaron varias de las grandes constructoras españolas.

Un año después, en mayo de 2019 los trabajos fueron adjudicados a FCC construcción, que había presentado una propuesta variante que, respetando el diseño conceptual del cliente, proponía un concepto estructural más adecuado a las necesidades de operatividad del estadio durante la construcción.

Desde esa fecha, los equipos técnicos de FCC Construcción han desarrollado, tanto en diseño, bajo la dirección de los dos firmantes del artículo, como en ejecución, la reforma del estadio, para convertirlo en un recinto multiusos con las últimas tecnologías para una explotación comercial óptima.

Esta reforma supone un hito en la ingeniería estructural y la arquitectura moderna. Este proyecto, que ha captado la atención mundial, se caracteriza por su complejidad técnica y su aplicación innovadora de materiales y métodos constructivos. La reconversión de una estructura de más de 75 años en un recinto de eventos de última generación, llamado a convertirse en un icono de la ciudad, supone un reto de ingeniería de máximo nivel en todos sus aspectos constructivos.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de transformación del estadio que, basado en el diseño conceptual facilitado por el cliente, hubo que desarrollar, se puede considerar como la superposición de distintas actuaciones sobre el edificio existente hasta conseguir la configuración y acabados deseados, y que podríamos resumir en las siguientes:

- Edificio oeste y Viga Museo
- Edificio este
- Estructura de cubierta fija
- Cubierta retráctil
- Estructura de bajocubierta y Videomarcador
- Envoltente de lamas de acero
- Galería logística y Nuevo acceso a terreno de juego
- Sistema automatizado del terreno de juego
- Adecuación de espacios existentes y refuerzos estructurales
- Nuevas instalaciones y equipamiento tecnológico

A continuación, se describen las distintas actuaciones que se desarrollan en mayor profundidad, a lo largo de los distintos artículos publicados conjuntamente en este número monográfico, explicando detalladamente los elementos estructurales, así como su diseño y ejecución.

4.1. Edificio oeste – Viga museo

En el lado oeste del estadio que limita al paseo de la Castellana, se diseña un nuevo edificio adosado al propio estadio. Este edificio está dedicado a circulaciones de espectadores para acceso a los distintos niveles del estadio, así como en alojar el espacio del nuevo museo del Club, zonas de atención VIP y la parte oeste del gran recorrido de terraza peatonal, abierto tanto al terreno de juego como al exterior, que se desarrolla en el nivel de cubierta en el perímetro completo del estadio, conocido como *Skywalk*, y donde se alojan espacios de restauración (figura 11).



Figura 11. Visualización del *Skywalk*.

Estructuralmente, el edificio está formado por las dos nuevas torres de evacuación, que sustituyen a las existentes, que se demuelen, y que sirven como soporte del propio edificio oeste y, como veremos más adelante, a la nueva cubierta del estadio.

Las torres están formadas por un núcleo interior de hormigón, donde se alojan los ascensores, escaleras e instalaciones, y una celosía metálica exterior, a modo de cesta. Embebidos en la celosía se encuentran tres grandes pilares metálicos, que son los que soportan las fuertes cargas verticales transmitidas por la

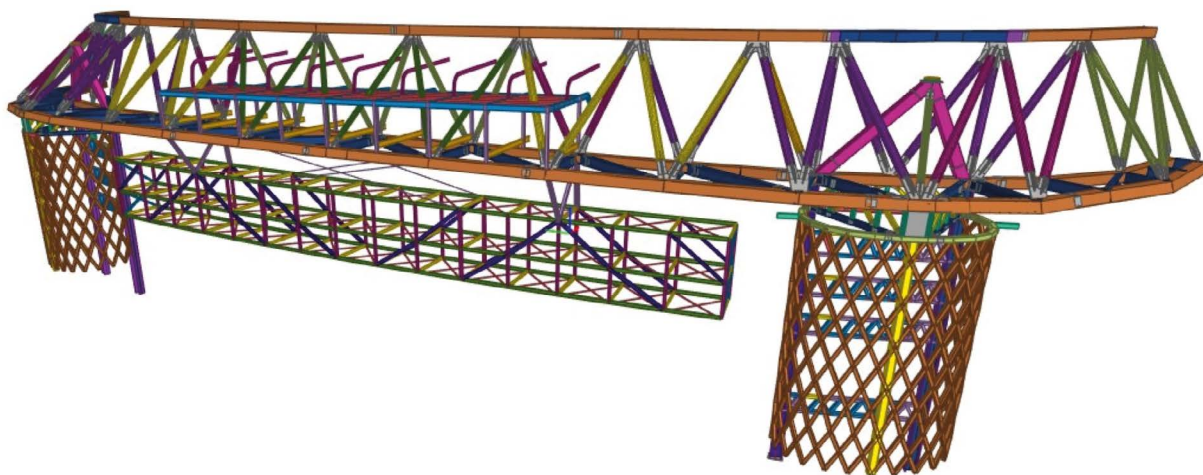


Figura 12. Estructura del edificio oeste.

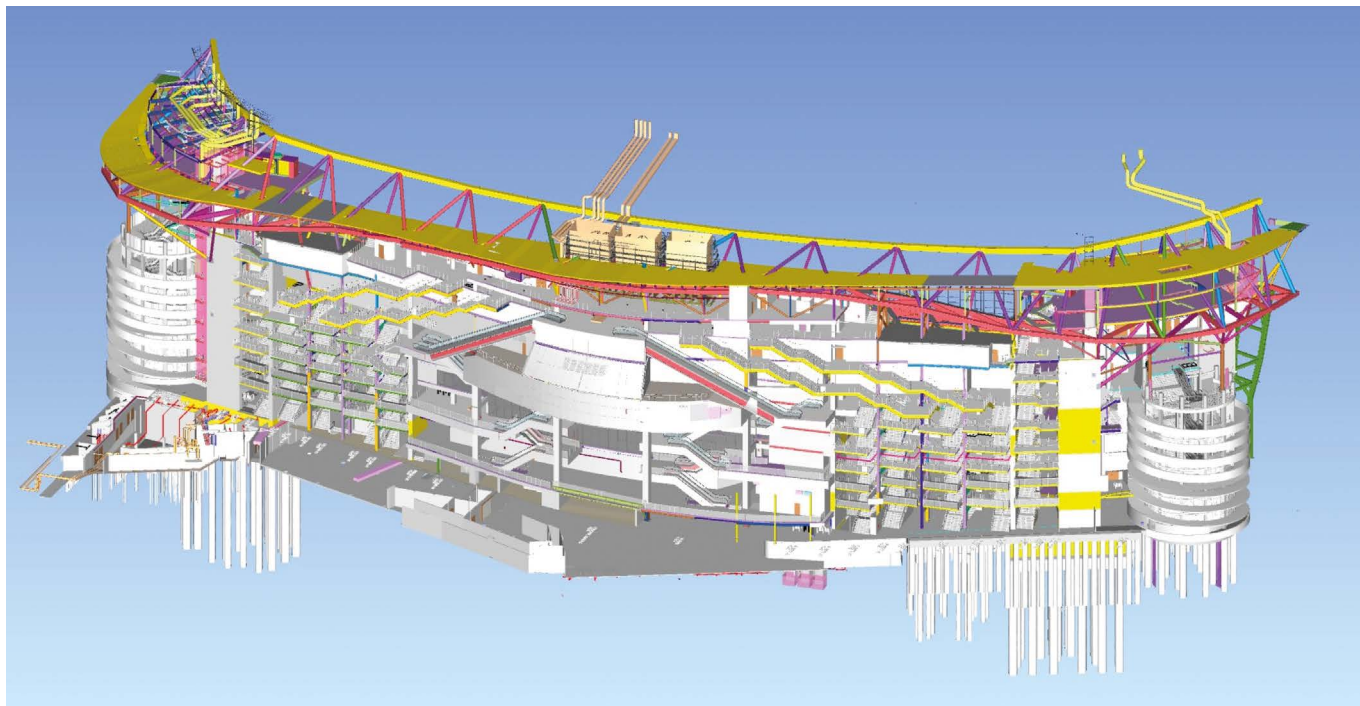


Figura 13. Edificio del este.

cubierta, quedando la cesta metálica como elemento de arriostamiento entre ellos y para soportar los esfuerzos horizontales.

En la coronación de la torre se forma un trípedo metálico en cuyo vértice se produce el apoyo de la cubierta y que reparte sus cargas entre los tres pilares citados.

Soportada por estas dos torres se sitúa una gran viga en celosía curva de sección triangular, de 144 metros de luz entre apoyos y dos vuelos de casi 40 metros en los extremos, denominada viga corona. Esta celosía, que forma parte del esquema resistente frente a cargas horizontales de la cubierta, aloja niveles de circulación de espectadores para acceso a las gradas superiores y una estructura específica para el *Skybar*, uno de los espacios de restauración del estadio que dispone de graderío propio con acceso desde el *Skywalk*. De la viga corona cuelga una gran estructura de 110 metros de longitud y tres niveles de forjado, conocida como Viga Museo (figura 12), en la que se sitúan los nuevos espacios de exposición del estadio.

4.2. Edificio este

En el lado opuesto del estadio, y parcialmente sobre los terrenos que ocupaba el antiguo Centro Comercial de “La esquina del Bernabéu”, que desaparece, se construye el nuevo edificio este.

Este edificio, conectado al 100% con la parte este del edificio existente, tiene diez niveles sobre rasante y hasta cinco bajo ella. Aloja áreas institucionales como el palco de honor, zonas de prensa, oficinas, áreas VIP, vestuario, etc., así como áreas comerciales y de restauración. También aporta dos grandes bloques de escaleras de evacuación que dan acceso a los distintos niveles de graderío de esta zona este, y también el espacio para las centralizaciones de instalaciones para todo el edificio.

Los niveles bajo rasante están dedicados fundamentalmente al aparcamiento, excepto el nivel -2, planta con doble altura y luz entre pilares, que permite la circulación de vehículos pesados con acceso desde la calle, en el que se disponen espacios para la colocación de las unidades móviles de TV, autobuses de jugadores y zonas de carga y descarga. Este nivel de sótano está conectado con el terreno de juego a través del nuevo acceso, que ha sido realizado bajo la estructura existente recalzando su cimentación.

Estructuralmente se diseña una estructura convencional de losas y pilares de hormigón. La losa de cubierta de este nivel -2 del sótano, con luces de hasta 17m, soporta las cargas de la nueva plaza pública exterior del edificio, con zonas de jardín de espesores considerables y zonas de circulación rodada. Para la creación de estos niveles de sótano fue necesario profundizar en varios niveles mediante pantallas ejecutadas en el intradós de la estructura de contención del edificio antiguo y que debían funcionar conjuntamente.

El edificio en altura (figura 13), estructuralmente está formado por pórticos metálicos y forjados de chapa colaborante para los distintos niveles. Adicionalmente, estos pórticos deberán soportar, como en el caso del edificio oeste, las cargas de viento de cubierta en dirección norte-sur que entran por la celosía triangular de coronación del edificio, conocida también como viga Corona, y en la que se produce la continuidad correspondiente del paseo 360° de cubierta por el *Skywalk*.

4.3. Estructura de cubierta fija

El elemento estructural más destacado del proyecto es la nueva cubierta de la que se dota al estadio. La cubierta cierra completamente la huella del edificio exceptuando la proyección estricta del terreno de juego (hueco que posteriormente se cierra con la cubierta retráctil). Ideada, para ser ejecutada

desde el exterior sin afectar a la utilización del estadio, está formada por varias familias de celosías metálicas (figura 14):

- Dos cerchas principales atirantadas de 176 metros de luz (rojo en la imagen).
- Cuatro cerchas transversales de 144 metros de luz (verde en la imagen).
- Estructura secundaria de celosías tubulares que proporcionan el apoyo para el elemento de chapa de cubrición.

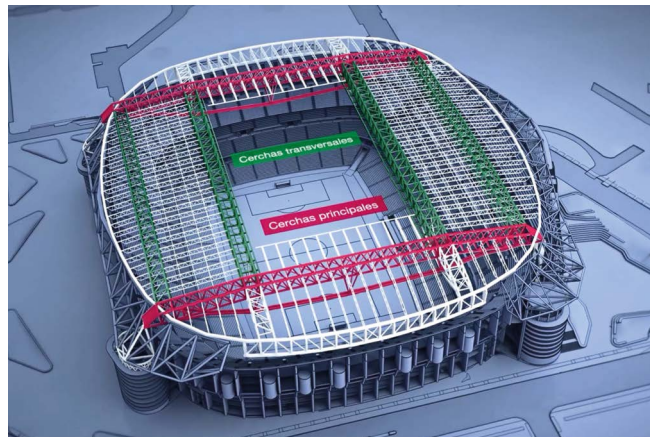


Figura 14. Estructura de cubierta, planta.

En el extremo de los voladizos de la cubierta, de hasta 33 metros al norte y al sur de las vigas atirantadas (blanco en la imagen), se dispone otra celosía que permite el remate de la misma, además de dar soporte al forjado que forma la parte correspondiente a los fondos del paseo perimetral, de forma que, con los tramos ya comentados en las Coronas del este y del oeste, se completa el anillo de 360° de desarrollo.

La estructura de cubierta tiene un peso total superior a las 15.000 toneladas y está situada a casi 50 metros de altura sobre el nivel de calle. El conjunto de esta estructura se apoya fundamentalmente mediante apoyos Maurer tipo POT en cuatro puntos: los tripodes dispuestos sobre las dos torres de evacuación del oeste y sobre dos pilares en la zona del edificio este (figura 15).

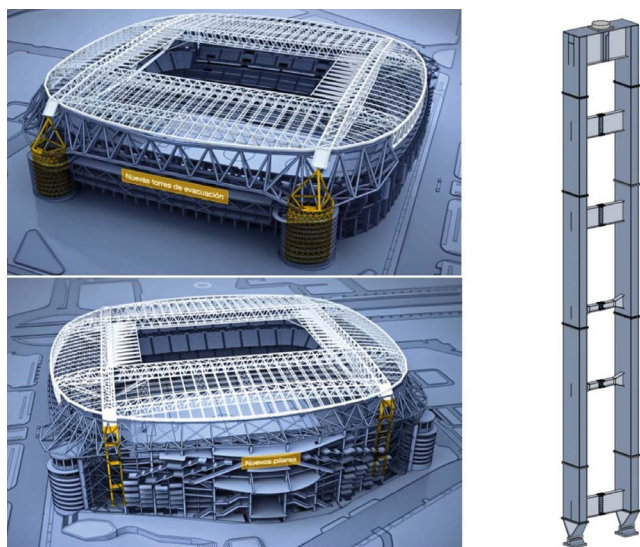


Figura 15. Puntos de apoyo de la cubierta.

Estos pilares son totalmente independientes de la propia estructura del edificio del este, y son biarticulados para poder ajustarse a los movimientos provocados por las variaciones térmicas de la cubierta.

Como elemento de soporte adicional, y con objeto de controlar cargas adicionales en las cerchas de fondos norte y sur se han dispuesto unos innovadores Dispositivos de apoyo controlado DAC (figura 16).

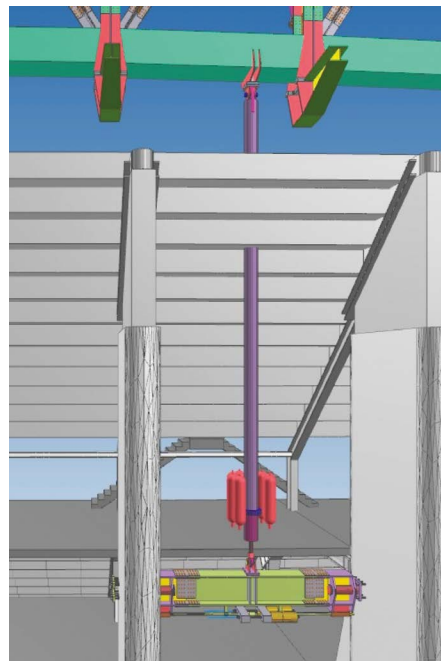


Figura 16. Dispositivo DAC.

Estos elementos consisten en un gato cuya carga se mantiene constante por presión de un gas compresible. De esta forma, el efecto que produce es la aplicación de una carga vertical ascendente en el extremo de las zonas voladas, carga de valor constante con independencia de los movimientos de la cubierta, los cuales no se ven afectados y, por tanto, no afectan al comportamiento isostático de su estructura.

Los esfuerzos horizontales de viento son transmitidos a las estructuras inferiores también en cuatro puntos (figura 17). Los esfuerzos norte-sur se transmiten a los dos nuevos edificios (este y oeste) a través de conexiones a las correspondientes vigas corona. Los correspondientes a la dirección este-oeste se transmiten directamente a la cabeza de los tripodes de las nuevas torres de evacuación del oeste.

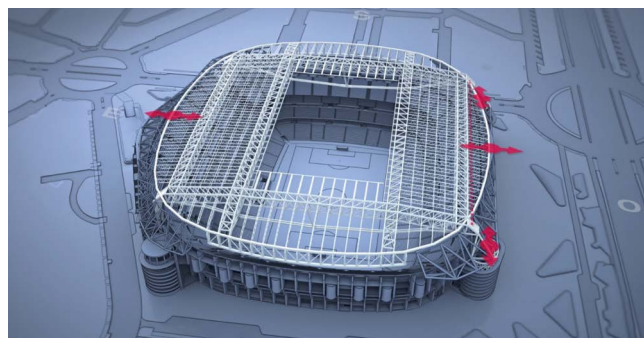


Figura 17. Esquema de libertades de movimiento en apoyo horizontal.



Figura 18. Vista aérea de la cubierta retráctil.

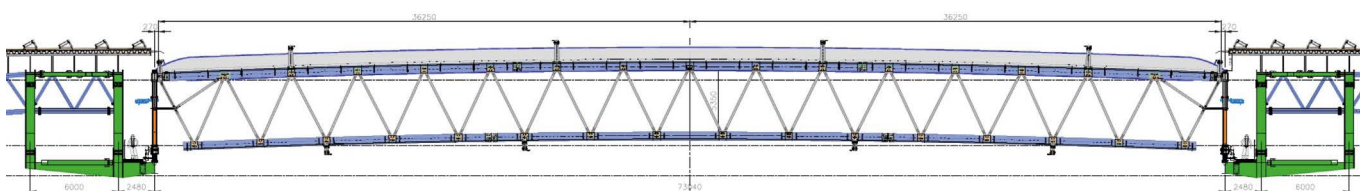


Figura 19. Sección por viga híbrida.

4.4. Cubierta retráctil

Uno de los elementos más significativos e innovadores del nuevo diseño del estadio es la cubierta retráctil, que puede cerrar completamente el óculo que, en la vertical del terreno de juego, queda abierto en la cubierta fija (figura 18).

Esta estructura móvil está formada por doce cerchas híbridas de 72,5 metros de luz y 5,35 metros de canto (figura 19), con los cordones superior e inferior de material compuesto (madera de balsa con fibra de vidrio y de carbono) y diagonales metálicas. El motivo de elección de estos materiales es buscar la máxima ligereza de los elementos móviles para no penalizar ni los sistemas de accionamiento, ni la estructura de la cubierta. Estas cerchas se desplazan a lo largo de un carril de rodadura situado en las dos cerchas transversales centrales de la cubierta fija.

El movimiento de estas cerchas permite el despliegue de unos cojines inflables de material plástico ePTFE (PoliTetraFluoroEtileno expandido) de dimensiones 8.00x72.50 metros con los que se consigue cubrir la totalidad del hueco (figura 20).

La superficie convexa que forman los cojines al inflarse permite la evacuación del agua de lluvia hacia la cabeza de las cerchas que, actuando como un canalón, la lleva a sus extremos, donde ya conecta con el sistema de evacuación general de aguas de la cubierta.

Con la cubierta extendida e inflada se procede a su elevación para cerrar el espacio contra la cubierta fija y así evitar cualquier entrada de agua al interior del estadio (figura 21).

Todos los sistemas, tanto de movimiento horizontal y vertical de los elementos de la cubierta, como de inflado y mantenimiento de los cojines, están automatizados y controlados desde el sistema de gestión centralizada del edificio.

4.5. Estructura de bajocubierta y Videomarcador

Por debajo de la estructura de la cubierta fija y colgando de ella se sitúa la estructura denominada de bajocubierta (figura 22), diseñada para alojar los elementos tecnológicos del estadio y dotada de pasarelas de mantenimiento para las mismas. Está formada por celosías metálicas de hasta 13m de altura colgadas de las cerchas principales y de rodadura (figura 23). En su diseño y dimensionamiento, fue necesario respetar las estrictas tolerancias y movimientos admisibles requeridos por el fabricante de la propia pantalla.

4.6. Envoltente de laminas de acero

El elemento distintivo del estadio es su nuevo concepto visual, totalmente alejado del original, materializado por una envol-

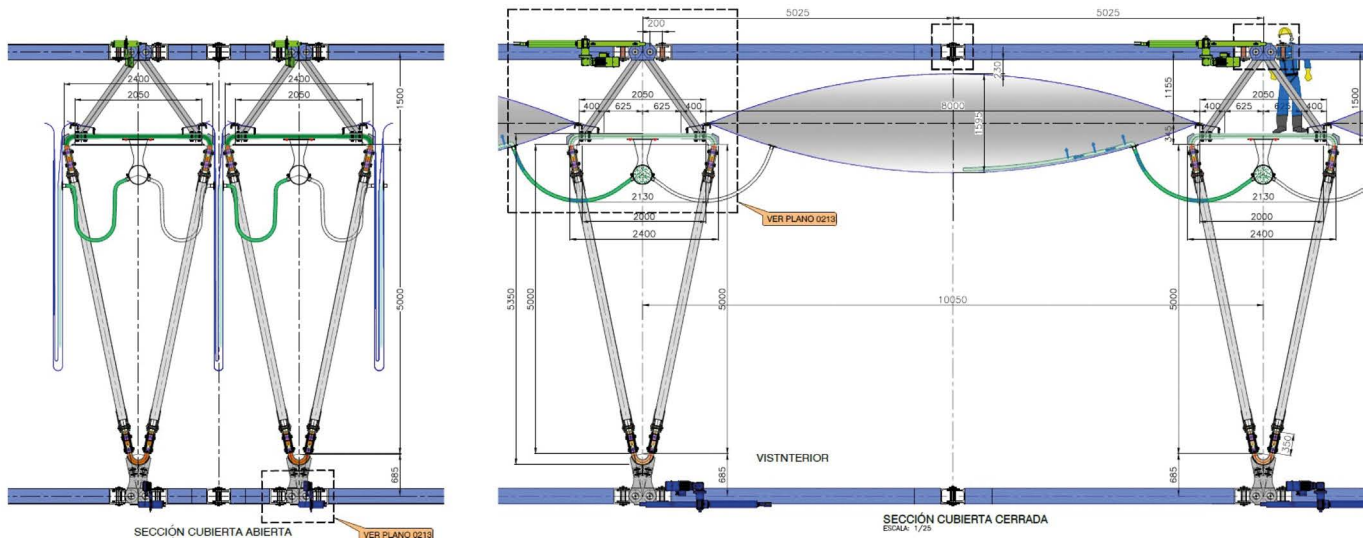


Figura 20. Sección vigas con cubierta recogida y desplegada.

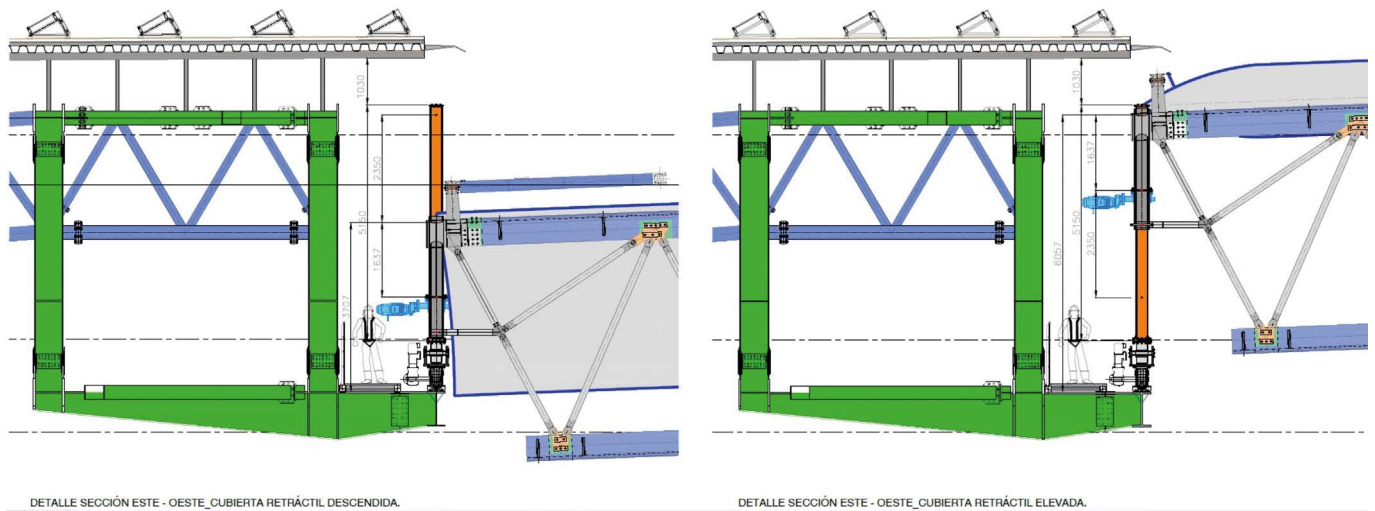


Figura 21. Sección apoyo con cubierta descendida e izada.

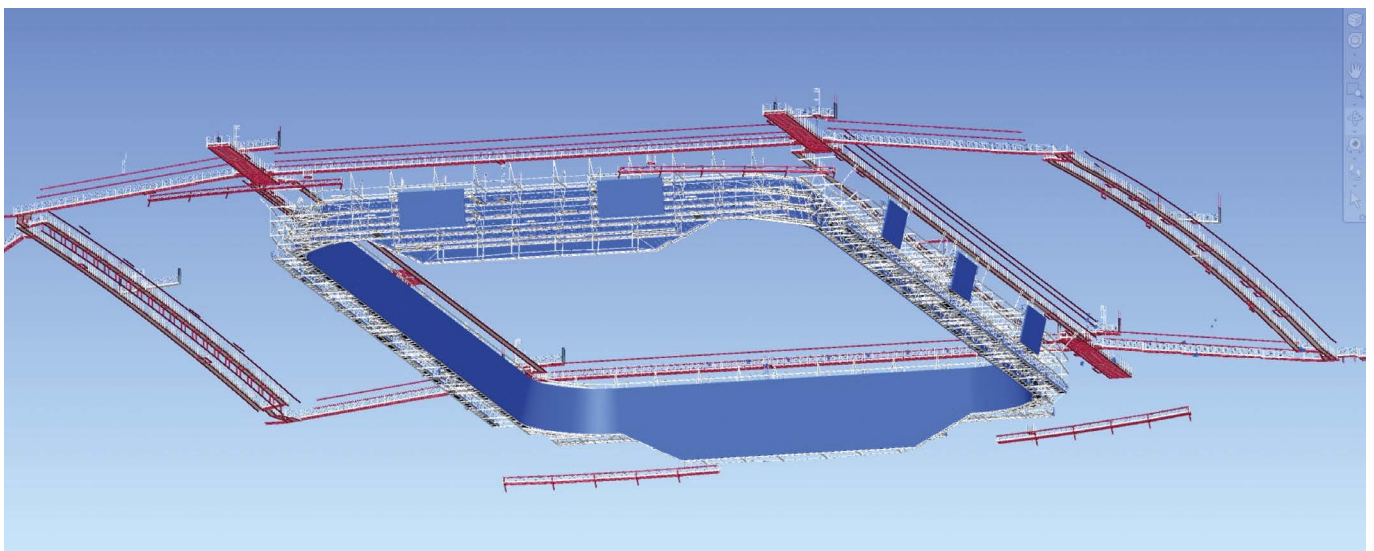


Figura 22. Estructura de bajocubierta.

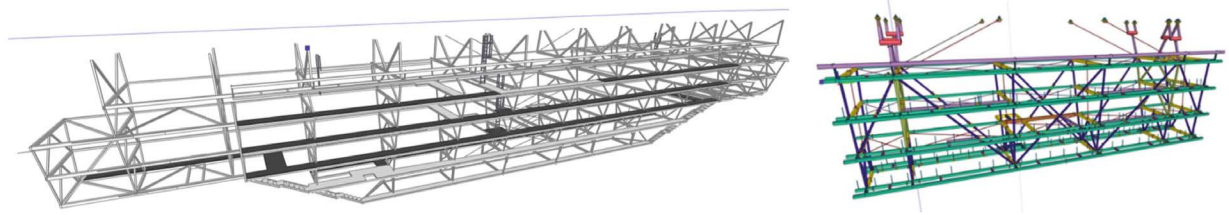


Figura 23. Celosías de bajocubierta.

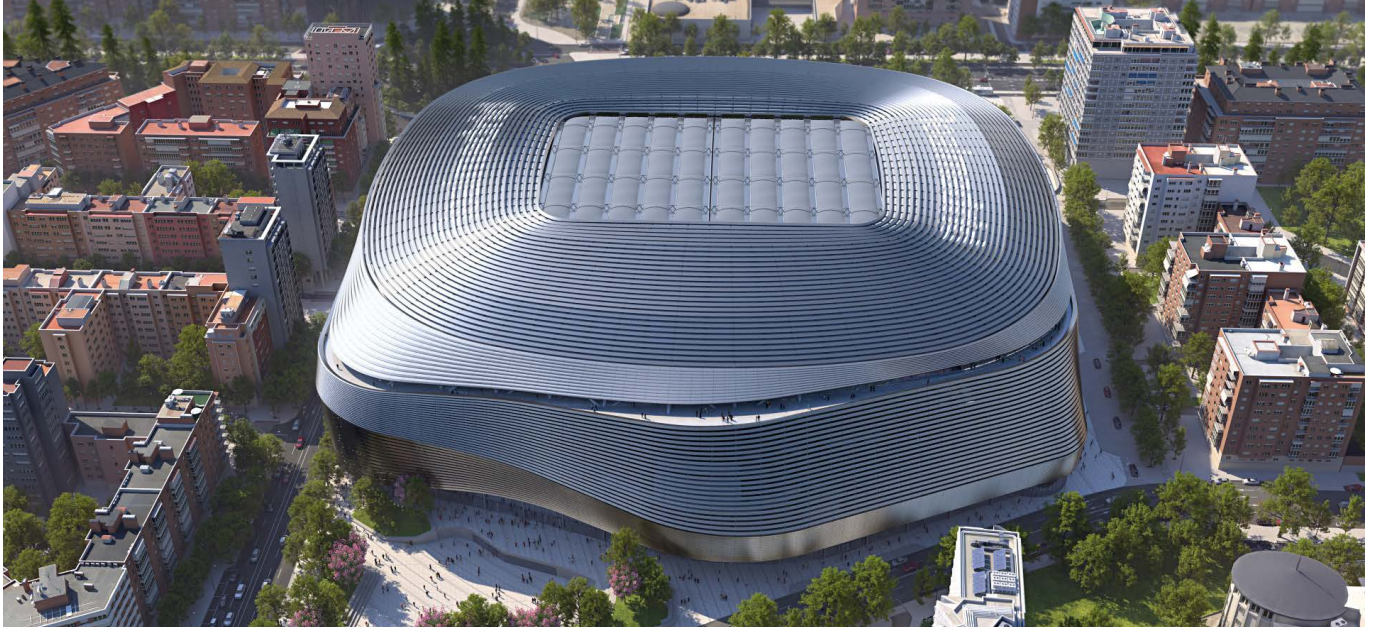


Figura 24. Vista aérea del estadio.

vente de lamas metálicas que genera un volumen que engloba la totalidad de las dependencias del estadio, nuevas y existentes, y le proporciona una personalidad que lo convierte en un icono urbano (figura 24).

Las lamas, que tienen sección en “V” formada por dos chapas, se extienden tanto por fachada como por cubierta, dando una imagen de continuidad solo interrumpida por el corte perimetral que supone el *Skywalk*. Las lamas son de chapa de acero inoxidable, con un tratamiento que le confiere una textura que reduce significativamente el nivel de reflejo, de forma que se evitan los problemas de posible deslumbramiento a los edificios de la zona y a los conductores que circulen por ésta.

No obstante, este tratamiento, se realizó un estudio de reflexiones en el que se analizaron los distintos reflejos provocados por la fachada en los puntos críticos de viviendas cercanas y también de vías públicas para asegurar, con los ajustes geométricos necesarios, la inexistencia de deslumbramientos a los usuarios de todas ellas.

Las más de 4.000 lamas de la cubierta, se apoyan sobre un cerramiento de aluminio tipo Kalzip que le confiere la estanqueidad necesaria, además de incorporar aislamiento acústico absorbente para mejorar las condiciones sonoras del recinto.

La geometría de líneas curvas y trazados variables de la fachada hace que la totalidad de las lamas sean distintas tanto en ancho como en ángulo de la “V”, requiriéndose un total de más de 28.000 chapas distintas para conformarlas.

En fachada, la envolvente se plantea como un elemento permeable para permitir la correcta iluminación y ventilación

interior del edificio, para lo cual se plantean espacios abiertos entre lama y lama que, desde el interior del edificio, permiten la visual del exterior sin suponer un contorno cerrado (figura 25).

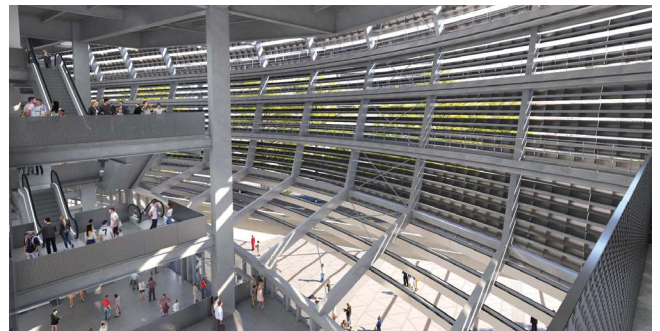


Figura 25. Vista interior de la envolvente.

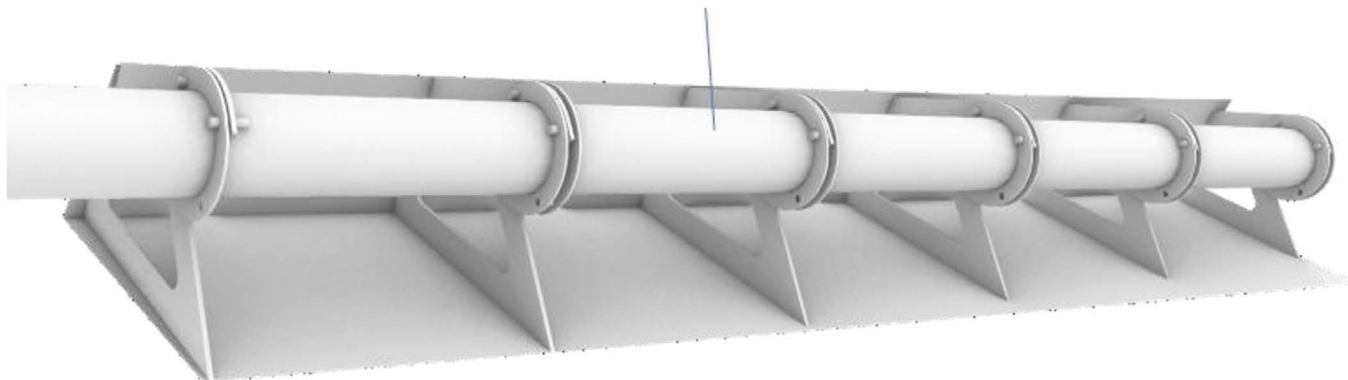


Figura 26. Lama tipo de fachada.

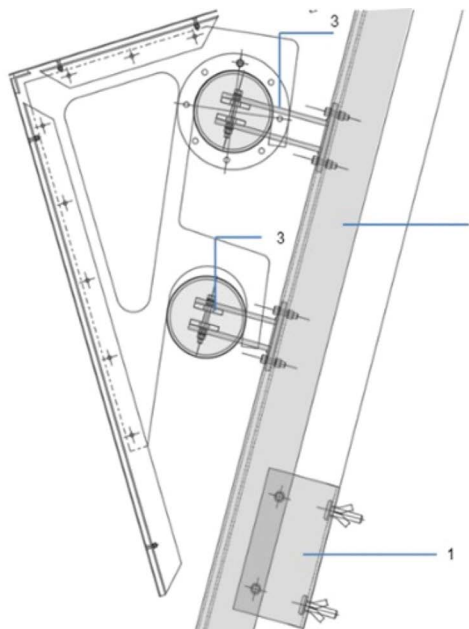


Figura 27. Lama de tubo doble.

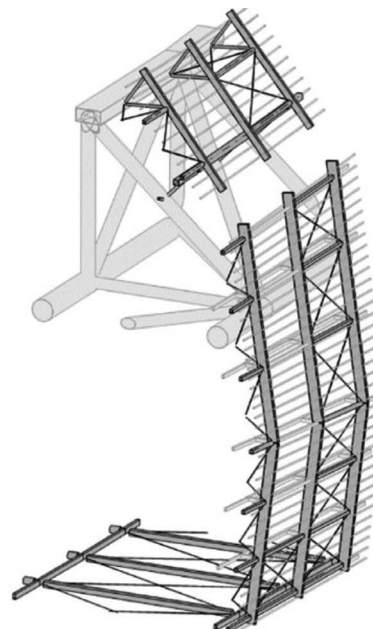


Figura 28. Subestructura de fachada.

Estructuralmente, las lamas de fachada están constituidas por un tubo de acero que le aporta la rigidez necesaria para soportar las correspondientes cargas de viento y trasladarlas a la estructura portante. A este tubo se fijan las chapas de acero inoxidable que la conforman mediante cuadernas de chapa de aluminio que aseguran la geometría deseada para cada una de ellas (figura 26).

Para las lamas de mayor tamaño, el concepto estructural es el mismo, pero con doble tubo, ya que el nivel de torsiones que se produce no es posible soportarlo con un único tubo. (figura 27)

Estos tubos se unen mediante anclajes rígidos a una subestructura soporte que la une al edificio.

Esta subestructura, para no sobrecargar la estructura original del edificio, transmite la totalidad de las cargas verticales de fachada a las nuevas estructuras de la cubierta, colgando de la viga corona en todo el perímetro del estadio, apoyándose en su parte inferior en las costillas de hormigón existentes, pero solo a efectos de viento. (figura 28)

Ese apoyo inferior de la subestructura de fachada conforma el sofito casi horizontal que rodea el edificio a modo de porche.

El hecho de que la fachada cuelgue de la viga corona y de que ésta esté dividida en 4 tramos estructuralmente distintos y con movimientos relativos entre ellos, implica la creación de juntas en la fachada, que se resuelven con lamas especiales articuladas y telescópicas de manera que desde el exterior se aprecie continuidad de la superficie.

Por encima del Sskywalk se sitúa la denominada fachada superior que forma una visera corrida sobre el paseo peatonal y que cierra contra la propia cubierta.

Para el diseño estructural de la fachada y la cubierta, y por extensión del resto del edificio se realizaron ensayos de túnel de viento con las distintas configuraciones de cubierta retráctil abierta y cerrada, así como la de las distintas fases de construcción (figura 29).

4.7. Galería logística y nuevo acceso a terreno de juego

Con el objetivo de mejorar la gestión logística del recinto, el proyecto recoge la creación de una galería perimetral al estadio, prácticamente al nivel del terreno de juego, que permita acceder desde el exterior de éste, a través del aparcamiento del nuevo edificio del este, a elevadores situados en las es-



Figura 29. Modelo de túnel de viento.

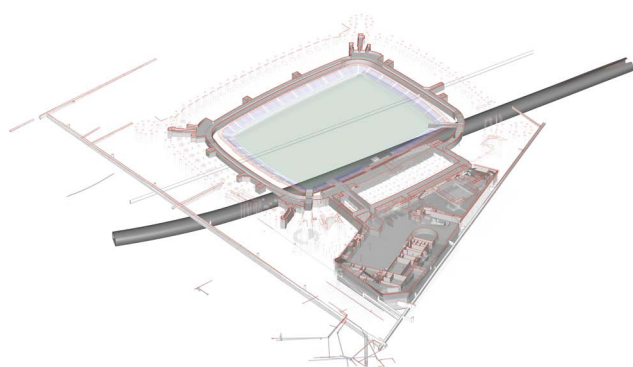


Figura 30. Galería logística y túnel de ADIF.

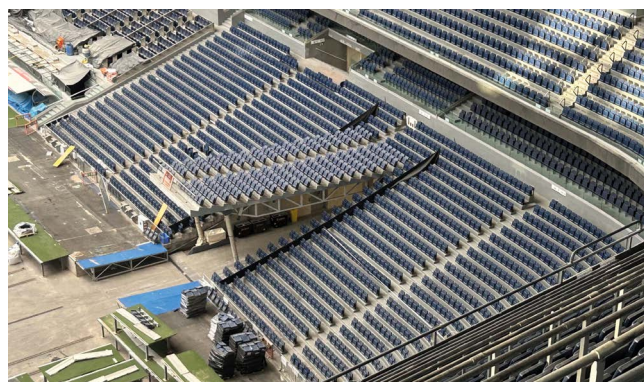


Figura 31. Grada abatible.

quinas del estadio, facilitando así la logística de eventos sin interferir en la operación.

El diseño de esta galería, ejecutada principalmente en “cut&cover” con pantallas de micropilotes y losa de hormigón, tiene una particularidad provocada por el hecho de que, bajo el estadio, y con muy poca cobertura, cruza el túnel ferroviario Atocha-Chamartín construido en la primera mitad del siglo pasado y que interfiere con su trazado y con las estructuras del estadio (figura 30). Para resolver esta interferencia, se adapta el trazado de la galería y se realizan estructuras independientes, tanto en la galería como en la grada afectada, para aislar el túnel con respecto a todos los elementos del estadio.

Desde esta galería se proyecta un nuevo acceso al terreno de juego ya que el que disponía el estadio no tenía capacidad suficiente. Este nuevo acceso, que permite la circulación de todo tipo de vehículos pesados que puedan ser necesarios para la operativa del estadio y de los posibles eventos a organizar, se produce a través de un tramo de grada abatible accionada mecánicamente, de manera que, una vez cerrado, tenga continuidad completa con la grada sin pérdida de aforo (figura 31).

4.8. Sistema automatizado de terreno de juego

La aportación tecnológica más novedosa entre las muchas que incorpora el estadio y que lo convierte, en conjunto con la cubierta retráctil, en un impresionante recinto multiusos, es el nuevo sistema automatizado del terreno de juego.

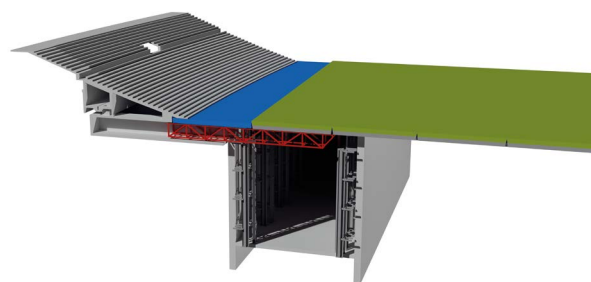


Figura 32. Situación Hipogeo.

Ideado y diseñado por la ingeniería española SENER, este sistema permite disponer a voluntad del espacio correspondiente al terreno de juego como tapiz de césped habitual para la competición futbolística o bien, en un plazo de unas pocas

horas, retirarlo a una cámara subterránea de mantenimiento situada bajo el propio terreno de juego (figura 32), conocida como Hhipogeo (figura 32), y realizar en el estadio cualquier evento (concierto, feria, etc.) sobre una superficie (solera de hormigón) adecuada para ello.

Para conseguirlo, el tapiz de césped queda instalado sobre 6 bandejas longitudinales móviles, ejecutadas con estructura metálica de 107x11,6 metros de superficie cada una que juntas configuran el terreno de juego de dimensiones oficiales, y que pueden ser introducidas en la cámara subterránea cuando no sea necesario disponer del césped en el terreno de juego. (figura 33)

Colocadas en modo de partido, estas bandejas de césped proporcionan una superficie de juego totalmente plana y continua, adecuada para partidos de competición sin que exista discontinuidad o resalte alguno entre las bandejas.

Dado que las bandejas disponen de sistemas propios de riego, drenaje, calefacción/refrigeración, etc. para el césped, éste puede ser perfectamente cuidado en su modo-partido, aunque no sea esta su posición habitual, que será aquella en la que el césped “viva” en el Hipogeo, donde dispondrá de los cuidados más exigentes totalmente aislado del devenir del estadio y de las condiciones atmosféricas.

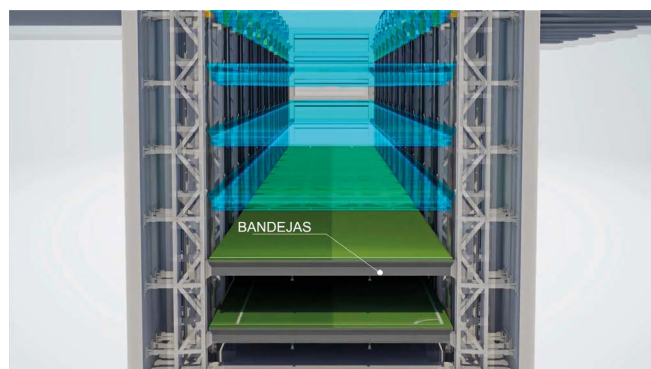


Figura 33. Sección por bandejas.

Esto se consigue mediante un sistema automatizado de movimiento de las bandejas, que combina un movimiento de traslación mediante carros eléctricos que discurren de manera sincronizada a lo largo de carriles embebidos en la solera bajo el terreno de juego, y otro de elevación mediante cilindros hidráulicos que permiten depositar las bandejas apiladas dentro del propio Hipogeo con una separación adecuada entre ellas para permitir tanto el acceso de personal como equipamientos agronómicos y, así, garantizar su adecuada conservación durante largos periodos de tiempo.

Una vez introducidas las bandejas en el Hipogeo (modo evento) el hueco se cierra con una tapa estructural que completa la superficie utilizable para la realización de todo tipo de eventos. Esta tapa, en modo partido y durante la operación del sistema se guarda en un alojamiento bajo la grada baja del oeste.

El sistema mecánico incluye también unas celosías retráctiles que recogidas permiten el paso vertical de las bandejas, y en posición desplegada dan continuidad a los carriles de guiado de los carros de traslación horizontal (figura 34).

Tanto la tapa en modo evento, como la bandeja de césped nº6, que, apoyada sobre las vigas retráctiles, cierra la caverna

en modo partido, requieren un elevado nivel de rigidez para evitar que en su utilización se puedan producir vibraciones indeseadas.



Figura 34. Celosía retráctil.

Para alojar todo el sistema se diseñó una caverna situada bajo el terreno de juego de unos 132 metros de longitud por 20 metros de ancho y 26 metros de profundidad, ejecutada mediante pantallas continuas de hormigón. Dado que las bandejas necesitan poder moverse en vertical por el interior del Hipogeo, no es posible disponer acodalamientos entre pantallas, por lo que la estabilidad de éstas se confía a anclajes pretensados al terreno de carácter permanente. (figura 35)

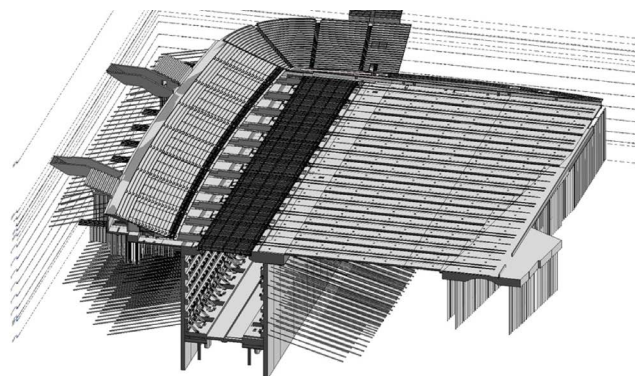


Figura 35. Losa de carriles y anclajes pantallas Hipogeo.

Esta caverna, aparte del espacio propio para alojar las bandejas, dispone de espacios para todos los equipos electromecánicos necesarios para la adecuada conservación del césped.

Ello incluye, como se ha mencionado anteriormente, equipos de iluminación de crecimiento (ubicado en la parte inferior de cada bandeja), riego, fertirrigación, tratamiento UV, tratamientos por concentración de gases, control mediante sensores y cámaras térmicas y multiespectrales, etc, así como equipos de climatización que consigan mantener las condiciones idóneas de humedad y temperatura para el mantenimiento del césped y, en el momento en el que sea necesario sacar las bandejas para un partido, hacer una transición suave de condiciones climáticas para igualar con el exterior y evitar posibles choques térmicos que le afecten.

4.9. Adecuación espacios existentes y refuerzos estructurales

Una reforma tan ambiciosa como la que se ha llevado a cabo debe incluir todo tipo de mejoras en la experiencia del espec-

tador, lo que implica actuar, no solo sobre los nuevos espacios creados tras la reforma, sino también sobre todo el antiguo edificio, en el que hay que actualizar en consonancia.

Ello implica actuaciones diversas que incluyen nuevas butacas abatibles en los graderíos, mejoras de visibilidad, mejoras de circulaciones y evacuación, nuevos palcos y zonas de atención VIP, nueva área de prensa, nuevas áreas comerciales y de restauración, un nuevo Museo ampliado y mejorado..., todo ello con el máximo cuidado estético y de calidades de acabado. (figura 36 e figura 37)

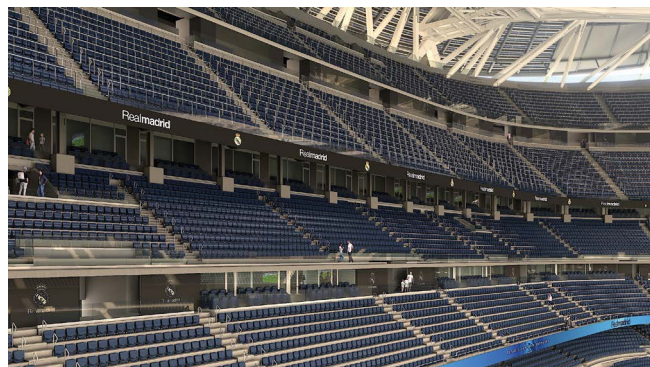


Figura 36. Propuestas acabados bowl y atrio del este.

Estos nuevos usos previstos para los distintos espacios del estadio han supuesto también nuevos materiales de acabado que producen cargas adicionales a las previstas en proyecto original y han requerido en muchos casos refuerzos estructurales de los forjados para soportar esas nuevas cargas aplicadas de uso y acabados (figura 38).

Para la determinación de la necesidad y alcance de los refuerzos ha sido necesario realizar un análisis de toda la estructura previa del estadio, tanto la original de 1947 como la de las distintas actuaciones realizadas posteriormente. Este análisis ha implicado importantes estudios de caracterización dimensional y de materiales, más teniendo en cuenta, especialmente para los primeros trabajos de construcción del estadio, que ni los volúmenes de suministros, ni la uniformidad de características de estos, estaban asegurados durante la construcción, lo que llevaba a que zonas previsiblemente iguales por diseño no estuvieran originalmente resueltas completamente de la misma manera.



Figura 37. Propuestas de acabados interiores varios (135).



Figura 38. Losa reforzada con bandas de fibra y viga reforzada con estructura metálica.

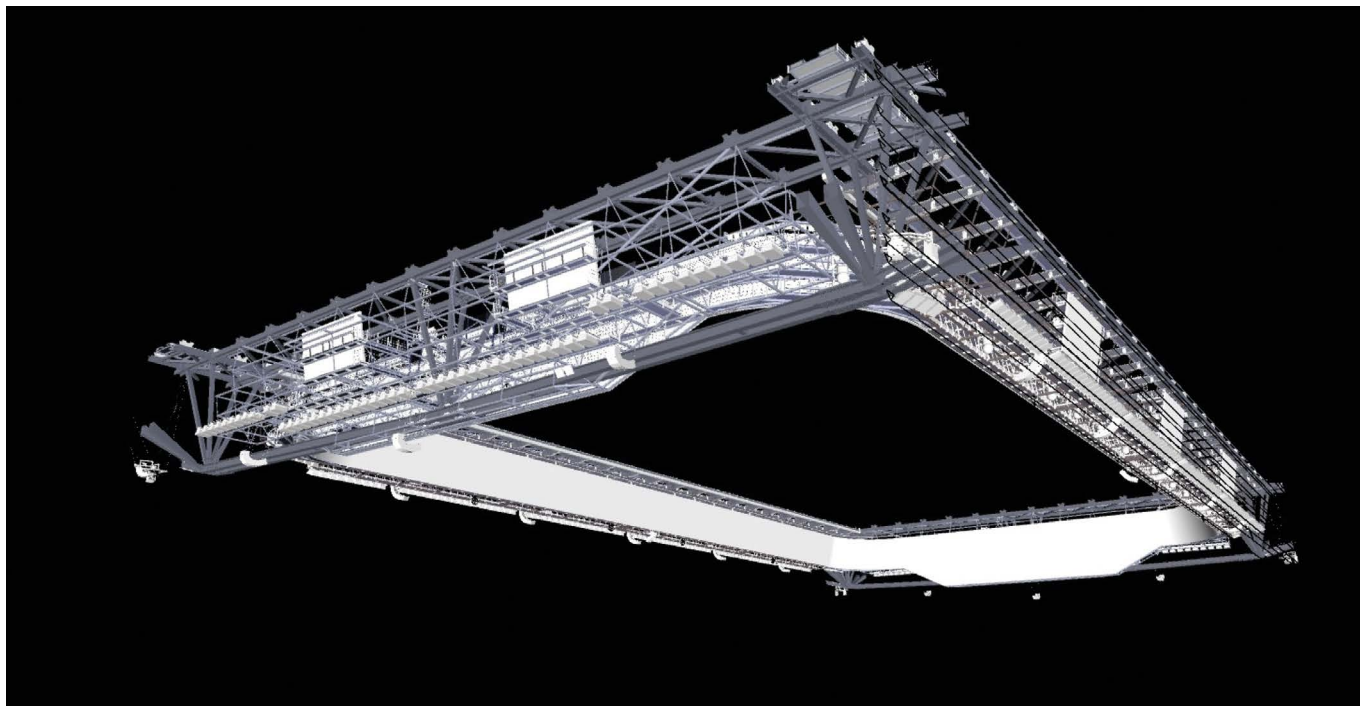


Figura 39. Videomarcador 360°.

Los refuerzos que, tras los estudios específicos, resultaron finalmente necesarios, se plantearon, dependiendo de la necesidad específica y la localización, con tipologías diversas: refuerzos metálicos, recrecidos de hormigón, aplicación de bandas de fibras de carbono, etc., llegando en algunos casos extremos a la demolición y reconstrucción de la zona cuando no se alcanzaban propuestas razonables de diseño con aprovechamiento de la estructura existente.

4.10. Nuevas instalaciones y equipamiento tecnológico

Acompañando a toda la reforma arquitectónica, se han renovado y mejorado todas las instalaciones electromecánicas del estadio, incluyendo una nueva iluminación LED del terreno de juego, calefacción de graderíos, climatización de áreas cerradas etc.

También se han mejorado las redes de instalaciones tecnológicas y de comunicaciones, con una amplia red de fibra óptica que da servicio a antenas de telefonía móvil y a una red Wi-Fi propia del estadio.

Dentro del nuevo equipamiento tecnológico destaca el nuevo videomarcador del que se dota al estadio. El video marcador, que cuelga de las cerchas de cubierta siguiendo el perímetro de la cubierta retráctil, está compuesto por una pantalla 360° de más de 6 metros de altura y dos pantallas principales en fondos de 11 metros, con un total de 3.100 m² de pantalla LED de alta definición (figura 39).

Se complementa con diez pantallas traseras de 9x5 metros para dar servicio a las gradas más altas que no tiene visibilidad suficiente de la pantalla 360°.

5.

EL RETO DEL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN

El desarrollo del diseño de semejante programa arquitectónico y su materialización en la realidad de la obra no es tarea sencilla. Más si se tiene en cuenta que se debe ejecutar en modo “fast track”, en el que la producción del diseño es seguida de manera inmediata por la ejecución en obra.

Además, los condicionantes logísticos de la obra, por una parte, por el hecho de situarse en el centro de una gran ciudad, con sus problemas de espacio, de tráfico, etc., y por otra, por el hecho de que la ejecución de las obras se debería simultanear con la utilización del estadio, que se preveía activo para la celebración de partidos durante toda la duración de los trabajos, imponen formas de ejecución que complican la realización de una estructura mucho más cercana a las grandes obras civiles que a las tradicionales obras de edificación.

Bien es verdad que la aparición de la pandemia debida al COVID19 trastocó las previsiones de todos, lo que permitió que durante bastantes meses no se celebraran partidos, y mejoró esos condicionantes, por el contrario, aparecieron las restricciones de movilidad y médicas que contrarrestaron esa mejora. Pero también permitió que se pudiera ejecutar un elemento, no previsto al inicio de los trabajos, como es el sistema automatizado de terreno de juego, ejecución que, en la posición actual, hubiera sido del todo incompatible con la celebración de partidos.

Desde el momento de la adjudicación del contrato, se puso en marcha un muy extenso equipo técnico, tanto de diseño como de ejecución, para desarrollar, a partir del mencionado diseño referencial, un proyecto adaptado a procedimientos de ejecución a la altura del reto técnico y arquitectónico que supone la reforma del estadio.



Figura 40. Izados con grúa de gran tonelaje y *heavy lifting*

Dirigido por los SSTT de FCC, que a su vez desarrollaron las partes más comprometidas de la estructura (cubiertas fija y retráctil, etc.), fue necesaria la colaboración de numerosos equipos externos de diseño tanto de arquitectura como de estructura e instalaciones. También se contó con el apoyo especializado de los talleres encargados de la ejecución de la estructura metálica y de la fachada de lamas.

El volumen y la complejidad del trabajo desarrollado se refleja en el hecho de que ha sido necesario desarrollar más de 65.000 planos y documentos para la correcta definición de las distintas actividades a ejecutar.

En el diseño fue clave la utilización de las nuevas tecnologías de digitalización, desarrollándose un conjunto de modelos BIM, del estadio completo y de todas las disciplinas, que contiene la totalidad de la información necesaria para la ejecución de la obra y posteriormente para la etapa de explotación y mantenimiento.

A lo largo de los distintos artículos que componen este número monográfico, se mostrarán en detalle las soluciones de proyecto y los procedimientos constructivos que ha sido necesario desarrollar para la obra, y que han dejado imágenes muy pocas veces vistas en pleno centro de una ciudad.

Movimientos de grandes pesos con grúa de alto tonelaje, elevaciones mediante técnicas de *heavy lifting* (figura 40), ripados de conjuntos estructurales de más de 2.500 toneladas a lo largo de más de 100 metros, todo ello bajo la atenta mirada de los transeúntes y de reporteros de las redes sociales, que han ido transmitiendo la obra prácticamente en directo durante todo su desarrollo.

También hubo otros "invitados" no deseados durante la ejecución de los trabajos, como la tormenta invernal Filomena que, aparte de muchas complicaciones, nos dejó imágenes para el recuerdo (figura 41).



Figura 41. El estadio en obras cubierto de nieve.

6. CONCLUSIONES

En este artículo hemos querido hacer una introducción descriptiva de lo que ha sido la gran reforma llevada a cabo en el Estadio Santiago Bernabéu y que, en sus aspectos estructurales más destacados, se describe en detalle en el resto de los artículos del presente número monográfico.

El resultado final es un estadio extraordinario, con trascendencia mucho más allá de nuestras fronteras. Un recinto



Figura 42. Vista exterior del estadio acabado.

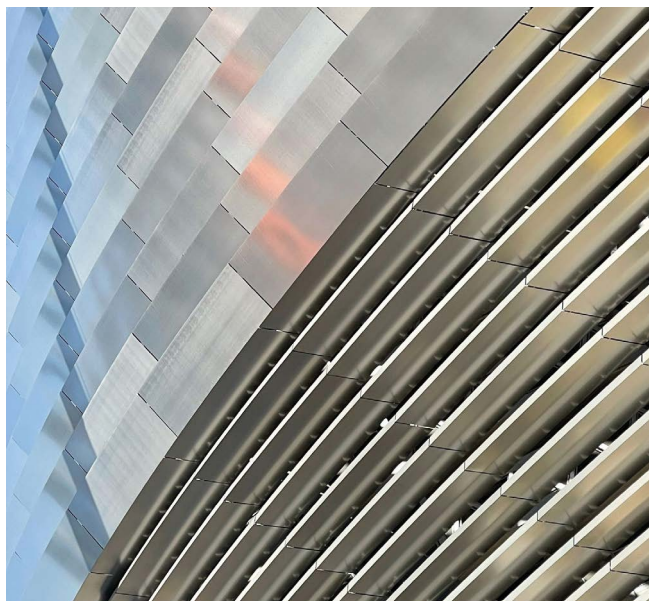


Figura 43. Detalle exterior de fachada.

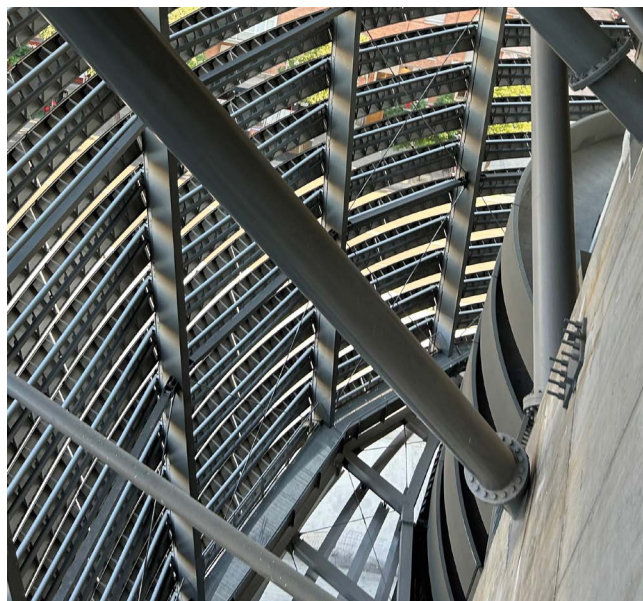


Figura 44. Detalle interior de fachada.



Figura 45. Vista interior de la cubierta retráctil.

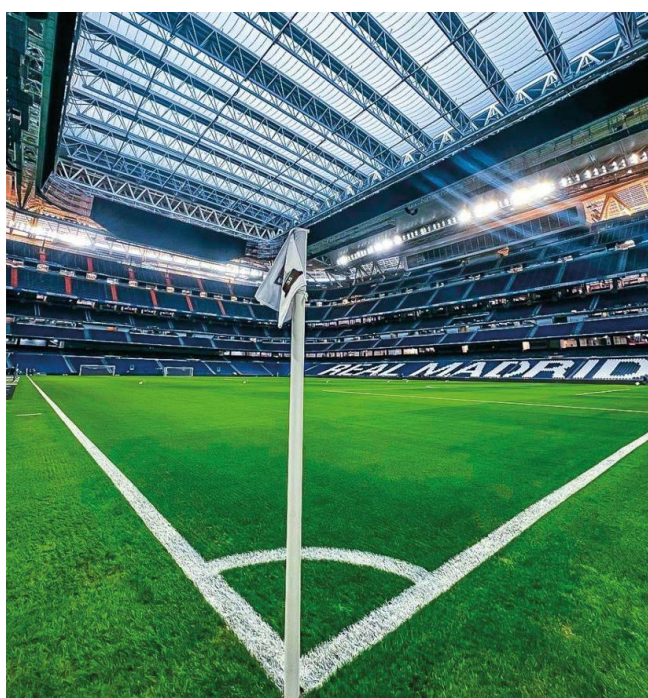


Figura 46. Vista interior del estadio con la cubierta cerrada.

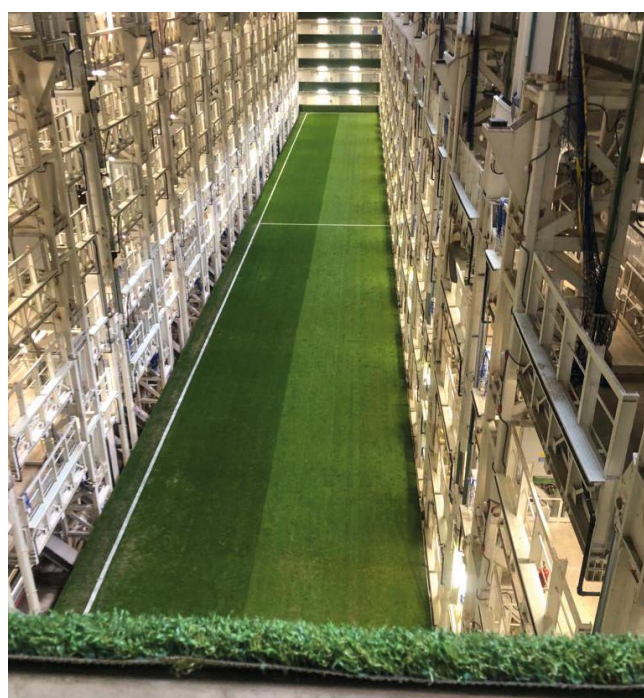


Figura 47. Vista interior del Hipogeo.

deportivo admirado y envidiado en muchos lugares del mundo, todo ello en un contenedor que ha supuesto retos estructurales de primer nivel (figura 42 a figura 47).

Con ello, el Real Madrid C.F. dispone de unas instalaciones multiusos en el centro de Madrid, con una capacidad para más de 80.000 espectadores que además se ha convertido en uno de los principales centros de atracción turística de la ciudad, sumando miles de visitas diarias para conocer sus instalaciones y su museo.

Todo ello es producto del esfuerzo de un numeroso equipo de técnicos y operarios que han hecho posible la creación de un icono del Madrid del siglo XXI.

7.

FICHA TÉCNICA

7.1. Equipo Técnico

Promotor: REAL MADRID C.F.

Diseño Conceptual: L35, GMP, Ribas&Ribas

Dirección Facultativa y Revisión de diseño; Project Management: AYESA; BOVIS-CBRE

Diseño Constructivo y Proyecto de Ejecución:

- Dirección de Proyecto: FCC CONSTRUCCIÓN
- Proyecto de Arquitectura: TYPESA

- Proyecto de estructura: FCC CONSTRUCCIÓN
- Proyecto de Fachada: ARUP
- Proyecto de instalaciones: FCC INDUSTRIAL

7.2. Datos de la obra

Datos del edificio:

- Superficie total 124000 m²
- Numero de plantas 16
- Altura máxima sobre calle – 57 m
- Altura máxima sobre terreno de juego – 65 m

Volúmenes principales de obra:

- Excavación – 320.000 m³
- Residuos limpios de demolición – 74.000 m³
- Hormigón – 115.000 m³
- Acero corrugado – 12.000 t
- Acero estructural – 32.300 t
- Micropilotes – 60.000 m
- Banda de fibra de carbono en refuerzos – 41.000 m
- Acero inoxidable en fachada – 45.000 m²

Referencias

- [1] Fuente Fondos documentales propios del Real Madrid C.F.
- [2] HUARTE y Cia, Construcciones n°11, (1947) Ed. Tipografía Artística
- [3] Carlos Fernández Casado, Estructuras de edificios (1955) Ed. Dossat
- [4] Sesión Crítica de Arquitectura, Ampliación del Estadio Bernabéu en Madrid (1955) Revista Nacional de Arquitectura n°159
- [5] L. Alemany, R Alemany, M. Salinas, PJ Blanco, Remodelación del Estadio Santiago Bernabéu (1981) Informes de la Construcción
- [6] José Fernández Álvarez, Ampliación del estadio Santiago Bernabéu. Equilibrio en el aire (1994) Cauce 2000 n°61
- [7] Estudio Lamela - Ampliación del estadio Santiago Bernabéu (2004) <https://www.lamela.com/proyectos/ampliacion-del-estadio-santiago-bernabeu/>
- [8] Número especial N° 281 – (Octubre 1973) – Revista Real Madrid
- [9] Arquitectura Viva, El nuevo estadio del Real Madrid, Un negocio Icónico (28/02/2014) <https://arquitecturaviva.com/articulos/el-nuevo-estadio-del-real-madrid>
- [10] Arch Daily, Transformación del estadio Santiago Bernabéu (2024) <https://www.archdaily.cl/cl/1019165/transformacion-del-estadio-santiago-bernabeu-gmp-architects>