

INNOVACIÓN EN LA REMODELACIÓN DEL ESTADIO SANTIAGO BERNABÉU

Oscar Liébana Carrasco^{1,2}, Jose Luis Sánchez Martín²

¹ Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas, UPM, Madrid, España, oscar.liebana@upm.es

² FCC Construcción, Madrid, España, oscar.liebana@fccco.com; jlsanchez@fcc.es

Resumen

La remodelación del Estadio Santiago Bernabéu, ejecutada por FCC Construcción en un proyecto de Diseño y Construcción en fast-track, ha transformado un edificio con más de ocho décadas de historia, situado en pleno centro de Madrid, en un estadio modelo del siglo XXI manteniendo su actividad deportiva durante toda la obra. La intervención integra varias innovaciones de alto nivel internacional: una cubierta fija completa montada sobre cuatro apoyos nuevos que recoge las cargas de las estructuras móviles y de la fachada sin transmitir las al edificio histórico; una cubierta retráctil con dos conjuntos de seis cerchas híbridas de 72,5 m, cordones de composite (fibra de vidrio y carbono), diagonales de acero y cinco cojines hinchables de PTFE, capaz de cerrar el óculo del campo; un sistema automatizado del terreno de juego con una cámara hipogea de más de 26 m de profundidad, bandejas estructurales móviles y reconstrucción de la grada oeste en voladizo, que preserva el césped natural en uso multifuncional; una grada abatible mecanizada que habilita un nuevo acceso pesado al terreno de juego; y una envolvente tridimensional de más de 13.000 lamas únicas, cuya geometría se ha generado mediante algoritmos paramétricos que incorporan deslumbramiento, ventilación, movimientos en juntas y dilataciones térmicas. La seguridad frente a los incrementos de carga sobre la cubierta se ha recuperado mediante Dispositivos de Acción Controlada (DAC): cilindros hidráulicos con acumuladores hidroneumáticos que permiten absorber del orden de 800 toneladas adicionales sobre la cubierta. El conjunto demuestra que un estadio icono del siglo XX puede convertirse en referencia internacional de los estadios urbanos del siglo XXI, integrando alta tecnología en una rehabilitación respetuosa con el medioambiente, el entorno urbano y la sociedad.

Palabras Clave: rehabilitación de estadios, estructuras móviles, fachada paramétrica, dispositivos de acción controlada, BIM.

1 Introducción

La remodelación del Estadio Santiago Bernabéu, ejecutada por FCC Construcción, constituye una de las intervenciones de rehabilitación más ambiciosas realizadas sobre una infraestructura deportiva en uso. El estadio deportivo ha evolucionado de recinto exclusivamente deportivo a infraestructura compleja y multifuncional, consolidándose como icono urbano y motor económico. La creciente demanda de versatilidad ha evidenciado las limitaciones de las configuraciones rígidas. Los sistemas de cubiertas retráctiles y césped móvil destacan como soluciones clave, posibles gracias al avance de la ingeniería estructural y los sistemas de accionamiento. Su implementación incrementa la adaptabilidad y rentabilidad del estadio, redefiniéndolo como infraestructura dinámica y tecnológicamente avanzada [9, 10, 11, 12].

La obra ha transformado un recinto inaugurado en 1947 (uno de los iconos urbanos y deportivos del siglo XX) en un estadio multifuncional preparado para operar todos los días del año, sin renunciar a su identidad ni a su emplazamiento en el centro urbano consolidado del Paseo de la Castellana de Madrid [1]. La comunicación se enmarca en la sesión “Edificación y rehabilitación: procesos innovadores respetuosos con el medioambiente y la sociedad” del IC2, y aborda cómo la integración de un conjunto de innovaciones tecnológicas únicas en el panorama internacional ha sido posible respetando un edificio histórico, su uso continuado durante las obras y un entorno urbano sensible.

La intervención reúne tres complejidades simultáneas. En primer lugar, la propia de toda rehabilitación: trabajar sobre estructuras existentes, con información parcial, geometrías heredadas y limitaciones de capacidad que exigen soluciones específicas en cada interfaz [1, 6]. En segundo lugar, la asociada a la ejecución en un emplazamiento singular del centro de Madrid, manteniendo la actividad deportiva durante la obra, con accesos restringidos, gestión logística urbana, control acústico y de polvo y coordinación con vecindario y servicios urbanos. En tercer lugar, la derivada de un contrato de Diseño y Construcción ejecutado en modalidad fast-track, con producción de diseño y fabricación solapadas, iteraciones continuas, cambios programáticos del cliente y ajustes a la geometría real medida con escáner 3D [1, 7].

Sobre esta base, FCC Construcción ha incorporado y coordinado una capa de innovación tecnológica e ingenieril singular en el panorama internacional: una cubierta fija sobre cuatro apoyos que no afecta al estadio existente, una cubierta retráctil con cerchas híbridas y cojines de PTFE, un sistema automatizado del terreno de juego con hipogeo, una grada abatible mecanizada para acceso pesado al campo, una fachada de más de 13.000 lamas de generación algorítmica a partir de diferentes escenarios y requisitos, y Dispositivos de Acción Controlada (DAC). Esta capa innovadora ha permitido reducir afecciones al entorno, acelerar plazos y consolidar un modelo replicable de estadio urbano del siglo XXI, en el que la rehabilitación de un icono se compatibiliza con la ingeniería más avanzada. Comprendiendo, además, que trabajamos sobre un sistema complejo, en los que diferentes elementos de innovación y su funcionamiento afectan a otras partes del edificio y entre ellos, representando un punto de inflexión en la forma de entender y gestionar los procesos de diseño, fabricación, montaje y operación.



Figura 1. Vista exterior este del Estadio Santiago Bernabéu en construcción en un entorno urbano, mostrando la fachada tridimensional de lamas y la subestructura que cuelga de la cubierta.

2 Rehabilitación en uso en un entorno urbano sensible

2.1 Un icono del siglo XX como punto de partida

El Estadio Santiago Bernabéu, inaugurado en 1947 y ampliado a lo largo de más de setenta años, llegó a la presente remodelación como uno de los iconos urbanos y deportivos del siglo XX. La intervención no parte de un edificio “neutro”, sino de un recinto consolidado, con estructuras de hormigón armado y pretensado de distintas épocas, cimentaciones heredadas y un comportamiento estructural condicionado por soluciones constructivas previas [1, 6]. Cualquier nueva carga (cubierta fija, retráctil, hipogeo, fachada y MEP) debe ser cuidadosamente evaluada para no comprometer la seguridad del edificio existente. La estrategia adoptada ha sido descargar al edificio histórico de las nuevas solicitaciones,

transfiriendo las cargas a una nueva subestructura y a cuatro apoyos perimetrales [1], preservando el papel del estadio antiguo como soporte arquitectónico, deportivo y simbólico de la operación.

2.2 Compatibilidad con el uso deportivo y la trama urbana

La condición de rehabilitación en uso ha sido determinante en todas las fases del proyecto. El estadio ha mantenido su actividad como sede del Real Madrid C. F. durante prácticamente todas las obras, lo que ha obligado a planificar la ejecución por fases, secuencias y ventanas temporales compatibles con el calendario deportivo, así como a diseñar interfaces seguras entre las zonas en obra y las zonas en explotación. La logística se ha desarrollado en pleno centro de Madrid, con accesos restringidos por las calles del entorno y necesidad de minimizar afecciones al tráfico, al transporte público y a los usos colindantes. La industrialización en taller, el ensamblaje por módulos prefabricados, los izados de grandes piezas (heavy lifting) y los montajes por voladizos sucesivos han reducido la duración de los trabajos críticos in situ, limitando ruido, polvo y operaciones en altura sobre la ciudad.

Este planteamiento se traduce en una intervención más respetuosa con el medioambiente urbano: menor número de viajes de transporte por unidad instalada, mayor control de residuos en taller, menor desperdicio de materiales y mejores condiciones de seguridad y salud para los operarios. La integración temprana de la metodología BIM (con coordinación bajo ISO 19650 y entornos comunes de datos), sobre nubes de puntos actualizadas continuamente mediante escáner 3D y LiDAR, ha permitido coordinar geometrías heredadas con elementos nuevos, anticipar interferencias y optimizar el uso de materiales [6].

2.3 FCC Construcción en Diseño y Construcción fast-track

Una dimensión decisiva del proyecto es la capacidad del contratista principal para integrar este nivel de innovación en un contrato de Diseño y Construcción ejecutado en modalidad fast-track. En este esquema, la producción de diseño no precede a la obra: se solapa con la fabricación y el montaje, lo que exige iteraciones constantes, gestión ordenada de cambios y disciplina BIM (Building Information Modeling). FCC Construcción ha desplegado una organización capaz de absorber los requisitos cambiantes del cliente (programa multifuncional, conciertos, palco, hospitality, niveles de servicio) y ajustarlos a la geometría real del estadio existente, levantada con escáner 3D conforme avanzaba la propia ejecución.

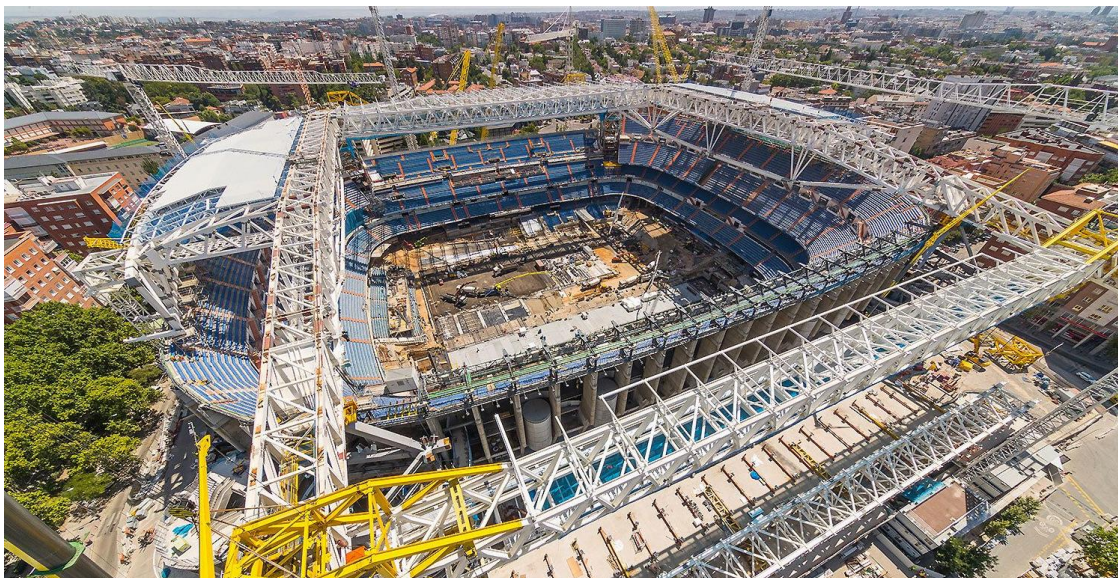


Figura 2. Montaje por izado (heavy lifting) de celosías de la cubierta fija, ejecutado en pleno centro de Madrid sin interrumpir el uso del estadio.

El resultado es un proceso iterativo en el que los modelos de diseño, fabricación y servicio coexisten dentro de la misma etapa, cada uno con su nivel de detalle (modelos contraflechados de fabricación con tolerancias y secuencia de montaje, modelos de servicio para coordinación con MEP y arquitectura). Esta coexistencia, lejos de ser una duplicidad, refleja que en estos proyectos la coordinación no es lineal: cualquier ajuste se propaga simultáneamente a geometría, envolventes, costes, tiempos y estrategia de montaje. Este enfoque, que combina principios de gestión ágil y filosofía lean con metodología BIM, ha sido decisivo para sostener el ritmo fast-track sin comprometer la calidad ni la seguridad del conjunto.

3 La cubierta fija sobre cuatro apoyos como pieza articuladora

La pieza estructural que articula todo el conjunto es una cubierta fija completa, de gran luz, montada sobre cuatro apoyos nuevos (Figura 3). Esta cubierta cumple varias funciones simultáneas: cubre arquitectónicamente el estadio, recoge las cargas de la cubierta retráctil que se aloja debajo y se sella contra ella en posición cerrada, soporta las costillas suspendidas de la fachada de lamas y aloja las instalaciones asociadas a las estructuras móviles [1, 2]. Su esquema resistente, esquema isostático y descargado sobre cuatro apoyos, evita transmitir las nuevas cargas al edificio antiguo y permite una rehabilitación respetuosa con el estadio histórico.

Las vigas trianguladas híbridas, con aceros S355, S460 y S690, se prefabrican en taller y se ensamblan in situ mediante uniones atornilladas, con operaciones de heavy lifting y montaje por voladizos sucesivos [1]. La envolvente se resuelve con dispositivos telescópicos con junta cardan y casquillos de polietileno que absorben dilataciones, garantizando una piel continua que acompaña los movimientos térmicos y operativos del conjunto. La trazabilidad geométrica de los apoyos, mediante escáner 3D y nubes de puntos coordinadas, ha permitido cerrar la interfaz entre la cubierta nueva y la estructura existente con las tolerancias requeridas por los sistemas móviles, condición indispensable para el correcto funcionamiento de cubierta retráctil, fachada e hipogeo.

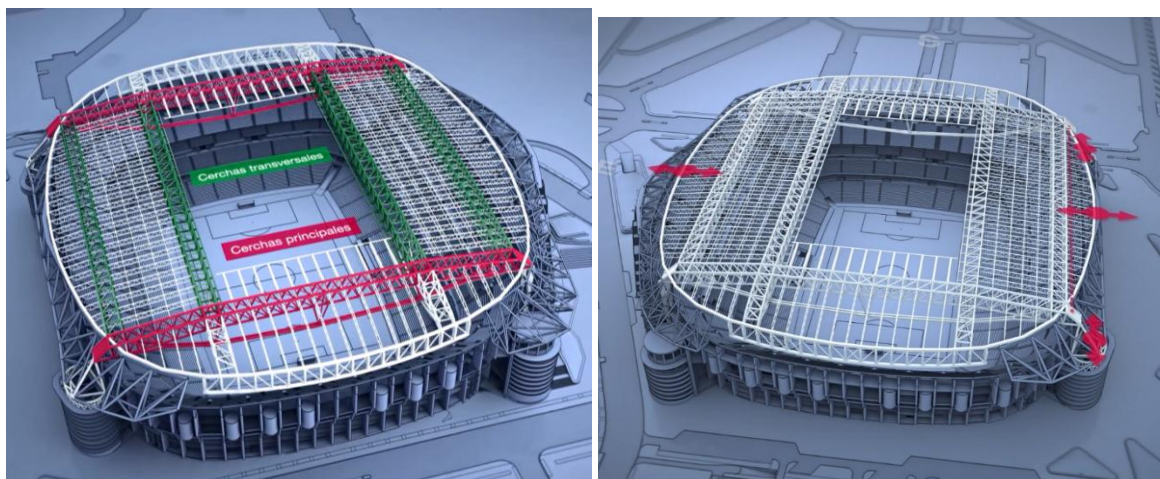


Figura 3. Esquema axonométrico de la cubierta fija sobre cuatro apoyos y esquema de funcionamiento frente a cargas verticales y horizontales.

4 Estructuras móviles incorporadas

La evolución del estadio deportivo hacia un equipamiento multifuncional ha consolidado el movimiento como recurso arquitectónico y operativo. En el Bernabéu confluyen, de manera simultánea y coordinada,

tres familias de estructuras móviles: la cubierta retráctil, el sistema automatizado del terreno de juego con hipogeo y las gradas abatibles. Su integración constituye una de las aportaciones más singulares del proyecto en el panorama internacional.

4.1 Cubierta retráctil

La cubierta retráctil (Figura 4) cierra completamente la cubierta sobre el terreno de juego, permitiendo climatizar y proteger el espacio interior. Está formada por dos conjuntos de seis cerchas de 72,5 m de luz, con cordones híbridos en sándwich de composite (fibra de vidrio y carbono) y diagonales de acero, que portan cinco cojines hinchables de PTFE [2]. Los accionamientos combinan, de forma secuencial, una traslación horizontal, un despliegue y una elevación final que sella la cubierta retráctil contra la cubierta fija. Todo el sistema (movimiento horizontal, vertical e inflado) está automatizado y controlado desde la gestión centralizada del edificio.

La combinación de materiales innovadores y conexiones únicas requirió pruebas y ensayos específicos para la puesta a punto del conjunto. Los desplazamientos de la cubierta y el inflado de los cojines generan deformaciones globales relevantes, del orden de 40 cm, en las fachadas norte y sur del estadio, que han condicionado el diseño de la envolvente de lamas, sus juntas de movimiento, el sistema de recogida de aguas y las pasarelas asociadas. La cubierta retráctil se proyecta como un sistema integrado, no como un mecanismo aislado: su comportamiento es parte del cálculo de la cubierta fija, de la fachada y de las instalaciones.

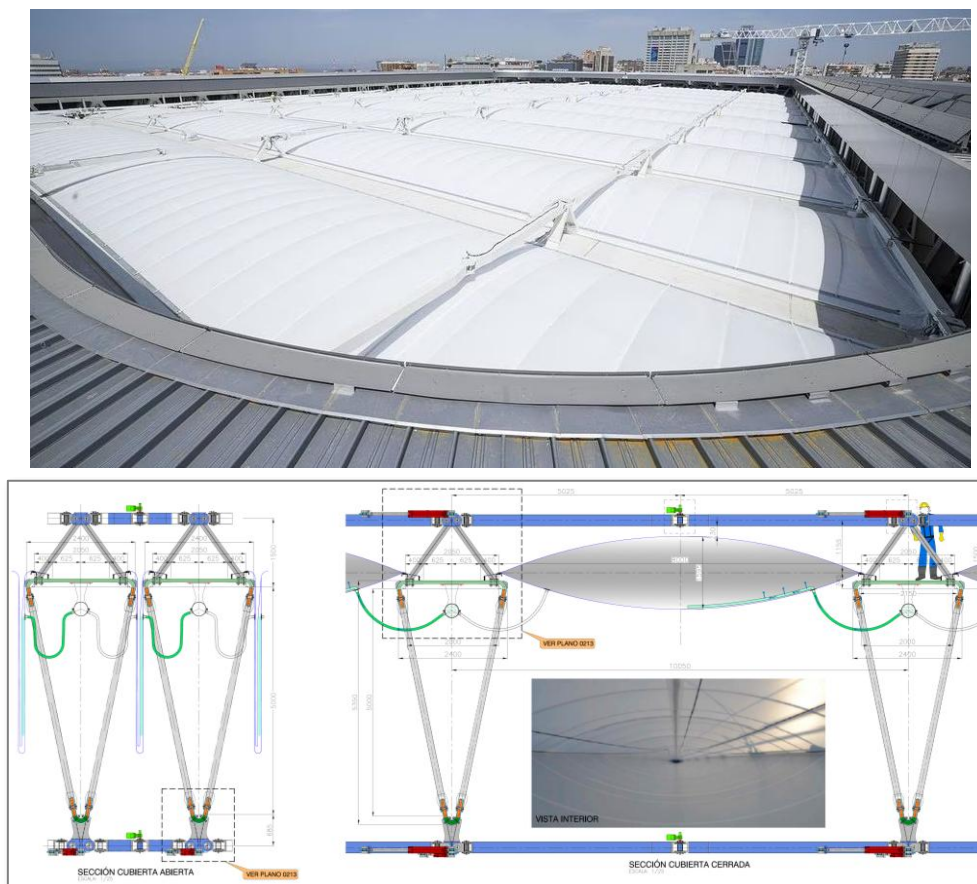


Figura 4. Cubierta retráctil del Bernabéu: cerchas híbridas de composite y acero con cojines hinchables de PTFE; vista en posición abierta (plegada bajo la cubierta fija) y cerrada.

4.2 Sistema automatizado del terreno de juego e hipogeo

El sistema automatizado del terreno de juego (Figura 5) es, probablemente, la aportación tecnológica más novedosa del estadio en el plano internacional. Permite retirar el césped natural a una cámara subterránea de mantenimiento (hipogeo) de más de 26 m de profundidad mediante bandejas estructurales móviles, convirtiendo el estadio en un recinto multiusos sin renunciar al campo natural. Su implementación ha requerido la ejecución de la cámara hipogea, la reconstrucción de la grada oeste en voladizo y la integración de mecanismos automatizados de desplazamiento y almacenamiento de bandejas, con sistemas de conservación, riego, iluminación y ventilación específicos del césped natural [3].

La coordinación interdisciplinar (estructura, MEP, accesos, ventilación, riego y conservación) ha sido decisiva para compatibilizar la preservación del césped natural con la transformación multifuncional del recinto, superando condicionantes geométricos y estructurales singulares de un edificio histórico. Los modelos de trabajo prestan especial atención a los diferentes modos de uso del campo (partido, evento, mantenimiento, almacenamiento) y a sus requisitos específicos de cargas, accesos y operación, lo que se traduce en familias de modelos BIM coexistentes en la misma etapa de proyecto.

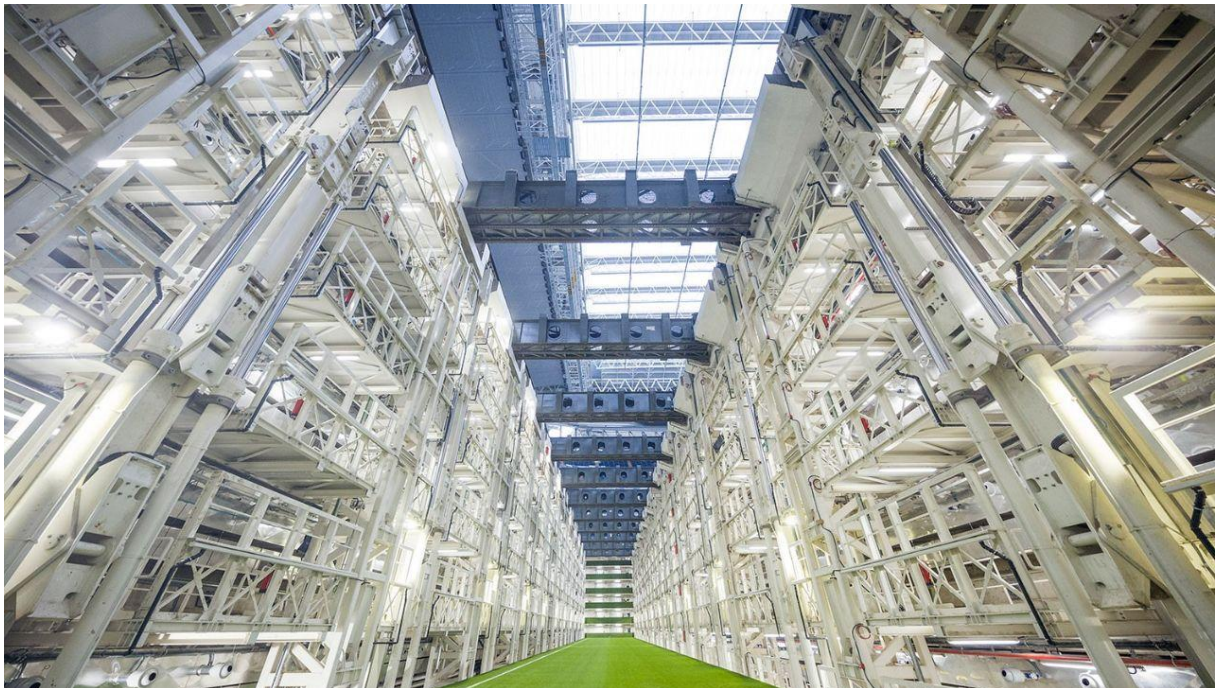


Figura 5. Vista del interior del hipogeo y bandejas estructurales móviles del sistema automatizado del terreno de juego en funcionamiento.

4.3 Grada abatible para acceso al terreno de juego

Desde la nueva galería subterránea se proyectó un nuevo acceso al terreno de juego, ya que el que disponía el estadio no tenía capacidad suficiente. Junto con la cubierta retráctil y el hipogeo, el estadio incorpora una zona de grada abatible accionada mecánicamente que habilita la entrada de vehículos pesados al campo desde el aparcamiento y el anillo logístico, mejorando la operativa y el mantenimiento del estadio. La ejecución de esta actuación se resolvió con un recalce de la estructura antigua y gatos hidráulicos que mantuvieron elevada esa parte del edificio mientras se construía la nueva estructura y se recalzaban los soportes existentes.

5 Fachada de lamas: diseño algorítmico y comportamiento dinámico

La envolvente del estadio se resuelve mediante una fachada tridimensional de lamas perimetrales, organizada en cuatro áreas: sofito, fachada inferior, fachada intermedia y visera superior. Las costillas verticales que soportan las lamas se suspenden de la cubierta fija o de las vigas corona y se apoyan inferiormente en puntales del sofito [4, 5]. Más de 13.000 lamas con geometrías únicas configuran una piel continua cuya generación geométrica y dimensionado estructural sólo ha sido viable mediante procesos de diseño basados en algoritmos paramétricos.

5.1 Generación algorítmica de la geometría

Cada lama es una pieza singular cuyo posicionamiento, orientación y longitud responden a una superficie tridimensional global. La parametrización ha permitido validar individualmente cada elemento y, mediante el análisis de los casos más desfavorables, optimizar el proceso de comprobación estructural y geométrica. La evolución del software de superficies complejas, ligado a procesos de fabricación digital, ha sido indispensable para producir elementos de alta complejidad geométrica con la eficiencia y precisión requeridas.

5.2 Control del deslumbramiento

Los algoritmos incorporan el control del deslumbramiento como variable de entrada: la inclinación y la orientación de cada lama se ajustan en función de la radiación solar y de las vistas desde el espacio público, evitando reflejos molestos hacia las edificaciones colindantes y mejorando el confort visual del entorno urbano. Esta variable se acopla, además, con criterios de iluminación interior y vistas desde las gradas [4].

5.3 Movimientos en juntas

Un punto especialmente sensible es la posición de las costillas junto a las cuatro grandes juntas de movimiento que recorren la envolvente. Para garantizar la continuidad visual exterior, se diseñaron lamas articuladas y telescópicas, y se mantuvo sin montar parte de las costillas hasta completar la cubierta retráctil; tras las mediciones topográficas definitivas se ajustaron mediante elementos de cuelgue cortados y soldados in situ y dispositivos de regulación en altura con gatos [5, 7]. El sistema monotubo de las lamas permite el desplazamiento relativo en junta sin pérdida de continuidad arquitectónica (Figura 6).

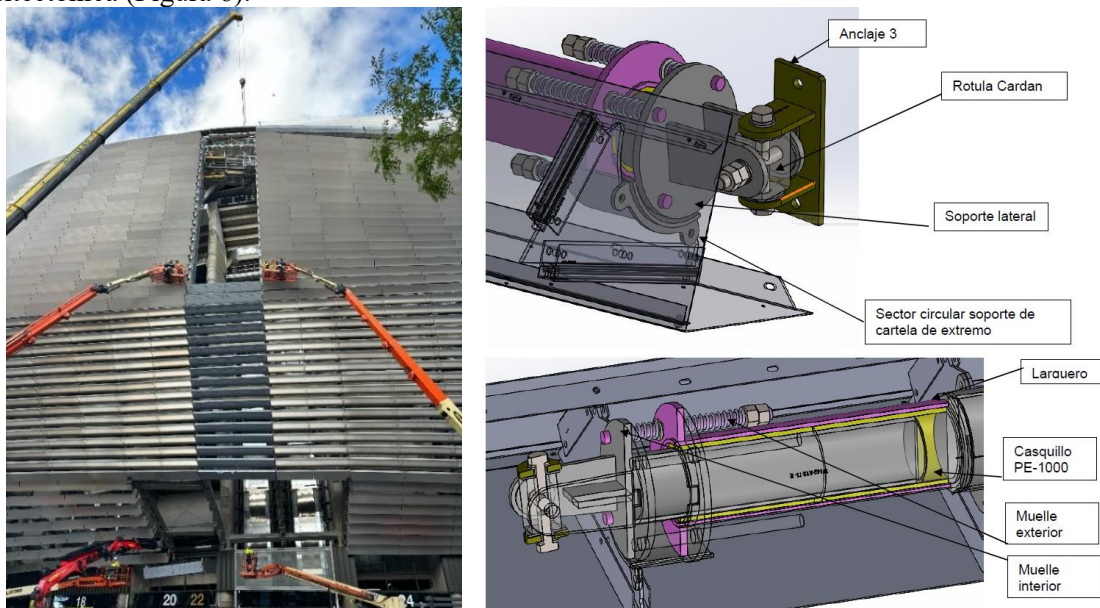


Figura 6. Detalle del sistema monotubo de las lamas de fachada que permite el movimiento relativo en las juntas de dilatación entre módulos estructurales.

5.4 Ventilación

La geometría algorítmica integra la ventilación pasiva del trasdós de la envolvente como parámetro: la separación entre lamas, la orientación y el patrón de huecos contribuyen a controlar la circulación de aire en la cámara perimetral, mejorando el comportamiento térmico de la fachada y reduciendo la demanda energética de los sistemas activos.

5.5 Movimientos térmicos y ensayos en túnel de viento

Las dilataciones térmicas diferenciales entre acero, composite y elementos secundarios se han modelado como condicionantes de diseño, garantizando la compatibilidad de movimientos entre lamas, costillas y subestructura. Para el diseño estructural de la fachada se realizaron además ensayos de túnel de viento con configuraciones de cubierta abierta y cerrada, dado que el comportamiento aerodinámico varía sustancialmente entre escenarios; la fachada debe ser estable y compatible con los desplazamientos inducidos por la cubierta retráctil.

6 Dispositivos de Acción Controlada (DAC) en la cubierta

La introducción de la cubierta retráctil, las nuevas instalaciones y los elementos asociados a la fachada implicó un incremento significativo de las cargas sobre la estructura de cubierta respecto a los supuestos iniciales. Para recuperar el margen de seguridad sin sobredimensionar elementos ya ejecutados, se desarrollaron los Dispositivos de Acción Controlada (DAC) (Figura 7). Cada DAC es un cilindro hidráulico apoyado en acumuladores hidroneumáticos, con control de presión y capacidad del orden de 1.000 kN por unidad, actuando como un apoyo activo que estabiliza las cargas en operación; el sistema permite absorber del orden de 400 toneladas adicionales en cada uno de los dos testeros, fondo norte y fondo sur, hasta unas 800 toneladas en total sobre la cubierta [1].

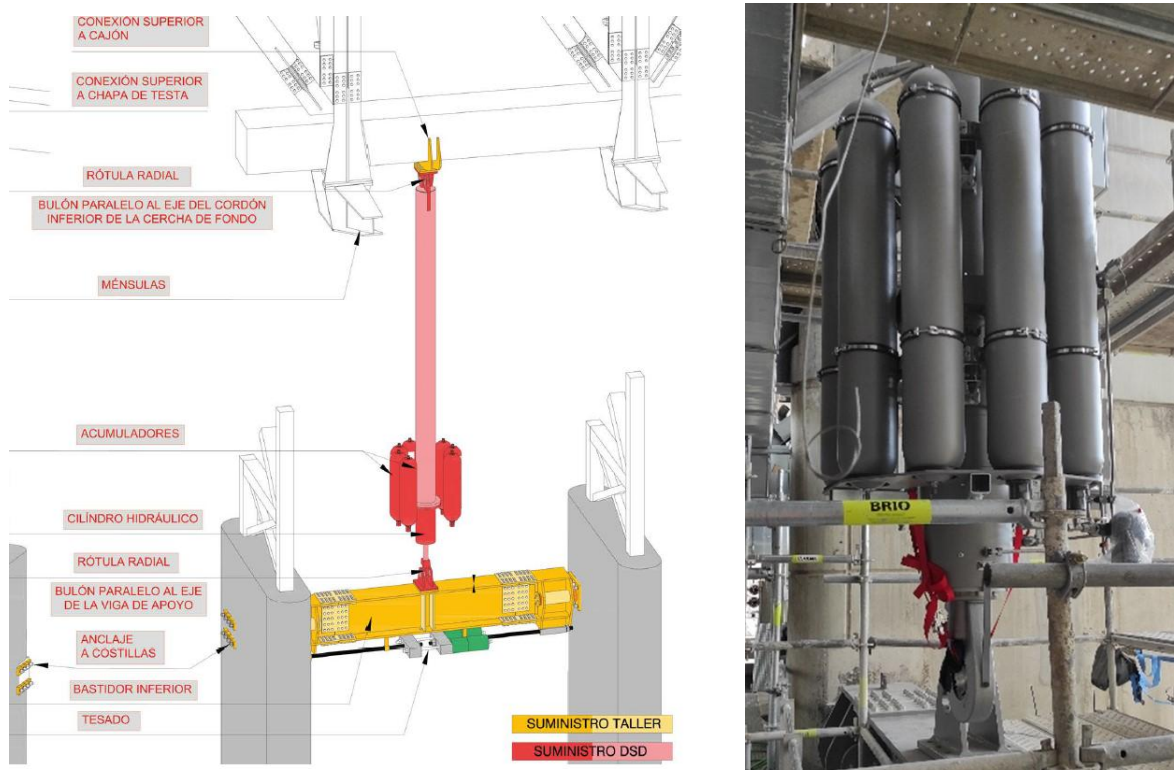


Figura 7. Esquema y detalle de un Dispositivo de Acción Controlada (DAC): cilindro hidráulico con acumulador hidroneumático y control de presión, capacidad del orden de 1.000 kN.

El interés conceptual de los DAC reside en su lógica de “estructura tolerante al cambio”: aceptan que las cargas reales no son exactamente las previstas en el modelo de cálculo original y que pueden variar a lo largo de la vida útil del edificio, por nuevas instalaciones, cambios de uso o envejecimiento de elementos. Esta filosofía es especialmente relevante en una rehabilitación fast-track con cambios continuos: en lugar de transferir esa incertidumbre a la estructura histórica, se confía en un dispositivo regulable que mantiene el equilibrio del conjunto. Los DAC se complementan con sistemas de monitorización que permiten una explotación informada y un mantenimiento predictivo a lo largo del tiempo.

7 BIM como sustrato del proceso: fast-track, escáner 3D y modelos coexistentes

La capacidad de integrar todas las innovaciones anteriores en un proyecto de Diseño y Construcción ejecutado en fast-track ha descansado, en gran medida, sobre una metodología BIM rigurosa. La coordinación se ha desarrollado bajo ISO 19650, con entornos comunes de datos compartidos entre el equipo de proyecto, los subcontratistas estructurales, las ingenierías de fachada y MEP y la dirección de obra. La estrategia fast-track impulsó la ejecución simultánea de diseño y obra, exigiendo una gestión rigurosa de la información, una clara matriz de responsabilidades y un control de cambios estricto.

Las nubes de puntos coordinadas, obtenidas mediante escáner 3D y LiDAR, han sido esenciales no sólo al inicio sino durante todo el ciclo de vida del proyecto. Los diferentes escenarios de diseño (cubierta abierta o cerrada, campo desplegado o almacenado, distintas configuraciones de aforo) se basan en estados finales de ejecución y comparten geometrías y movimientos entre modelos de distintos diseñadores y subcontratistas, siempre confirmados con levantamientos por escáner 3D. La gestión, con foco en iteraciones cortas, combinó metodología ágil con filosofía lean para mantener un flujo constante de ejecución y eliminar desperdicios.



Figura 8. Nube de puntos coordinada del estadio durante la ejecución, base geométrica para la coordinación BIM y para el ajuste de tolerancias entre estructura nueva y existente.

El proyecto ha exigido, en consecuencia, abandonar el mito del modelo BIM único como fuente centralizada de verdad y aceptar la coexistencia de modelos paralelos en la misma etapa: modelos contraflechados de fabricación con tolerancias y secuencia, modelos de servicio coordinados con arquitectura y MEP, y modelos de mantenimiento con los estados reales tras ejecución [7]. Esta

organización es la que ha permitido a FCC Construcción absorber, sin pérdida de control, los cambios derivados de una rehabilitación con geometrías heredadas y de un cliente con un programa multifuncional muy exigente.

8 Conclusiones

La remodelación del Santiago Bernabéu demuestra que es posible incorporar el más alto nivel de innovación tecnológica a un estadio histórico en uso, ubicado en un entorno urbano sensible, manteniendo criterios exigentes de respeto al medioambiente y a la sociedad. La concentración, en un mismo edificio, de cubierta retráctil con cerchas híbridas y cojines de PTFE, sistema automatizado del terreno de juego con hipogeo, gradas abatibles, fachada algorítmica de más de 13.000 lamas, DAC y una nueva cubierta fija sobre cuatro apoyos que no afectan al estadio histórico, constituye un caso singular en el panorama internacional.

Las claves del proyecto se entrelazan. La estrategia estructural, apoyada en la cubierta sobre cuatro apoyos y los DAC, descarga al edificio histórico de las nuevas solicitaciones y asegura una rehabilitación respetuosa con la infraestructura preexistente. Sobre ella se monta una concepción tecnológica en la que el movimiento de cubierta, césped, grada y fachada es un parámetro de diseño compartido entre disciplinas, resuelto con diseño algorítmico, ensayos específicos y modelos BIM coordinados. Todo ello sólo es posible gracias a la capacidad organizativa de FCC Construcción para sostener un contrato de Diseño y Construcción en fast-track con cambios continuos del cliente y ajustes a la geometría real del estadio existente, manteniendo control sobre coste, plazo y seguridad. Y la propia gestión del proceso (industrialización, montajes optimizados, logística urbana cuidadosa y obras compatibles con el uso del estadio) convierte la innovación en palanca para reducir el impacto sobre la ciudad y sus usuarios.

En conjunto, el Bernabéu reformado se ha consolidado como referencia para los nuevos estadios urbanos con estructuras móviles y uso continuo: edificios complejos, multifuncionales y conectados, capaces de funcionar todos los días del año en el corazón de las ciudades. La experiencia se proyecta sobre nuevas infraestructuras deportivas, como el Estadio PMBS en Qiddiya (Arabia Saudí) que FCC Construcción está también desarrollando, donde estos principios se llevan a una escala aún mayor. El estadio icono del siglo XX funciona ya como modelo del siglo XXI.

Referencias

- [1] Mateos, J. J., & Liébana, O. (2025). Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. La creación de un icono del siglo XXI. *Hormigón y Acero*, 76(307), 11-30. <https://doi.org/10.33586/hya.2025.3988>
- [2] Martínez, J., & del Río, S. (2025). Renovación del estadio Santiago Bernabéu. Diseño y construcción de la cubierta retráctil. *Hormigón y Acero*, 76(307), 175-197. <https://doi.org/10.33586/hya.2025.3995>
- [3] Vizcaya, J., Quevedo, C., Morales, M. A., Pita, I., & Salcedo, J. (2025). Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. Obra civil asociada al sistema de automatización del terreno de juego. *Hormigón y Acero*, 76(307), 237-248. <https://doi.org/10.33586/hya.2025.4008>
- [4] García del Valle, M., Roiz, A., & Alcaine, J. (2025). Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. La ingeniería para la definición y cálculo estructural de la fachada de lamas. *Hormigón y Acero*, 76(307), 215-234. <https://doi.org/10.33586/hya.2025.3984>
- [5] Romero Rey, E., Hortigüela Páramo, E., & Valverde, R. (2025). Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. Estructuras soporte de fachada. *Hormigón y Acero*, 76(307), 199-214. <https://doi.org/10.33586/hya.2025.4001>
- [6] Aldea Abad, L. (2025). Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. Un templo digital contemporáneo. Metodología BIM en diseño, construcción y fabricación de un hito. *Hormigón y Acero*, 76(307), 281-303. <https://doi.org/10.33586/hya.2025.4000>
- [7] Liébana Carrasco, O., Méndez Rubio, M., Iglesias Gamella, F., & Alcón Miño, R. (2026). Modelo post-estático: ciclo de vida de modelos digitales complejos en estructuras móviles de estadios deportivos. *EUBIM 2026, Congreso Internacional BIM / 12º Encuentro de Usuarios BIM, Universitat Politècnica de València*.

- [8] Selo, K., & Erdönmez, M. E. D. (2020). Exploring recent implementations of flexibility in stadiums architecture. Theory and Research in Architecture, Planning and Design. <https://www.researchgate.net/publication/344785499>
- [9] Ramzy, N., & Fayed, H. (2011). Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings. Sustainable Cities and Society, 1(3), 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.07.004>
- [10] Elmokadem, A. A., Ekram, M., Waseef, A., & Nashaat, B. (2018). Kinetic architecture: Concepts, history, and applications. International Journal of Science and Research, 7(4), 750-758. <https://doi.org/10.21275/ART20181560>
- [11] Antoszkiewicz, P., & Gupta, P. (2018). Architecture in motion: Drive and control solutions in architecture. Heavy Movable Structures, Inc. Seventeenth Biennial Symposium, Orlando.