

Disponible en www.hormigonyacero.com
Hormigón y Acero, 2025
<https://doi.org/10.33586/hya.2025.3991>

ARTÍCULO EN AVANCE ON LINE

Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. Desarrollo del proyecto arquitectónico

Gema Martínez González-Valcárcel, Manuel Bernabé Martín

DOI: <https://doi.org/10.33586/hya.2025.3991>

Para ser publicado en: *Hormigón y Acero*

Por favor, el presente artículo debe ser citado así:

Martínez, G., & Bernabé, M. (2025). Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. Desarrollo del proyecto arquitectónico. *Hormigón y Acero*. 76(307):XX-XX. <https://doi.org/10.33586/hya.2025.3991>

Este es un archivo PDF de un artículo que ha sido objeto de mejoras propuestas por dos revisores después de la aceptación, como la adición de esta página de portada y metadatos, y el formato para su legibilidad, pero todavía no es la versión definitiva del artículo. Esta versión será sometida a un trabajo editorial adicional, y una revisión más antes de ser publicado en su formato final, pero presentamos esta versión para adelantar su disponibilidad. En el proceso editorial y de producción posterior pueden producirse pequeñas modificaciones en su contenido.

© 2025 Publicado por CINTER Divulgación Técnica para la Asociación Española de Ingeniería Estructural, ACHE

Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. Desarrollo del proyecto arquitectónico

Renovation of Santiago Bernabéu Stadium. Architectural Project Development

Gema Martínez González-Valcárcel^a, Manuel Bernabé Martín^{b*}..

^aArquitecta. División arquitectura TYPESA

^bArquitecto. División arquitectura TYPESA

Resumen

Partiendo de la definición inicial del proyecto entregado por la propiedad¹, en la fase de licitación, se desarrolló una variante que mantuvo la volumetría y las características funcionales y compositivas del diseño original, pero que incorporó ajustes en el concepto estructural para adaptarlo a los plazos y condiciones de uso establecidos

En el desarrollo posterior de la variante ejecutada surgieron retos poco habituales en edificios de escala urbana. Ante la falta de precedentes, fue necesario idear soluciones innovadoras que demandaron el máximo análisis y una colaboración estrecha entre disciplinas. Este trabajo conjunto se convirtió en un diálogo creativo que permitió materializar propuestas concretas, factibles, seguras y, al mismo tiempo, respetuosas con el espíritu inicial del proyecto.

Este artículo expone algunas de esas situaciones en las que la frontera entre arquitectura y estructura resulta difícil de trazar, y que se resolvieron gracias al esfuerzo coordinado de arquitectos e ingenieros. Entre ellas se incluyen las nuevas torres de acceso B y C, la integración de péndulos en zonas de circulación, las juntas entre el museo y el estadio, la galería técnica, el túnel de carros, la grada abatible y los espacios de transición en el skywalk

Palabras clave: coordinación, arquitectura, galería, skywalk, juntas, abatible,

Abstract.

Based on the initial project definition delivered by the client¹, a variant was developed during the tendering phase. This variant preserved the volumetry and the functional and compositional features of the original design, while introducing adjustments to the structural concept in order to meet the established deadlines and use conditions.

In the subsequent development of the executed variant, challenges arose that were uncommon in urban-scale buildings. In the absence of precedents, it was necessary to devise innovative solutions that demanded thorough analysis and close interdisciplinary collaboration. This joint effort evolved into a creative dialogue that enabled the realization of concrete, feasible and safe proposals, while remaining faithful to the original spirit of the project

Keywords: coordination, architecture, technical gallery, skywalk, joints, retractable stand

1. Introducción.

La estrategia para el desarrollo del proyecto se definió desde el inicio con el objetivo de avanzar en paralelo en el diseño y en la ejecución de la obra, reduciendo al mínimo el desfase entre ambos procesos. El planteamiento consistió en identificar las áreas críticas desde el punto de vista estructural, susceptibles de ser segregadas del conjunto del estadio, para concretar su proyecto parcial y solicitar la licencia correspondiente, al tiempo que se iniciaba el estudio de las siguientes zonas. Esta estrategia respondió también a los requisitos normativos establecidos por el Ayuntamiento de Madrid, encargado de otorgar las licencias necesarias para permitir la ejecución de determinadas partes del estadio sin interrumpir el uso del resto de las instalaciones. De este modo, una vez finalizadas dichas fases, podían ponerse en servicio incluso aunque el proyecto global continuara en

¹ El proyecto entregado por la propiedad es el desarrollado por GMP, L35 Y Ribas + Ribas.

construcción. Este procedimiento, denominado “licencia de fases autónomas”, exigió un loteado y una planificación integral previa de todo el proyecto.

Debido a su complejidad, la estructura del estadio se distribuyó entre varios equipos de trabajo, bajo la coordinación de FCC Construcción. Así, un equipo asumió la concepción global y la estructura de cubierta con sus apoyos principales; otro, las nuevas torres de acceso; un tercero, la viga corona y todo el lateral oeste; otro, el túnel logístico y el aparcamiento subterráneo; y un último equipo, las intervenciones en la grada, los palcos y los refuerzos en los forjados de las galerías de circulación

A través de este recorrido por las distintas áreas, se resumen a continuación los aspectos de diseño en los que arquitectura y estructuras se entrelazaron, exigiendo un esfuerzo de comprensión mutua que, en muchos casos, pasa inadvertido para el visitante. Esta discreción, precisamente, constituye uno de los mejores indicadores del éxito de las propuestas.

En la figura 1 se incluye un gráfico simplificado para facilitar la localización de las actuaciones que se desarrollan en este artículo.

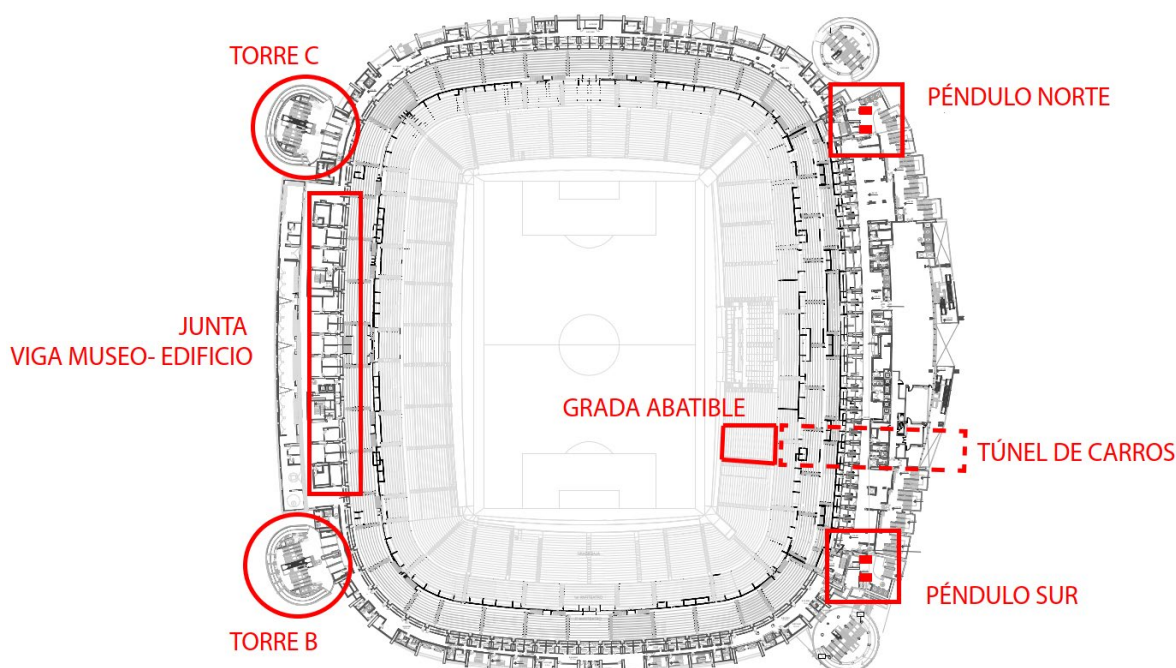


Figura 1. Esquema gráfico de las zonas desarrolladas en el artículo.

2. Nuevas torres de acceso B y C.

2.1. Descripción

Las nuevas torres del lateral oeste incluyen cada una de ellas, dos escaleras peatonales de 2.40 metros de ancho de paso, dos escaleras mecánicas y dos ascensores además de una rampa perimetral de 2.55 metros de ancho de paso que permiten el acceso y la evacuación desde el nivel de calle hasta el nivel 7. Desde el nivel N07 hasta el Skywalk, se accede por escaleras y ascensor. El trazado de las rampas peatonales se diseñó condicionado por las cotas de las plantas del estadio preexistente, manteniéndose en la mayor parte del trazado la pendiente entre el 6% y 6,7%. Las rampas incluyen un pasamanos intermedio y no son vía de evacuación para usuarios de movilidad reducida, pero si lo son para el resto de usuarios.

2.2. Requerimientos estructurales y arquitectónicos.

Las Torres B y C, objeto de este proyecto forman parte del esquema resistente principal de la nueva cubierta, transmitiendo la carga vertical concentrada del apoyo de la cercha principal de la cubierta

Estructuralmente, las torres están compuestas por tres pilares metálicos principales que reciben la carga de la cubierta a través de un trípode también metálico. La rigidez horizontal necesaria para soportar las cargas de diseño

la aporta un entramado romboidal metálico dispuesto en una superficie curva que acompaña a la rampa y constituya la imagen característica de las torres. De este entramado romboidal nacen las ménsulas que soportan la rampa que sirve como acceso peatonal. La estructura se completa con una serie de losas, pilares y muros interiores que conforman las distintas escaleras, rellanos y núcleos de comunicación necesarios para el funcionamiento de la torre.

La rampa espiral de acceso de las torres debe dar servicio a los niveles existentes del estadio y es preciso respetar las pendientes máximas normativas. Para compaginar ambos requerimientos entre las plantas del estadio donde la diferencia de altura es excesiva para una sola vuelta de rampa, se incluye una vuelta intermedia, que no da acceso al estadio pero que resulta imprescindible para mantener la fluidez de la circulación peatonal. En este paso intermedio se hizo necesario entre los niveles N04 y N05 y entre los N05 y N06 y se soluciona como una pasarela horizontal.

2.3. Solución desarrollada.

En estos niveles intermedios, la altura libre entre el nivel de circulación y las pasarelas es extremadamente limitada. No era posible disponer apoyos inferiores bajo las pasarelas, ya que interferirían con el elevado flujo peatonal durante los periodos de salida del estadio, ni tampoco se podían incorporar vigas colgantes debido a la falta de altura disponible. Este desafío se resolvió haciendo que las barandillas de las pasarelas cumplieran un doble papel arquitectónico y estructural, lo que permitió reducir el canto total de la solución y garantizar un galibo inferior reglamentario, completamente libre de obstáculos (figura 2, figura 3)

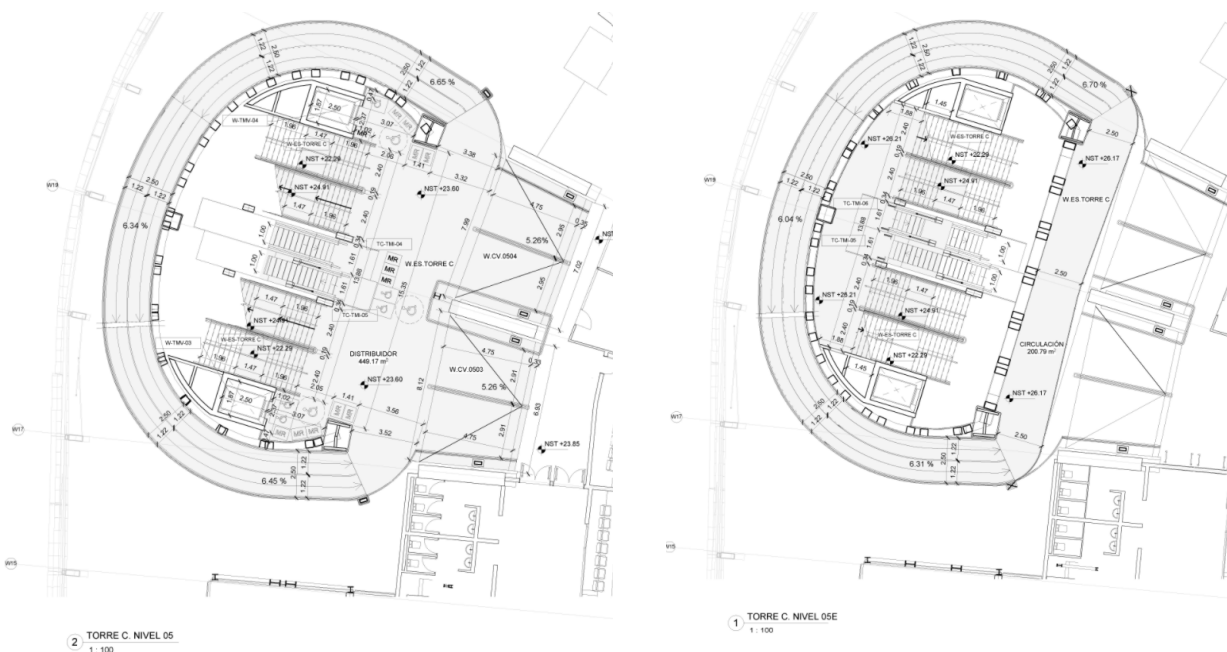


Figura 2 Plantas de la nueva torre de acceso C, nivel N05 (izquierda) y N05E (derecha) Planos procedentes del proyecto de ejecución

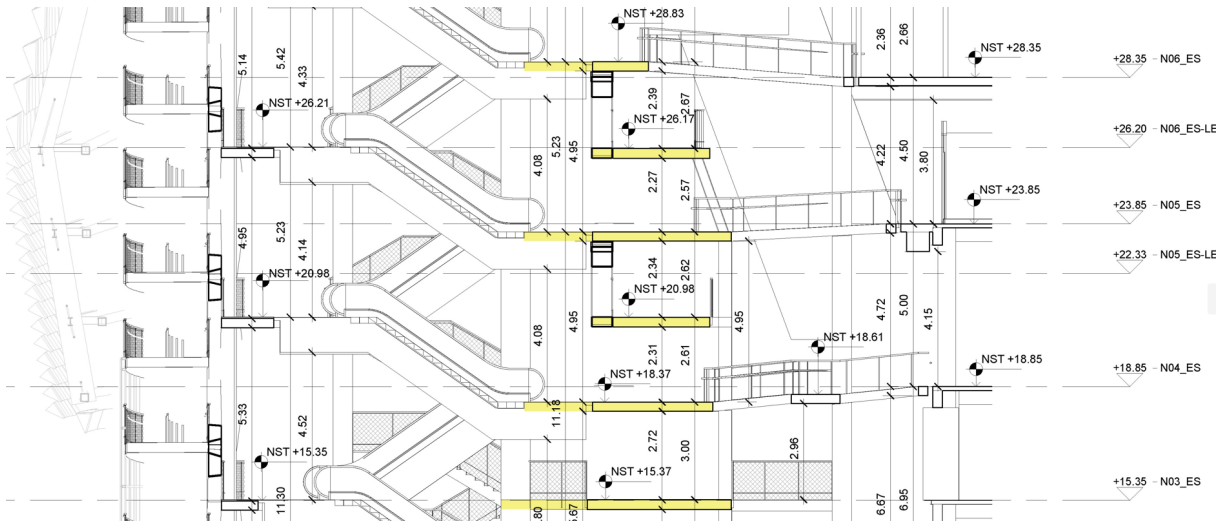


Figura 3. Sección parcial torre de acceso B con los forjados de acceso a N03, N04, N05 y N06 y las pasarelas sin acceso al estadio entre los niveles N04 y N05, y entre N05 y N06. Sección procedente de planos del proyecto de ejecución.

3. Encaje de los péndulos en espacios de circulación

3.1. Descripción

En los torreones norte y sur, en el lateral este del estadio, se desarrolla una circulación vertical de vital importancia en la operativa general. En ambos torreones, el acceso y la salida del público se desarrolla en un entorno donde se convive con un elemento estructural primario en el concepto del estadio, que hemos llamado “péndulos”. Sin tratar de hacer aquí una descripción exhaustiva de los péndulos, solo resaltamos que son los apoyos principales de las cerchas de cubierta que transmiten carga vertical al suelo, permitiendo su movimiento horizontal para absorber las deformaciones producidas por empujes horizontales (Véase la referencia [1])



Figura 4. Imagen de obra de ejecución de la estructura del péndulo de torreón norte. Imagen procedente página web del club,

3.2. Requerimientos estructura y arquitectura

La ejecución de los péndulos (figura 4) se consideró esencial y prioritaria y formó parte del camino crítico en la remodelación del estadio. A efectos de coordinación con la arquitectura, como se indica en [1], los péndulos se componen de dos pilares rectangulares de dimensiones 2400mm x 900 mm, que queda unidos en cada planta por unas cartelas metálicas dejando una altura libre ajustada y suficiente y viable para circulación según normativa. El desplazamiento horizontal de los péndulos llega hasta los ± 300 mm en los niveles superiores.

En el mismo ámbito de inserción de los péndulos fue necesario realizar una operación de refuerzo de la estructura existente, suplementando los pórticos de hormigón con triangulaciones metálicas que condicionan la circulación general. Las alturas libres del estadio preexistente en esta zona son especialmente reducidas por lo que toda modificación estructural supone un análisis imperativo de compatibilidad con el uso previsto de los espacios.

El espacio en el que se desarrollan los péndulos corresponde a los “torreones” norte y sur que eran volúmenes claramente distinguibles tanto desde dentro como desde fuera del estadio preexistente y que suponían un barrera real a la circulación anular en el estadio, impidiendo la conexión en todos los niveles entre el lateral este y el resto del estadio. Los torreones albergaban una escalera de acceso que recorre todos los niveles del estadio y palcos en los niveles superiores, estando las cotas de llegada en cada nivel asociadas al palco de ese mismo nivel y sin relación con los niveles de forjados en fondos o lateral oeste. Habiendo sido detectado esta situación de interrupción del flujo como un obstáculo grave en la operación del estadio remodelado, el club solicitó desde un comienzo una subsanación efectiva.

Desde los equipos de arquitectura se abordó tanto la reordenación de la circulación como la inserción de los péndulos en cada nivel y se plantearon las posibles modificaciones y ajustes al sistema estructural para compatibilizar el paso de personas con las restricciones estructurales. Se fijó como altura de paso libre objetivo

2.80 m y como mínimo absoluto y (limitada a pasos puntuales) la altura de 2.20 m. Con estas premisas se analizó cada nivel y se negociaron las soluciones de modo individual.

3.3. Solución desarrollada: comprobación de alturas libres en circulación

A modo de ejemplo de la situaciones que se plantearon se muestra en la figura 4 las secciones entre los niveles N05 y N07.

En la planta de la figura 5, la estructura que se mantiene y se refuerza corresponde a las líneas de sección 2 y 3 y la estructura de los péndulos a la línea de sección 4. La zona de paso discurre desde la escalera de fachada hacia el interior del estadio a través de los pórticos estructurales señalados.

La sección 02 en la figura 6 muestra en alzado las triangulaciones metálicas añadidas sobre los pórticos existentes y la sección 04 en la figura 7, la disposición de la estructura del péndulo frente a los niveles de suelo acabado

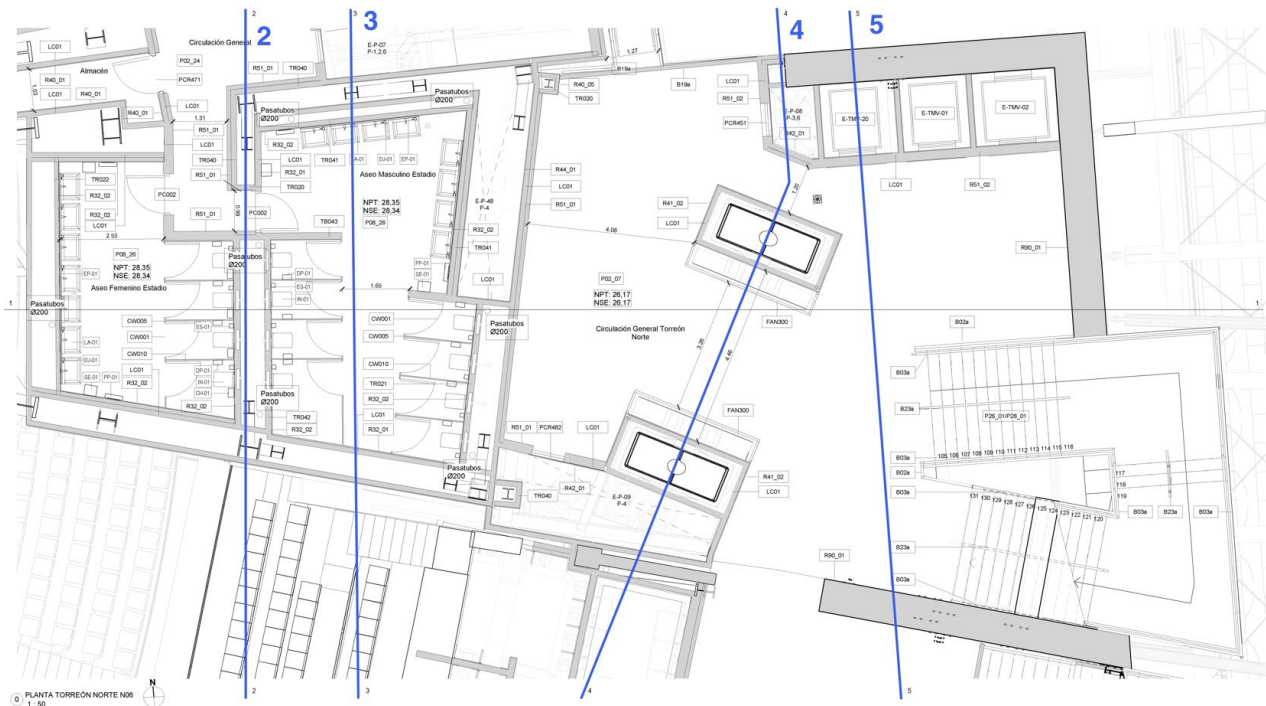


Figura 5. Planta nivel N05 torreón sur mostrando situación de estructura existente previa a la reforma, estructura del péndulo y nuevas escaleras. Planta procedente del proyecto de ejecución.

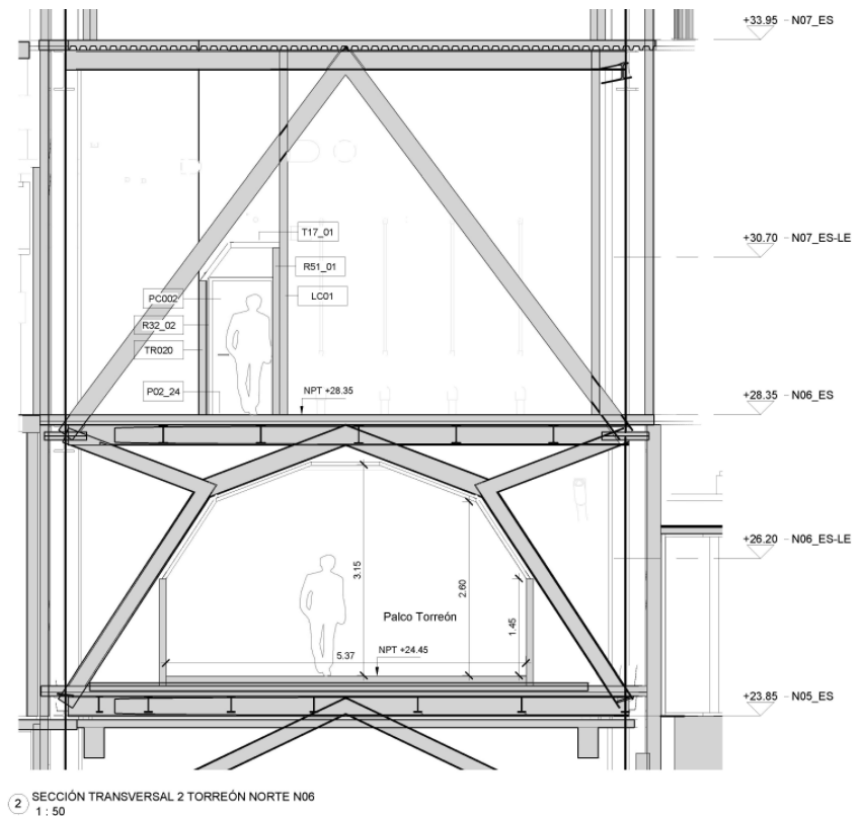


Figura 6. Sección 02 entre niveles N05 y N06 mostrando estructura de refuerzo en pórticos existentes del estadio y espacio libre de paso. Procedente del proyecto de ejecución

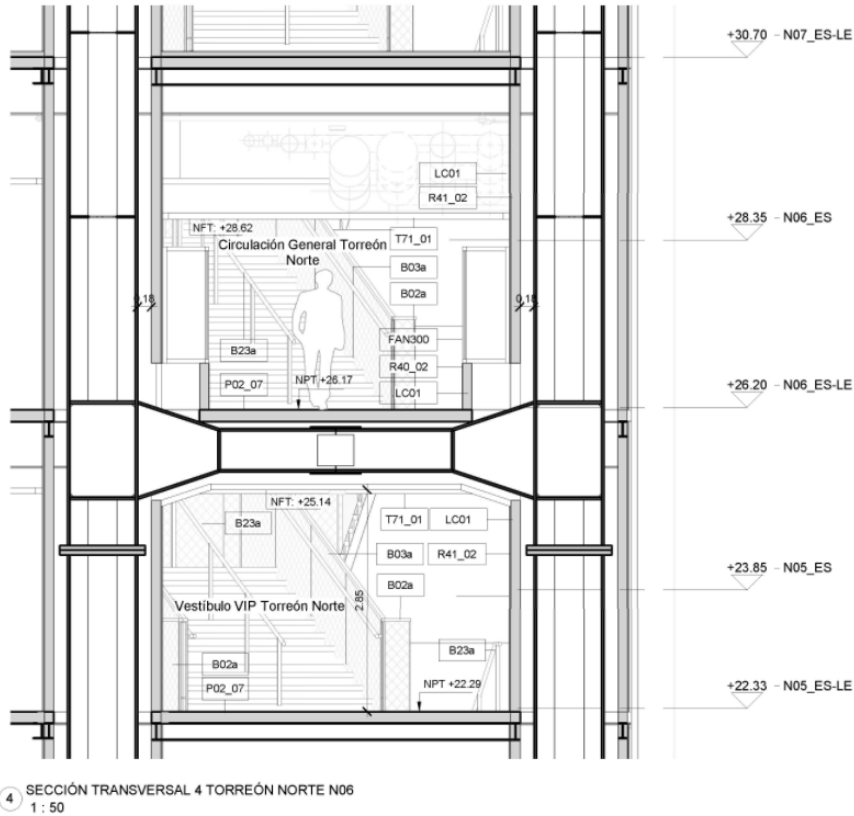


Figura 7. Sección 04 en niveles N05 y N06 con estructura del péndulo y espacios de circulación. Procedente del proyecto de ejecución.

3.4. El revestimiento de los péndulos

Los acabados de esta zona se diseñaron para permitir la oscilación de los elementos metálicos frente a los forjados a la vez que se proporcionaba la resistencia al fuego de los elementos estructurales EI-180 y se mantenía la continuidad del sellado a nivel de forjado, todo ello, con la intención de lograr una nula percepción por parte del usuario del espacio.

Para permitir el movimiento del péndulo, los acabados que ocultan los pilares de los péndulos respetan el espacio necesario para que éstos puedan desplazarse sin colisionar con los elementos de acabado o sus subestructuras de apoyo. Desde nivel sótano hasta N03 se ha dejó una separación de 18 cms en sentido norte a sur y de 25 cms en sentido este-oeste. A partir del nivel N03 las distancias entre estructura y acabados se amplían progresivamente para cubrir los desplazamientos máximos de cálculo para los péndulos.

4. Juntas entre el museo y el estadio preexistente.

4.1. Descripción

La estructura de la viga museo y en general de todo el lateral oeste de la remodelación puede encontrarse en la referencia [2]. A efectos de coordinación arquitectónica la viga museo supone un grandísimo elemento que tiene una flexibilidad propia y un desplazamiento no despreciable y que se enfrenta directamente con la masa inmóvil y estática del estadio preexistente, provocando un frente de fricción en todas las líneas de contacto en los tres niveles en los que se existe comunicación directa entre ambos (N5, N6 y N7).

La coordinación se centra en que estos movimientos sean compatibles con el uso VIP del espacio y que sea cual sea la situación en un momento dado del bloque móvil del museo, la experiencia del visitante sea la misma. La viga museo tiene una longitud de 107 metros, una altura de 10 metros y una profundidad de crujía de 7.5 metros, estando colgada de la cercha superior que discurre desde el trípode de la torre B al Trípode de la torre C.

4.2. Requerimientos estructurales y arquitectónicos

A la estructura se le requiere su estabilidad y que los desplazamientos inevitables sean compatibles con la falta de desplazamiento que tiene la estructura del estadio preexistente. La estructura debe tener una resistencia al fuego EI 180

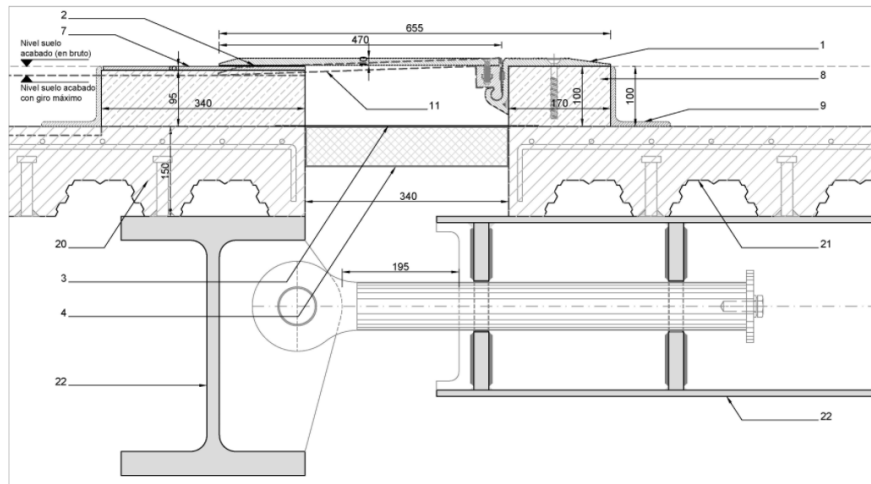
En acabados arquitectónicos se requiere que las diversas situaciones que se den con el desplazamiento vertical u horizontal de la viga museo pasen desapercibidas al visitante y se mantengan los niveles de protección al fuego y continuidad de acabados en todos los paramentos. El museo de los trofeos del club, es uno de los puntos más visitados en la ciudad de Madrid, y es esencial que la construcción resuelva cualquier condicionante que pueda acabar en una distracción o molestia para el visitante.

4.3. Solución desarrollada

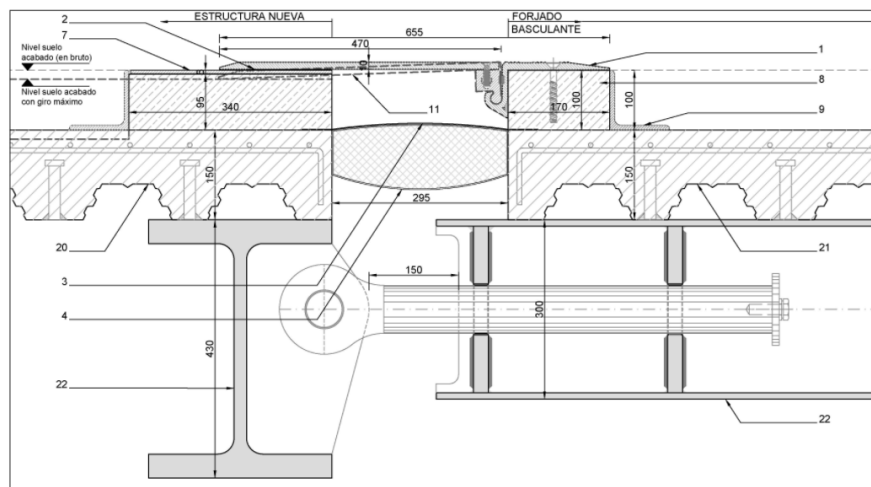
El desplazamiento horizontal del museo se estima en +145 mm / -60 mm positivo en sentido hacia el estadio. No obstante las juntas se diseñan para un movimiento mayor puesto que se colocaron cuando todavía no estaba toda la carga permanente colocada, de manera que finalmente se diseñaron para un recorrido +205 (= +145 + 60) / -45 mm (positivo hacia el estadio). Se fija la distancia entre bordes de forjado en situación neutra en 140mm.

La distancia entre los dos bordes de forjado, variará entre un máximo de 340 mm (205 + 140) y un mínimo de 140mm. Además este movimiento puede combinarse con el giro de un forjado respecto al adyacente y/o el desplazamiento en plano vertical de un forjado frente al adyacente. Esta situación estructural debe quedar tratada adecuadamente de cara al usuario y a otros conceptos normativos: proporcionar una superficie de paso seguro en suelo, acabados compatibles en revestimientos de paredes y mantener la estanqueidad al paso de humo de incendio y sectorización entre niveles consiguiendo un EI-180, son los retos que se plantean. El objetivo final del equipo es que esta situación estructural tan especial pase inadvertida al visitante.

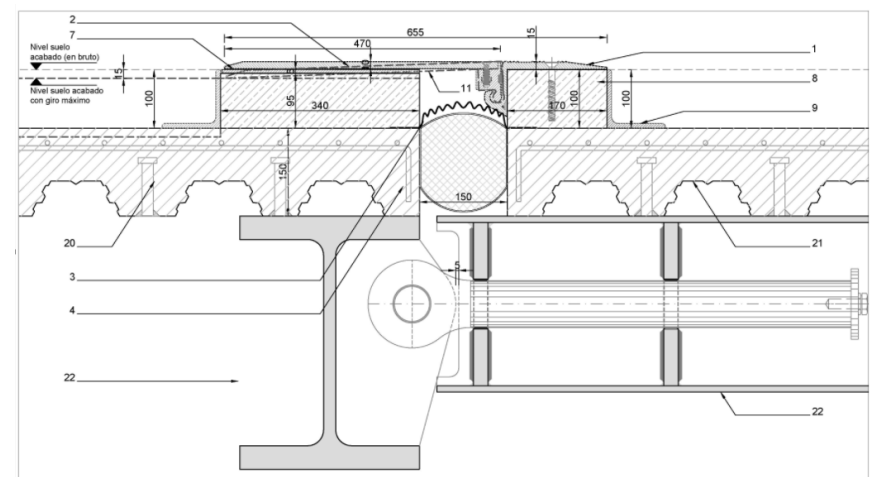
La propuesta final llevada a cabo para el cierre de estas juntas consiste en dos elementos: por una parte un tapajuntas en aluminio, a nivel de suelo acabado, que permite el giro y el desplazamiento hasta 300 mm acompañando al movimiento de estructura. Y por otra parte, un cierre inferior de material ignífugo con una elasticidad adecuada al movimiento y dos capas cortafuego fijadas según indicaciones de fabricante (**).



JUNTA HORIZONTAL EI 180. SEPARACIÓN MÁX (+45 MM) - sección detalle



JUNTA HORIZONTAL EI 180. POSICION NEUTRA - sección detalle



JUNTA HORIZONTAL EI 180. COMPRESIÓN MÁX (-145 MM) - sección detalle

Figura 8. Secciones detalle del encuentro entre forjado de museo (derecha) y forjado basculantes (izquierda) mostrados en situación de máxima apertura, posición neutral y máxima compresión. Detalles procedentes del proyecto de ejecución.

La solución fue homologada en laboratorio puesto que no existía solución de mercado para estos requerimientos. La junta de dilatación a nivel de suelo es una junta sísmica fabricada en aluminio, donde diseñamos una rotula que absorbe los movimientos de diferencia de nivel y multidireccionales que exigía el museo (figura 8)

La junta² está fabricada en aluminio 6060 (con densidad de 2,7 con límite de rotura min. 215 MPa) y diseñada para soportar un tránsito elevado de personas y máquinas de limpieza. El sistema cortafuego empleado con resistencia al fuego certificado EI240 y con un movimiento de más del 50%. Este modelo absorbe una compresión del 73% y movimientos de tracción hasta 275%. Además, tiene propiedades térmicas y acústicas. (figura 9)



Figura 9. Imagen final de junta en suelo en zona de museo. Fotografía proporcionada por el fabricante de la junta.

5. La galería técnica

5.1. Descripción

El estadio, en su estado anterior a la remodelación, tenía una logística diaria de recepción y distribución de materiales optimizada dentro de lo posibilidades disponibles. Si bien es cierto que nunca se dejaron de cumplir los

(**) JUNTA DESARROLLADA POR VEDA FRANCE Y LA LÍNEA DE PRODUCTO EMPLEADA VEDAFEU S V 300MM

objetivos del club, también es cierto que éste era un aspecto claramente mejorable. El proyecto inicial incorporó este objetivo entre los principios de reestructuración del estadio y para ello trazó una galería que discurre bajo la grada baja en los cuatro laterales y que sirve para conectar el punto de entrada de mercancía en el estadio con cualquier punto de destino en cualquier nivel en laterales, fondos y terreno de juego.

5.2. Requerimientos arquitectónicos

Arquitectónicamente la galería debe insertarse sin alterar la grada superior, que tan solo se desmonta temporalmente para reconstruirse después con la misma geometría. La galería debe permitir el paso de anillos de distribución de instalaciones y el paso de dos vehículos eléctricos para reparto de material. La galería debe asegurar la conexión entre el espacio de aparcamiento, y los ascensores que la conectan a los niveles superiores del estadio.

Además debe cumplir con los requisitos estructurales de resistencia al fuego respecto a grada de REI120 y respecto a recintos interiores REI 180.

5.3. Requerimientos estructurales

Se requiere de la estructura de la galería que se adapte al uso indicado, con el mínimo impacto para el uso de las gradas, adaptándose a toda la casuística que se presenta en cuanto a tipologías constructivas de grada baja (a veces hormigón en masa sobre el terreno, a veces hormigón armado o pequeñas zonas aisladas realizadas como forjado o combinaciones de ambas realizadas en sucesivas obras). La galería absorbe varios espacios que conllevan diferentes geometrías y variantes estructurales adaptadas. El método de excavación y de ejecución están condicionados por las condiciones de acceso de maquinaria y por la necesidad de ocasionar la menor interrupción posible en el uso de la grada baja.

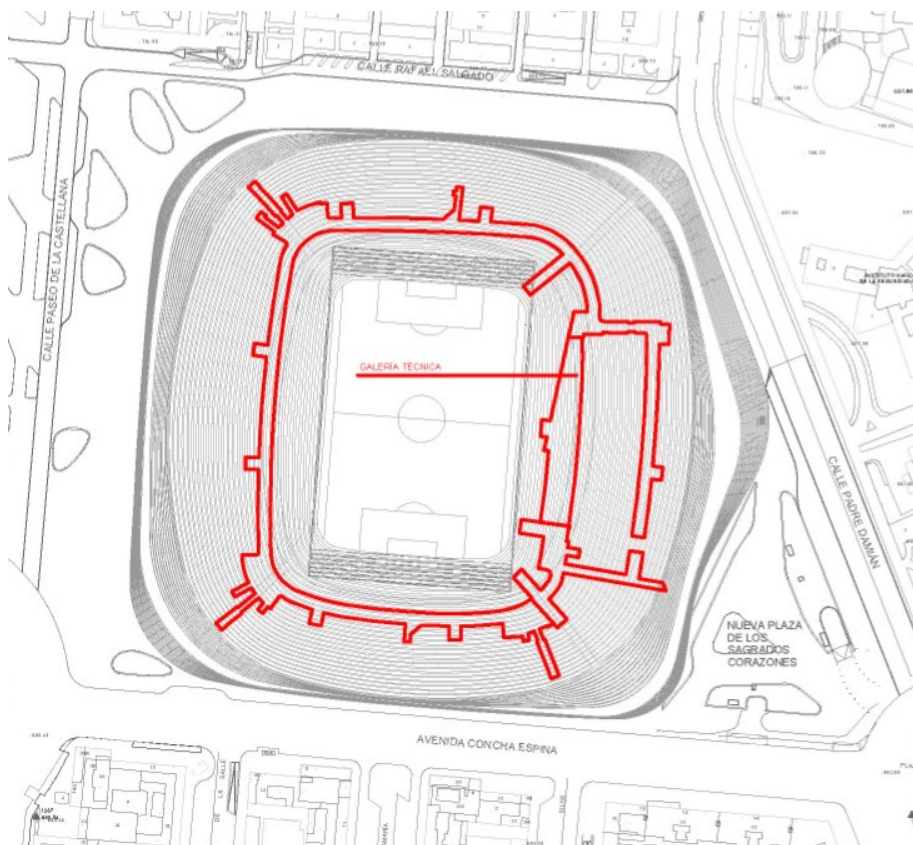


Figura 10. Trazado de la galería en el conjunto del estadio. Imagen procedente de proyecto de ejecución.

5.4. Solución desarrollada

Considerando todos los posibles usos que la galería podría desempeñar, se decidió un trazado con una sección tipo de ancho de 4 metros y gálibo de 2.20 m, permitiendo el paso de instalaciones por la parte superior de la galería y por su lateral. Se incluyó una zona de paso peatonal simplemente marcada con pintura en suelo, como paso de mantenimiento y un drenaje lineal continuo que recibe agua de baldeo. En el subproyecto galería se engloban varios

espacios que son accesibles desde ella como son aseos, acceso a escaleras, acceso a locales de ventilación del hipogeo, acceso al terreno de juego, acceso a ascensores logísticos, acceso a la zona de boxes, acceso al aparcamiento y a la zona de unidades móviles (figura 11, figura 12)

El diseño estructural de la galería parte de una sección tipo donde se asegura la operatividad, y se va adaptando a las condiciones concretas locales de cada punto del trazado. Se construye con un sistema “top-down” (ejecutando la cubierta antes de proceder a la excavación), con una superficie de grada demolida mínima y una nueva puesta en funcionamiento rápida, sin necesidad de esperas motivadas por la construcción. Desde el punto de vista de arquitectura, se hace necesario coordinar el trazado de la galería con la limitación superior de grada, y con las pendientes máximas admisibles para los vehículos eléctricos escogidos para el club. Se debe además solucionar la sectorización de este espacio y las condiciones de accesibilidad y de evacuación.

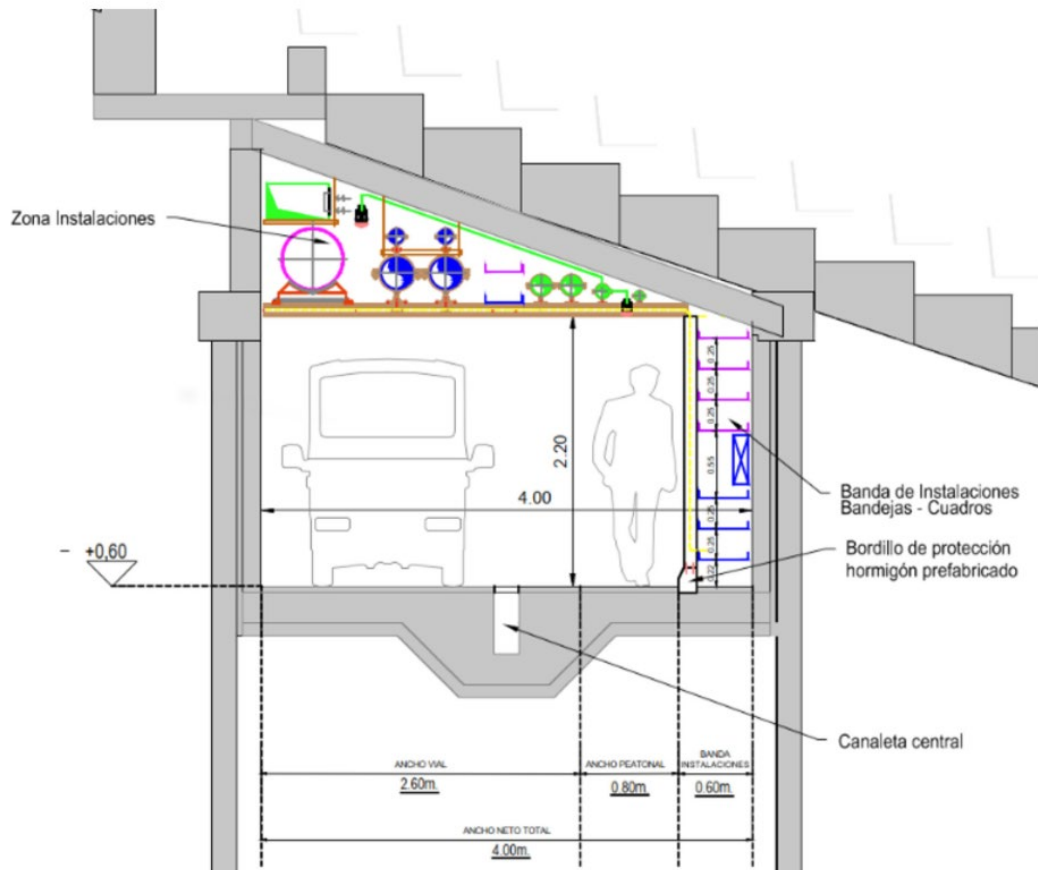


Figura 11. Sección tipo de la galería técnica bajo grada. Sección procedente de memoria descriptiva del proyecto de ejecución.

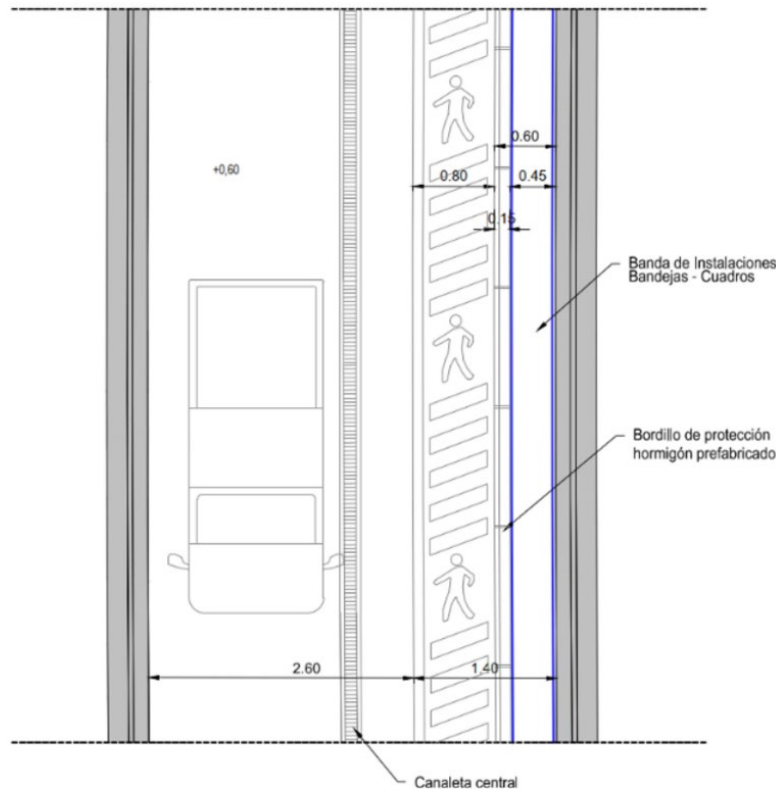


Figura 12. Planta de un tramo típico de la galería técnica. Esquema procedente de la memoria descriptiva del proyecto de ejecución.

La galería va afrontando diferentes escenarios de coordinación, entre los que mencionamos los más relevantes:

1. Paso de la galería por encima del túnel de ADIF

El túnel de ADIF discurre de sur a norte, con trazado ascendente hacia el norte y condiciona la cimentación del estadio en las zonas de intersección. En la zona del túnel de acceso al terreno de juego de la esquina noreste, el túnel ADIF alcanza su cota más alta y es la razón de la modificación del trazado del túnel logístico que también asciende para salvar la intersección entre ambos.

2. Lateral oeste: mecanismo de retirada del terreno de juego.

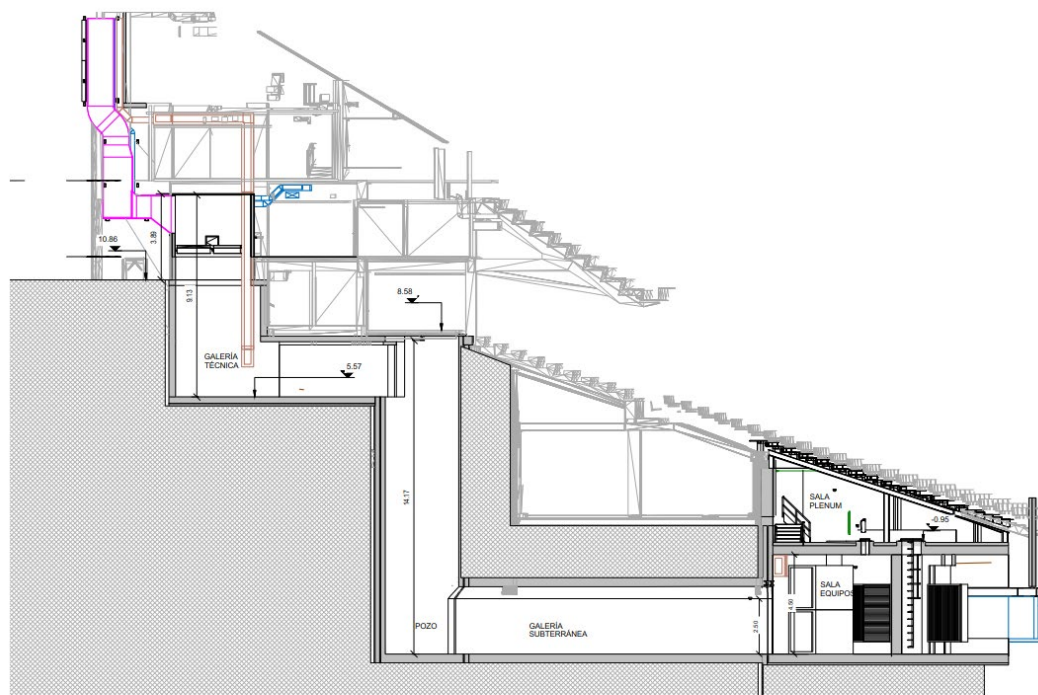
La galería se encuentra en el lateral oeste con el mecanismo bajo grada de retirada de las bandejas del terreno de juego, exigiendo un ajuste dimensional entre ambos proyecto surgidos en distintos momentos en el proceso constructivo del estadio.

3. Ventilaciones hipogeo.

En una de las últimas fases constructivas se aborda el subproyecto de las salas de ventilación del hipogeo. Las salas se sitúan en un nivel inferior al de la galería y el trazado de los espacios para expulsión de aire desde las salas al exterior pasan directamente bajo la galería. (figura 13)

4. Operación en periodo de construcción

Finalmente podemos decir que la utilidad de la galería durante el proceso de construcción resultó esencial en el acceso de personal a todos los sectores de obra, en el transporte de material de construcción y en el trazado de instalaciones provisionales de obra. (figura 14)



① NORTE - SECCIÓN GENERAL
1 : 100

Figura 13. Sección de galería y paso inferior de las ventilaciones desde la sala de hipogeo. Imagen procedente proyecto de ejecución.



Figura 14. Imagen de la galería en proceso avanzado de construcción. Imagen procedente de visitas a obra equipo arquitectura.

6. Grada Abatible

6.1. Descripción

Una de las necesidades que fueron demandadas por la propiedad durante la remodelación del estadio, fue la de encontrar una solución para permitir la entrada al terreno de juego de camiones de gran tonelaje, con los materiales requeridos para permitir la celebración de eventos diferentes a los puramente deportivos. Anteriormente a la remodelación, sólo existía una entrada al terreno de juego en la esquina sureste, que sólo permitía acceso para pequeños vehículos, por tener un gálibo reducido y un trazado quebrado en planta.

Para solucionar este problema el proyecto aporta una entrada directa desde el nuevo aparcamiento abriendo una vía de acceso inmediato hasta el terreno de juego. Esta vía de acceso es posible haciendo que una sección de grada sea abatible.

6.2. Requerimientos estructurales y arquitectónicos

El requerimiento para arquitectura es el de permitir el paso de un vehículo con gálibo de 4.50 metros y con un ancho de paso de 4.50 m.

La grada abatible debe ser idéntica en su geometría a las secciones adyacentes y para el usuario final, no debe haber diferencia entre butacas ni entre el espacio de acceso a las mismas. Por último la solución debe tener una resistencia al fuego respecto a grada de REI 120 y respecto a recintos interiores REI 180

6.3. Solución desarrollada

Para resolver esta necesidad se decidió que una parte de la grada de público se pudiera elevar de forma suficiente para generar un acceso cómodo de los camiones al estadio. Se desarrolla una grada elevable de dimensiones finales de 15,00 x 5,80 m que en posición de cierre es indistinguible del resto de la grada y en posición abierta permite el paso de vehículos con un gálibo de 4.50 metros y un ancho de paso de 4.50 metros.

La solución encontrada para solventar el movimiento de elevación de esta parte de la grada, fue crear una estructura metálica montada sobre bisagras ancladas a la losa en voladizo del estadio y utilizar dos columnas de elevación montadas en ambos laterales en el suelo del acceso de camiones, para empujar la estructura hasta su completa apertura (o cierre). Cada una de las columnas de elevación fue dotada de su propio motor eléctrico y ambos motores trabajan de forma sincronizada para generar el movimiento de apertura y cierre de la grada.³

La tecnología mencionada, conocida en el mundo del teatro y espectáculos y poco utilizada en otros sectores de la construcción, consiste en una columna desplegable a partir del ensamblaje de dos bandas de acero inoxidable entrelazadas que forman una columna firme y estable. Para su instalación no es necesaria excavación alguna, puesto que tiene una altura plegada inferior a un metro y la columna desplegada puede alcanzar alturas de hasta 12 metros, con una alta resistencia y un mínimo mantenimiento.

El reto de ingeniería fue conseguir que las columnas, que solo pueden aguantar esfuerzos axiales, pudieran adaptarse al movimiento radial de la grada absorbiendo el giro que se producía durante el movimiento. Para resolver esta dificultad, cada una de las columnas fue instalada sobre un balancín en la base del túnel y otro en la posición de la estructura de la grada donde genera el movimiento de empuje, de tal manera que la columna solo recibiera carga axiales. figura 14. Cabe destacar que el movimiento combinado de elevación de grada y giro sobre eje horizontal, no se presenta en el mundo de escenografía teatral, siendo ésta la primera vez que se atiende esta casuística.

³ Sistema de articulación de la grada móvil desarrollado por Chemtrol División Teatro S.A. Producto; Spiralift del fabricante Gala Systems INC.,

Para completar el diseño de la grada, considerando las cargas estáticas que produce el público durante las diferentes actividades del estadio, se consideró la necesidad de que la grada debería estar enclavada cuando estuviera en su posición cerrada, evitando sobrecargas sobre las columnas.

Además de la solución mecánica, se incorporó un sistema de control para la operación de la grada. Se trata de un sistema que permite la sincronización electrónica de los motorreductores eléctricos, que cuentan con un codificador para la supervisión del posicionamiento de las columnas y gestionar la posible desviación que pudiera haber en el despliegue o recogida entre las columnas. A cada columna se les incorporó la célula de carga para que el sistema pudiera monitorizar la carga de cada columna y la diferencia de carga entre columnas en cada momento. El sistema que controla a su vez la operación de apertura y cierre de los enclavamientos de apoyo, tiene unos finales de carrera mecánicos de seguridad (como redundancia de los codificadores) y un sistema de supervisión de integridad de la columna. (figura 15, figura 16)

La operación de la grada se realiza desde una consola táctil donde se tiene la información en tiempo real de los elementos descritos anteriormente.

Características:

- Dimensiones: 15,00 x 5,80 m.
- Peso propio de la grada: 15 Tn
- Sobrecarga de uso: 500 kg/m²
- Capacidad de cada columna: 5 Tn
- Capacidad de cada bisagra: 15 Tn
- Capacidad de cada enclavamiento: 25 Tn
- Holgura dimensional: Inferior a 10 mm

Los acabados de la grada abatible, se conforman con una chapa de acero lacrimada fijada sobre estructura tubular de acero y acabado superficial con pintura antideslizante sobre la que se fijan las butacas, que son idénticas a todas las del estadio. El movimiento de la grada abatible se realiza exclusivamente en ausencia de público.

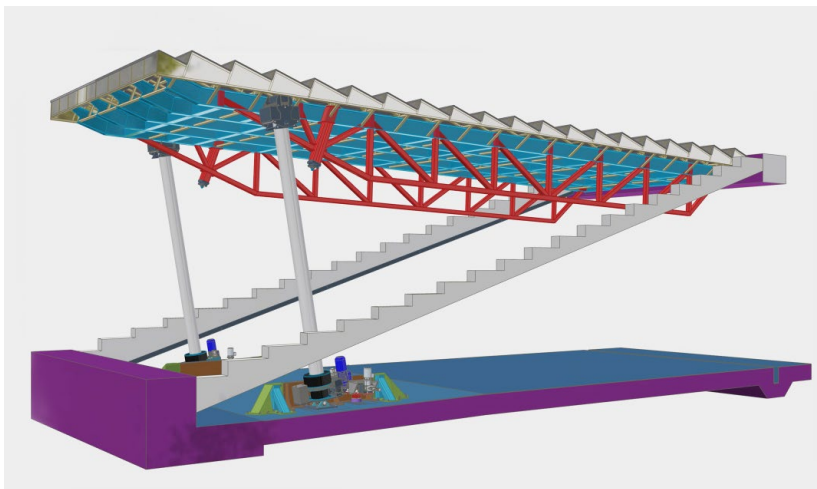


Figura 15. Imagen modelo de estudio proporcionada por el fabricante del mecanismo de movimiento de la grada.

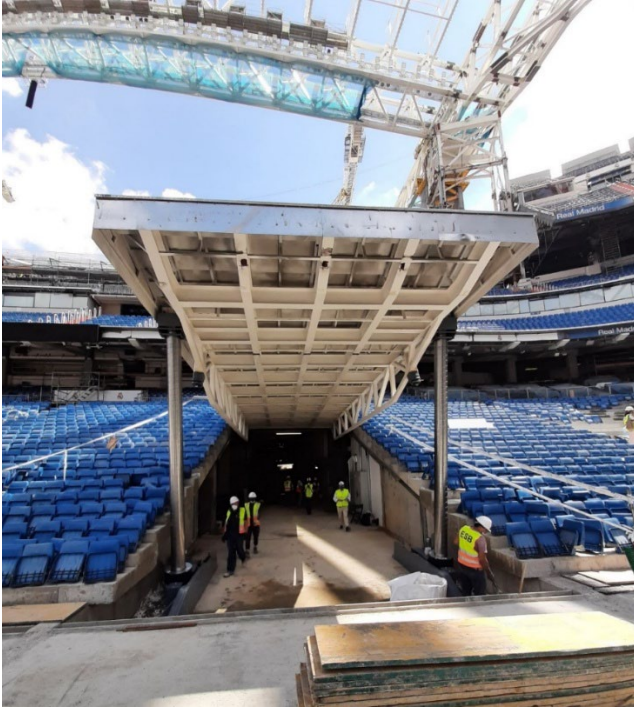


Figura 16. Imagen de pruebas del sistema previas a entrada en funcionamiento. Imagen proporcionada por fabricante.

7. Túnel de carros

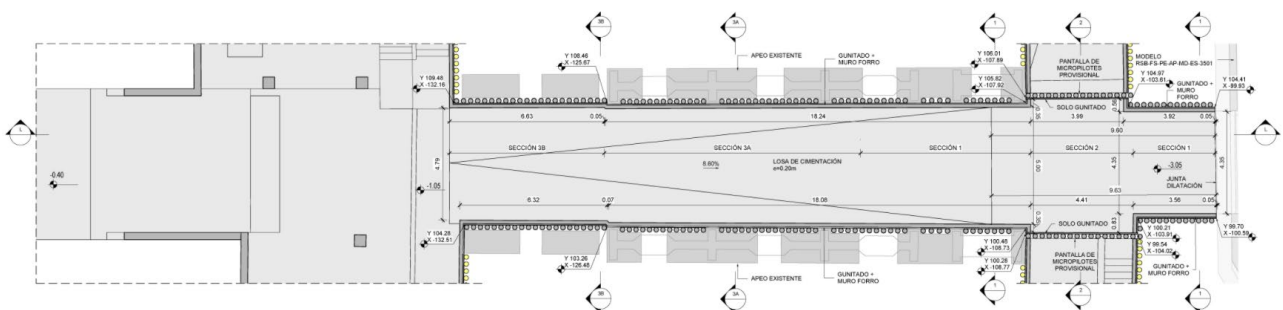
7.1. Descripción

La conexión necesaria entre el terreno de juego y el muelle de carga se realiza a través de un tramo de galería denominada “Túnel de carros”. Este tramo de galería, situado entre dos alineaciones de pórticos del estadio, requiere de un ancho y un gálibo mínimo que el estadio no posee. El planteamiento del túnel de carros va unido al de la grada abatible que ya hemos tratado previamente (figura 17)

7.2. Requerimientos arquitectura

Se requiere el ancho de paso y el gálibo especificado en el apartado anterior. La pendiente de la rampa de acceso se limita a un 10% y se debe poder acceder en vehículo tanto al nivel de terreno de juego (césped) como el de plataforma sobre la que descansan las bandejas de césped cuando hay un evento que se realiza sobre esta plataforma.

7.3. Solución desarrollada



- En los pilares con menores cargas se proyecta un apeo pasivo mediante un recrado de los pilares y apoyo del refuerzo sobre encepado de micropilotes
- Los pilares con cargas elevadas se recalzan mediante un apeo activo, consistente en desviar la carga de los pilares existentes mediante vigas de transferencia hasta nuevas cimentaciones de encepados con micropilotes. La carga a desviar del pilar más solicitado ronda los 4000 kN

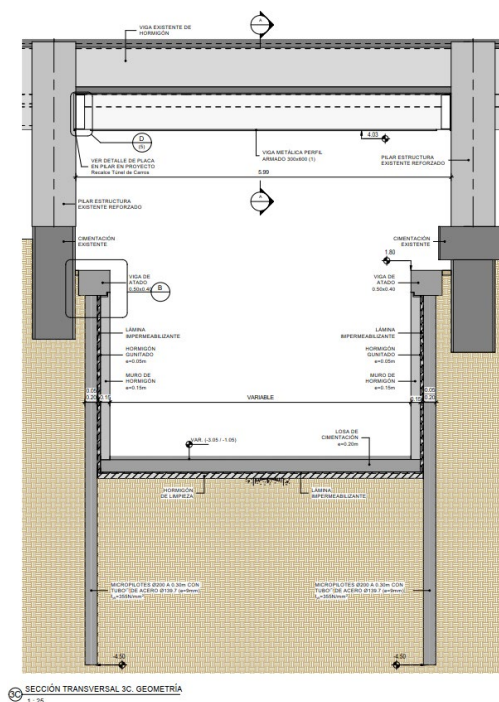


Figura 26. Sección transversal de proyecto del túnel de carros donde se aprecia la cota de las cimentaciones existentes y la nueva construcción a cota inferior. Procedente del proyecto de ejecución.

8. Losas de transición en el skywalk

8.1. Descripción

El skywalk es uno de los elementos que identifica al estadio. Arquitectónicamente se entiende como un único elemento anular que recorre los cuatro lados del estadio, mientras que estructuralmente se trata de cuatro secciones distintas, que tienen diferente comportamiento: las secciones este y oeste se apoyan de modo indirecto en el cordón inferior de la viga corona que rodea la cubierta y las secciones norte y sur cuelgan de las cerchas de fondo que, a su vez, están conectadas a las cerchas principales en dirección este-oeste. Cada una de las cuatro secciones del skywalk se desplaza horizontal y verticalmente según la rigidez de la estructura a la que está conectada y según las condiciones de viento y carga que pueden afectar cada zona de modo diferente. El skywalk, se considera un espacio de alto nivel representativo merecedor de acabados selectos, es accesible en todo su recorrido y tiene una pendiente variable que se refleja en fachada a través de la línea del peto.

En las zonas de encuentro entre las cuatro secciones estructurales quedan enfrentados los extremos de los forjados de cada sección, separados tan solo por una pequeña losa metálica que debe asumir de modo controlado todas las posibles combinaciones de desplazamientos en ambos extremo (figura 27). A éstas cuatro zonas las denominamos “losas de transición”.

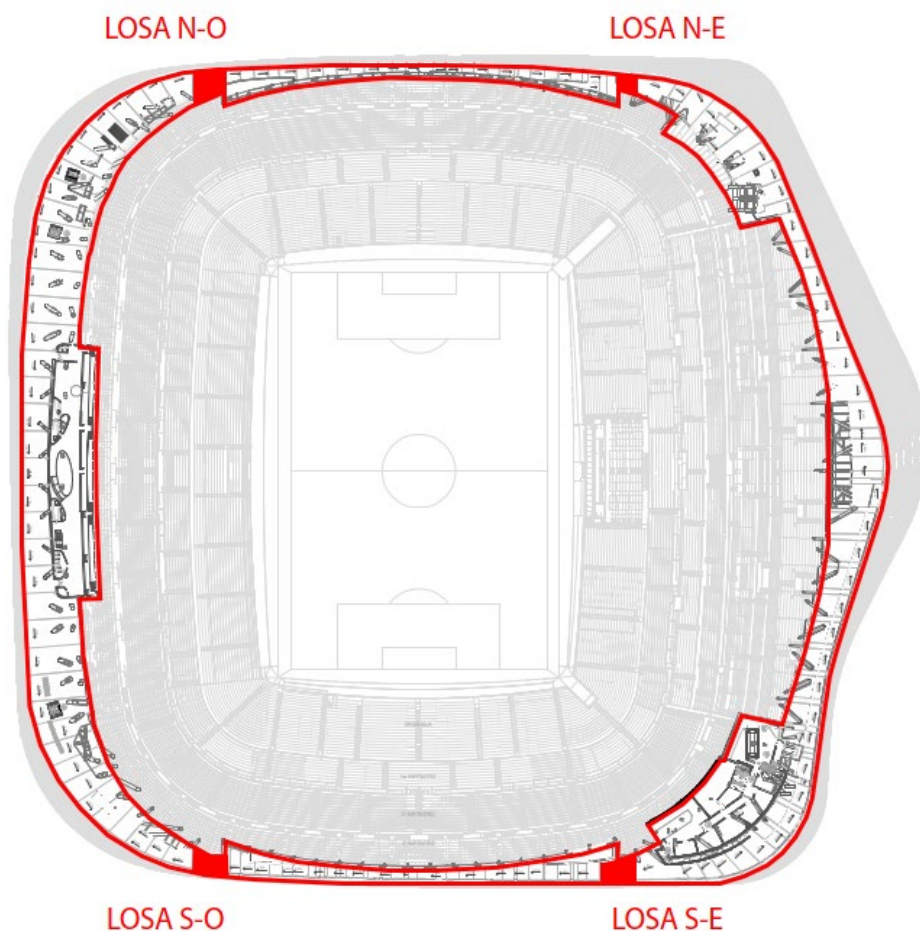


Figura 27. Planta general skywalk en Nivel 10 y ubicación de las losas de transición. Imagen generada para esta publicación.

8.2. Requerimientos estructurales

Las secciones de skywalk se desplazan según el siguiente esquema;

- Sección oeste a sección norte: horizontal n/s $\pm 170\text{mm}$, horizontal e/o $\pm 100\text{mm}$
- Sección norte a sección este: horizontal n/s $\pm 300\text{ mm}$, horizontal e/o $\pm 200\text{ mm}$
- Sección este a sección sur: horizontal n/s $\pm 300\text{ mm}$, horizontal e/o $\pm 200\text{ mm}$
- Sección sur a sección oeste: horizontal n/s $\pm 170\text{ mm}$, horizontal e/o $\pm 100\text{mm}$.

Las cargas a considerar son las habituales en zonas de paso sin previsión de circulación de ningún objeto especialmente pesado.

8.3. Requerimientos arquitectónicos

El club solicitó que la zona accesible del Skywalk, originalmente limitada al lateral oeste, se extendiese a los cuatro lados, por lo que fue preciso revisar el planteamiento de las pendientes longitudinales en todo el desarrollo, especialmente en el lateral este, (hacia la calle Padre Damián) donde se hizo preciso alternar zonas de pendiente con descansillos horizontales. Según DB-SI, se requiere una resistencia al fuego relativa a recintos ventilados (abiertos) de R120 y relativa a recintos interiores REI 180. Por último, por ser un espacio transitable, no eran admisibles huecos en pavimento de tamaño mayor a 2 cms. La superficie del Skywalk es una pendiente de inclinación variable que requiere un sistema flexible de solado que pueda absorber esa variabilidad. Para la recogida de pluviales se pensó desde un comienzo en un tipo de solución de suelo elevado con un fondo inferior donde se recogería el agua de lluvia. El diseño acabó orientándose hacia un pavimento elevado de lamas de madera sintética que aporta resistencia y durabilidad cumpliendo con todos los requisitos técnicos y del cliente, con el nivel que merece un espacio tan representativo como éste. Bajo este nivel de pavimento acabado se desarrolla la impermeabilización y recogida de agua ejecutada directamente sobre el forjado.

En las losas de transición, a todos los requerimientos anteriores, se debía sumar la condición de tener que admitir los desplazamientos diferenciales entre los dos extremos de estas zonas.

8.4. Solución desarrollada

Las losas de transición se solucionan simultáneamente como estructura y como elemento de paso. Todos los componentes de estas losas juegan simultáneamente un papel activo estructural y suponen un elemento presente y necesario de cara al paso del usuario. Se diseñaron unas forjados metálicos estrechos y largos (1900mm ancho y largo variable no inferior a 3050 mm) en forma de “T” dispuestos en perpendicular a fachada del estadio que dejan unas juntas entre sí en sentido perpendicular al desplazamiento por el skywalk. Estos forjados quedan fijados a un entramado inferior metálico que fue diseñado para admitir desplazamientos y giros en ambos extremos. Los forjados (los llamamos “teclas” en proyecto por su parecido a las teclas de un piano) se mueven a la vez que su elemento de soporte y además su fijación permite el desplazamiento en el mismo plano de piso de uno frente al otro, en “cizalla”. (figura 28, figura 29)

La pequeña junta que queda entre las teclas, incorpora un material elástico que puede absorber deformaciones y volver a su posición inicial.

Las barandillas interiores de este espacio hacia el Bowl incorporan un sistema similar asegurando la seguridad y permitiendo el movimiento de las piezas a las que están sujetas.

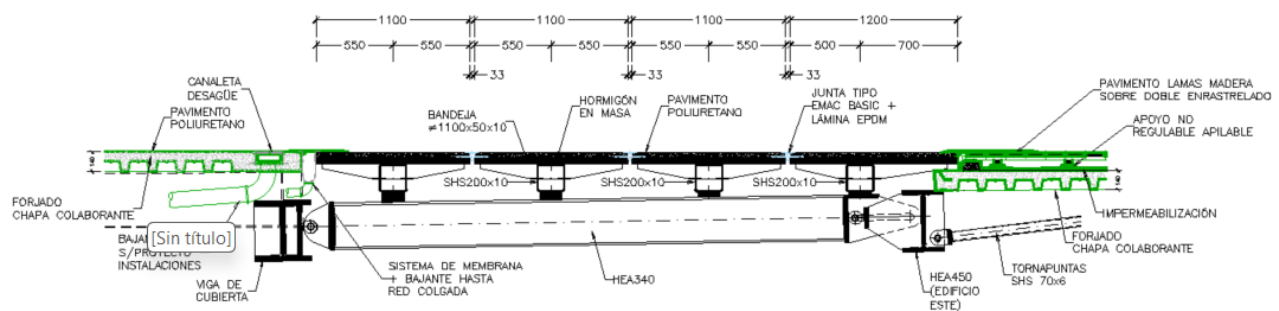


Figura 28. Sección de proyecto de una de las losas de transición. En verde los forjados de las secciones oeste (izquierda) y sur (derecha) del skywalk. En el centro el planteamiento de proyecto para configuración de las “teclas”. Esquema en sección de fase de estudio de proyecto.

realiza free-cooling-. Estos caudales de aire exterior son de 1.565 / 20.500 m³/h. Cada una de las bandejas del terreno de juego es tratado por consiguiente con dos UTAS, dispuestas en cada uno de los extremos norte y sur.

b. Ventilación específico de testeros norte y sur.

Son los sistemas que aportan el aire de ventilación y extracción de las diferentes salas existentes (despachos, aseos, vestuarios, almacenes y cuartos técnicos). Los caudales de aire exterior y extracción son de 9.328 y 12.619 m³/h respectivamente en áreas norte y sur.

c. Ventilación del Fondo del Hipogeo.

El sistema aporta aire de ventilación por zona norte y es expulsado por la zona sur. El caudal de aire de ventilación es de 3.968 m³/h.

d. Presurización de aire de escaleras de evacuación.

Sistema de aporte de aire para mantener la escalera de evacuación en sobrepresión (en caso de incendio). El caudal de impulsión a escaleras es de 15.649 m³/h en cada zona. Cuando el sistema se encuentra operativo (por alarma de incendios) el resto de los sistemas de climatización y ventilación se han parado por protocolo de incendios.

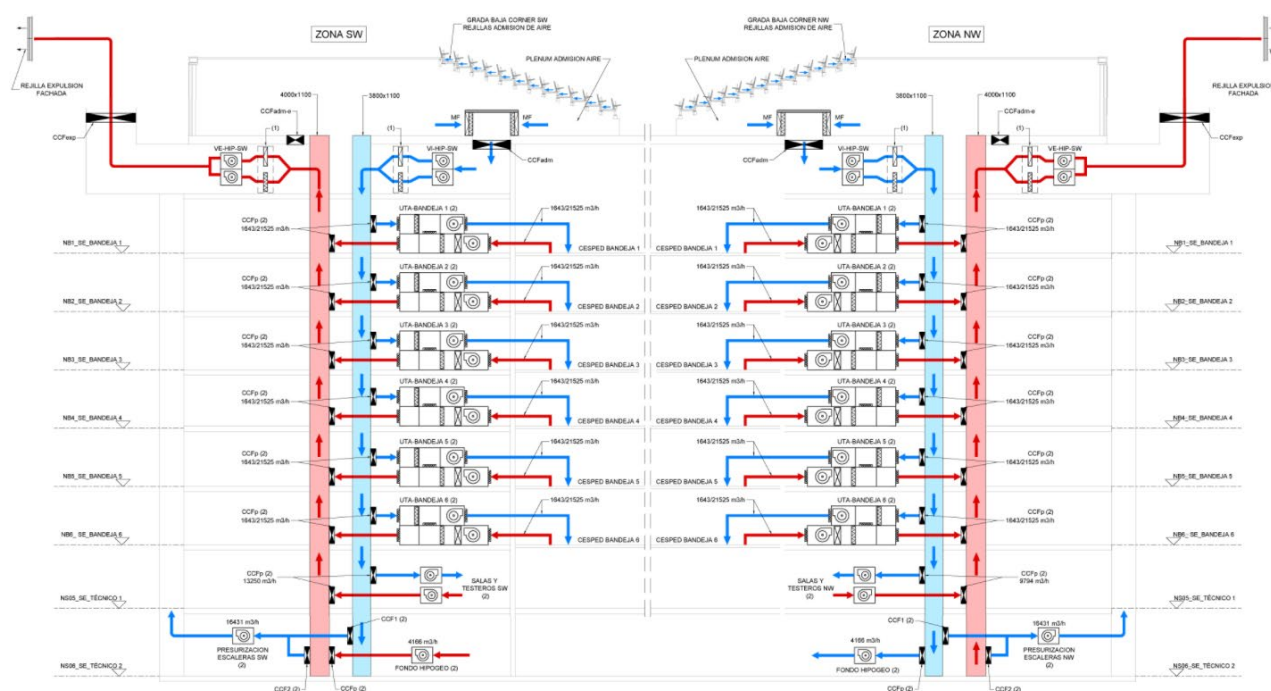


Figura 30. Esquema de proyecto del principio para el aporte y extracción de aire para el hipogeo. Procedencia proyecto de ejecución de la ventilación del hipogeo

9.3. Requerimientos arquitectónicos

El requerimiento básico y esencial desde el punto de vista de la arquitectura del estadio, es el de dar solución a la toma y expulsión de aire, con el mínimo impacto visual hacia los espectadores y operacional hacia el club.

9.4. Requerimientos estructurales

El espacio para equipos requiere una nueva estructura enterrada que necesariamente interfiere con los muros de micropilotes de la galería técnica, la gran caja de hormigón del contenedor del hipogeo y la grada baja. Se requiere de la solución estructural el mínimo impacto hacia todos y cada uno de estos elementos y la consideración de propuestas compatibles con el uso del estadio. Para los elementos estructurales que discurren bajo la grada oeste,

se requiere un estudio detallado de estabilidad del terreno que asegure que en ningún momento se compromete la estructura existente.

9.5. Solución desarrollada

Las secciones de las figuras 31 y 32 permiten una visión global sintética de los elementos que se diseñaron para abordar esta necesidad. (figura 31, figura 32)

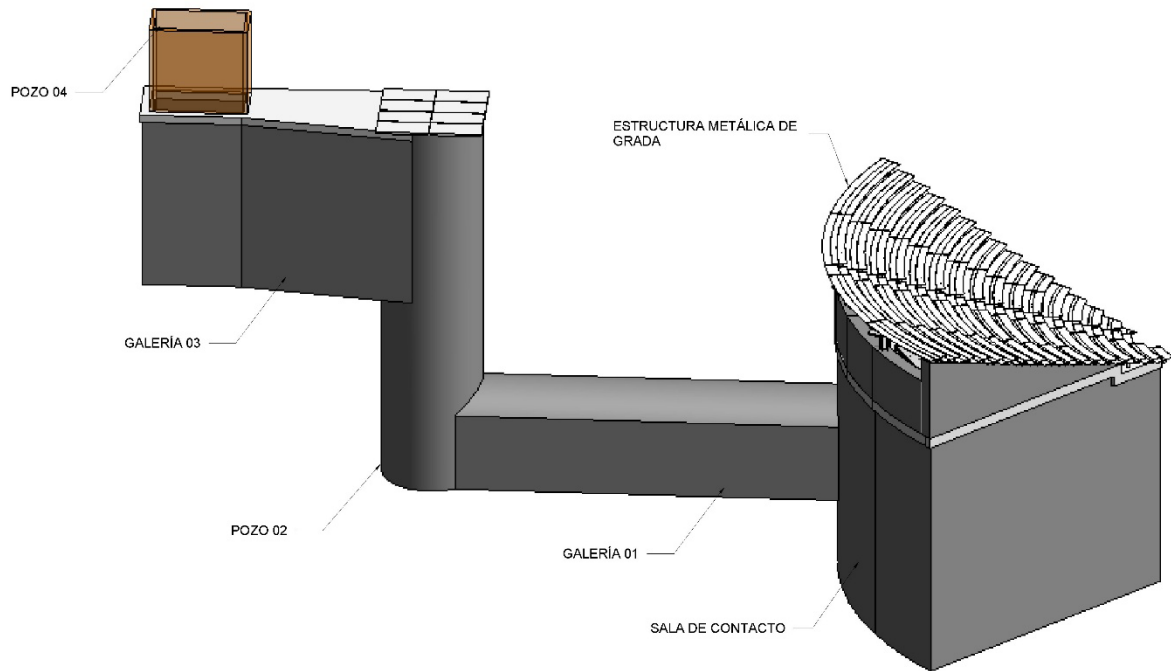


Figura 31. Vista tridimensional del conjunto de elementos que componen la solución proyectada para cada uno de los puntos de toma de aire y expulsión. Gráfico elaborado para esta publicación.

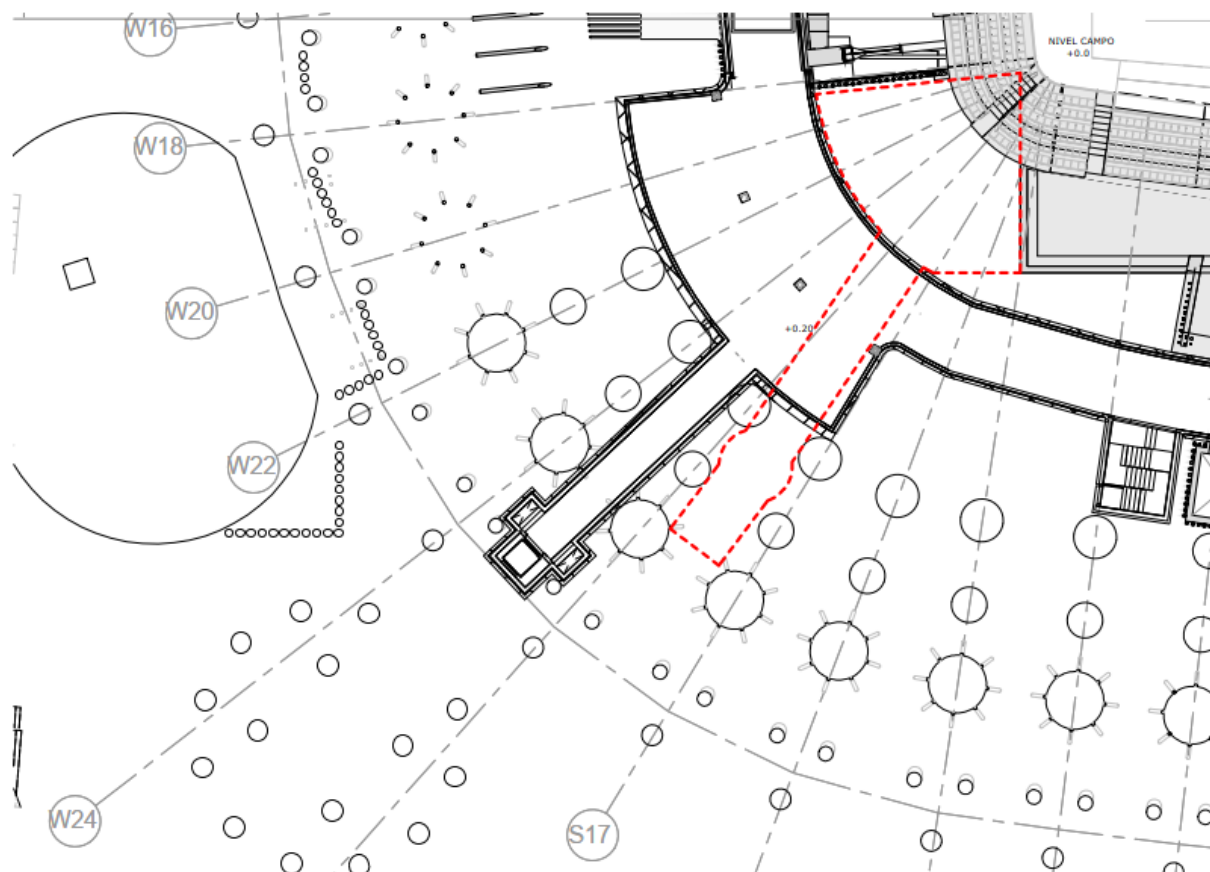


Figura 32. Planta general nivel de cimentación de toma de aire sur. El trazado del espacio para ventilación discurre bajo la galería técnica y se ajusta a la ubicación de la cimentación existente del lateral oeste del estadio

a. Salas de contacto. Se crean dos salas en los extremos norte y sur del hipogeo, que llamamos “salas de contacto”. Estas salas quedan encajadas entre el muro perimetral del hipogeo, los espacios bajo grada oeste en los que se disponen los mecanismos para el movimiento de las bandejas, y la galería técnica que discurre por un nivel superior. Las salas de contacto tienen forma triangular en planta y un nivel superior para toma de aire hacia ventiladores y un nivel inferior donde se sitúan en dos cuartos separados los ventiladores de impulsión y los de expulsión.

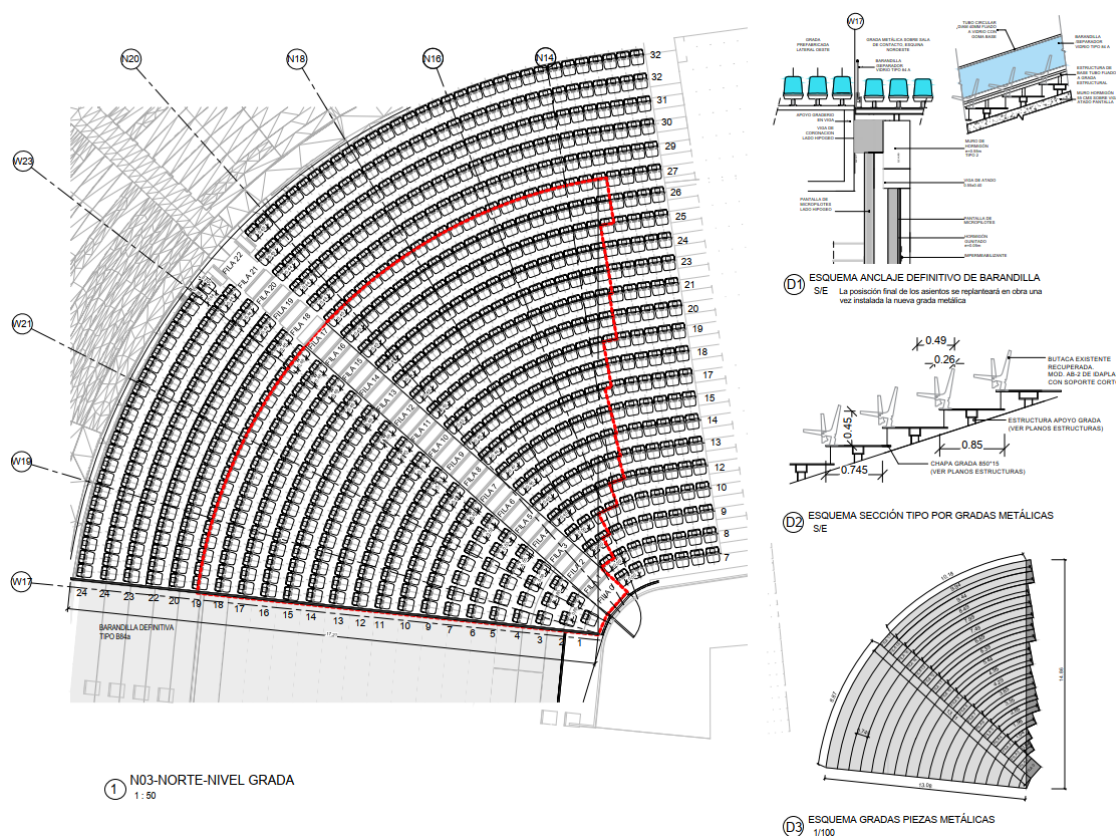


Figura 33. sección grada sobre sala de toma de aire.

La grada situada sobre la sala de toma de aire, se solucionó con unas vigas metálicas en sección T (cajón cerrado con trazado curvo adaptado a cada nivel de grada y chapón de 15 mm de espesor y 85 cms de ancho) que dejan el espacio de contrahuella libre para el paso de aire (figura 33). Para el espectador, esta grada es indistinguible de las adyacentes de grada baja. El diseño metálico de la grada con cajón cerrado permite resistir la torsión provocada por la excentricidad de cargas y la directriz curva de las vigas.

El muro curvo que limita la sala de contacto hacia la galería precisó de una coordinación detallada hacia la estructura ya ejecutada y operativa de la galería técnica y las del cajón del hipogeo, en el que se realizó la apertura de un hueco de gran dimensión para el paso de conductos de aporte y extracción de aire. (figura 34)



Figura 34. Imagen proceso constructivo de las salas de contacto con arriostros temporales. Fotografía tomada por el equipo de diseño en visita a obra

La sala bajo grada quedó diáfana como espacio de plenum de toma de aire, incluyendo el tratamiento acústico de las paramentos interiores (figura 35, figura 36)

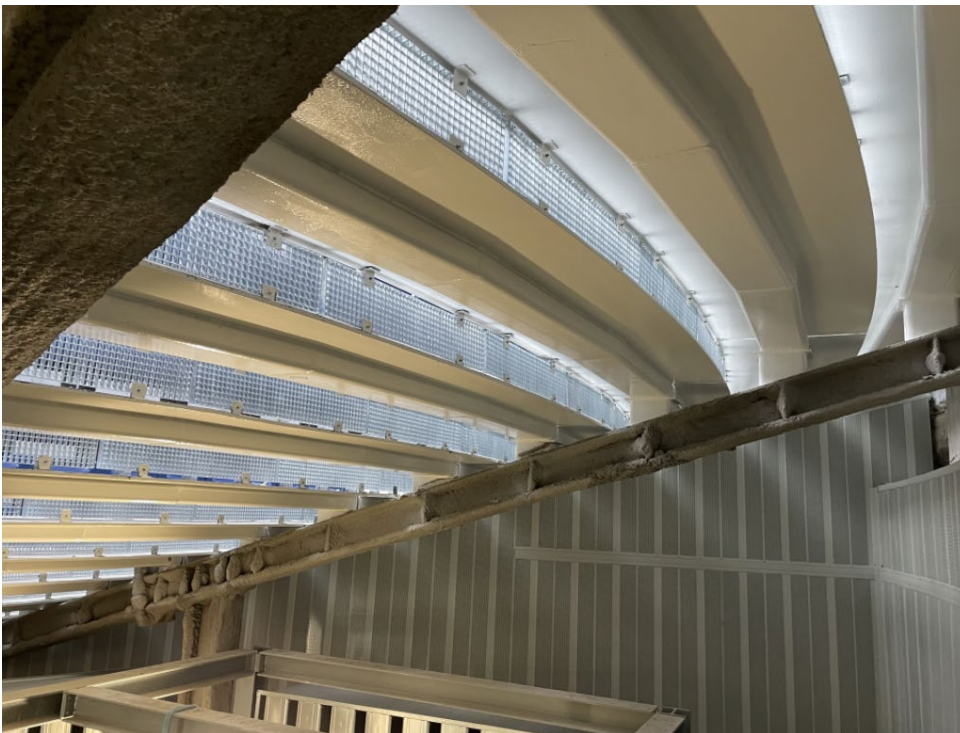


Figura 35. Imagen proceso constructivo desde sala de toma de aire bajo grada hacia la grada donde se aprecian las tabicas de rejilla metálica para toma de aire. Imagen tomada por equipo de diseño en visita a obra



Figura 36. Imagen de tabicas de rejilla metálica en zona de grada baja para toma de aire. Imagen tomada por equipo de diseño en visita a obra.

b. Extracción enterrada. Para la extracción de aire, se diseñaron pozos y galerías que discurren bajo la grada oeste, esquivando la cimentación existente hasta llegar a nivel suelo de nivel de calle donde se transfieren a conductos aéreos. (figura 37, figura 38, figura 39)

Se diseñó un sistema de excavación para galerías y pozos con pasos de avance de un metro y desviaciones máximas de 2 milímetros.

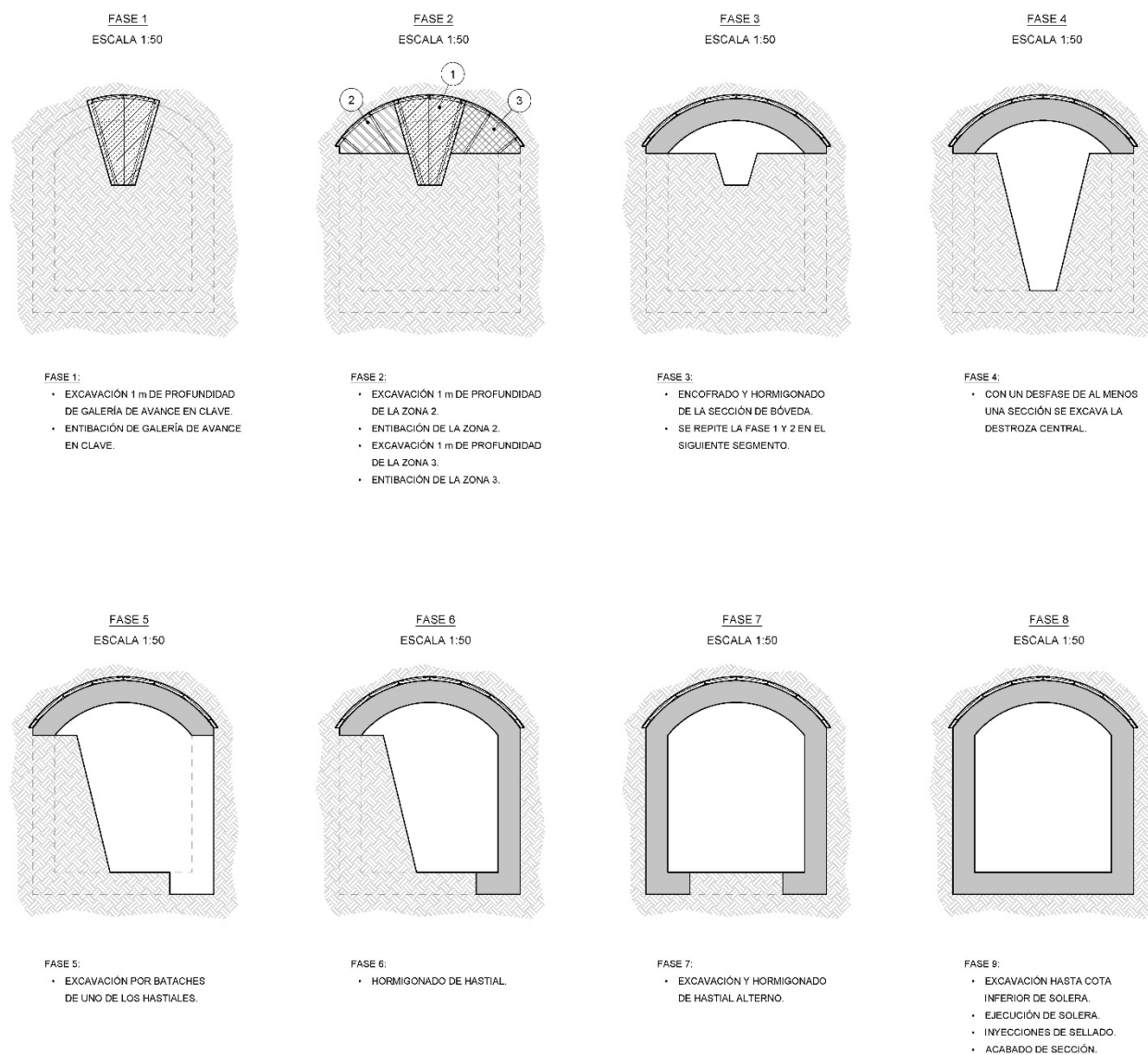


Figura 37. Esquema proceso constructivo de la galería de extracción de aire bajo galería técnica y cimentaciones existentes en lateral oeste. Esquemas procedentes de proyecto de ejecución de la ventilación del hipogeo

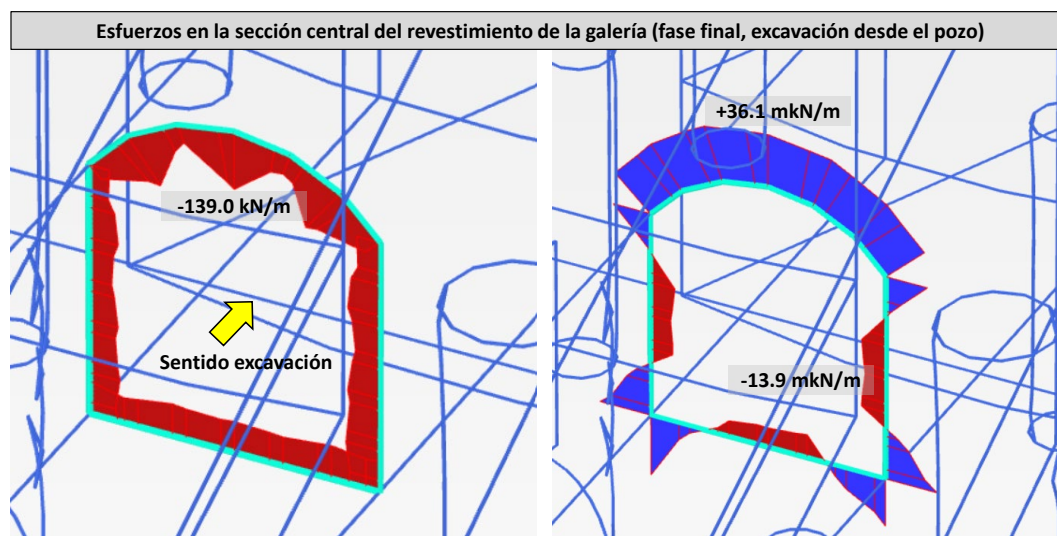


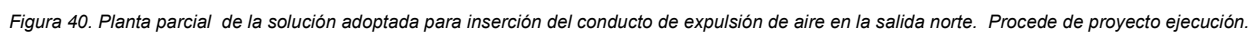
Figura 38. esfuerzos en la sección central del revestimiento de galería, sentido de avance del pozo. Procedencia proyecto ejecución.



Figura 39. Imagen de galería subterránea de extracción de aire en el momento de instalación de paneles acústicos. Fotografía tomada por equipo de diseño en visita a obra

c. extracción aérea.

Se seleccionaron los puntos en los que los trazados subterráneos debían emerger a superficie para que fueran compatibles con los requerimientos de circulación de público, normativa de evacuación y accesibilidad. (figura 40). La inserción conductos de grandes dimensiones en espacios que ya soportaban condicionantes diversos supuso un ejercicio de exploración de alternativas exhaustivo. (figura 41)



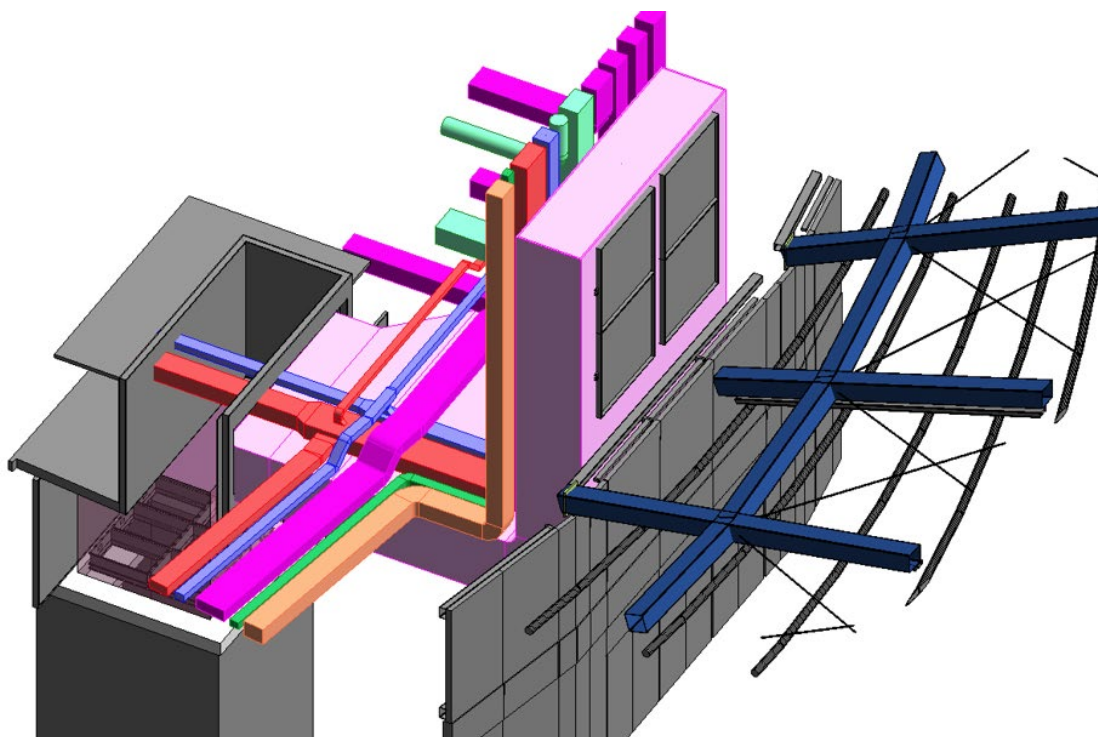


Figura 41. Vista del modelo de trabajo del conducto de expulsión de la zona sur, coordinado con resto de conductos en ese mismo espacio. Procede proyecto ejecución.

10. Coordinación general

El equipo de arquitectura (*) asumió la coordinación general de todos los equipos implicados en el proyecto, incluyendo los de estructuras, instalaciones, geotecnia, BIM, envolvente arquitectónica, evacuación, accesibilidad, entre otros que conformaron como equipo de diseño. A ellos se sumaron los equipos aportados por el club especializados en ámbitos como la disposición de tornos, la seguridad, sistemas audiovisuales o el diseño interiores. Asimismo, se coordinó el trabajo de los equipos de paisajismo, responsables de definir la totalidad del espacio exterior de acceso público que rodea el estadio. Las actividades desarrolladas en esta labor de coordinación de proyecto son las siguientes:

- a. **Sincronización** del proceso de diseño con la secuencia planificada de obra, elaborando una matriz de planificación en la que se relacionan hitos de entrega de subproyectos con los correspondientes objetivos de entrada en operación de partes delimitadas del estadio que se conocen como “Fases autónomas”, cada una susceptible de ser planteada como expediente individual con licencia de apertura propia compatible con el resto del estadio.
- b. **Desarrollo y liderazgo** del proceso de transformación del proyecto preliminar hacia el proyecto constructivo, estableciendo la comunicación necesaria entre equipos para obtener un resultado final equilibrado y ajustado en imagen y funcionalidad a los requerimientos del club.
- c. **Verificación** ininterrumpida del cumplimiento de los **parámetros normativos** obligatorios, entre otros los DB-SUA, DB-SI y los fijados por UEFA y FIFA referentes a visibilidad, seguridad, etc. Se analizan las condiciones de acceso desde el espacio público, puntos de entrada al estadio, medios temporales de acceso, seguridad y compatibilidad en las rutas de acceso y evacuación con la actividad de obra, visibilidad en grada, condiciones de iluminación, dotación de aseos, etc. Se presentan a las autoridades competentes y se atienden los comentarios recibidos de modo inmediato con el objeto de ofrecer en todo momento una experiencia completa y segura al aficionado.
- d. **Asesoramiento** al club sobre las adaptaciones temporales precisas para mantener el acceso y la seguridad en el estadio durante las fases constructivas intermedias; se analizan rutas de acceso temporales, se calculan anchos necesarios de paso según flujos de acceso y salida, se exploran alternativas para mantener un nivel de servicio adecuado al público VIP y presidencia. Junto con el club se revisan in situ exhaustivamente y en cada ocasión todos los puntos de acceso y recorrido del público.
- e. **Aseguramiento** del cumplimiento de las condiciones de licencia: supervisión de áreas totales y de áreas asignadas a usos determinados, control de alturas, retranqueos y volumetría total edificada, condiciones de acceso y aforo total, revisión de usos coadyuvantes, etc.

- f. **Gestión de adaptaciones de proyecto.** Durante el periodo de proyecto y como fruto de la inquietud del club por optimizar las posibilidades de uso del estadio, se producen modificaciones en el programa de usos que incluyen tanto zonas de tránsito de público general como espacios VIP, y que precisan de análisis normativo. El *equipo de diseño* recoge estas modificaciones, analiza y lidera su implementación por parte de todas las disciplinas.
- g. **Resolución de conflictos.** El proyecto avanza y de modo ineludible se plantean conflictos entre elementos con necesidades divergentes cuando no opuestas. No hay precedentes aplicables en la edificación común porque la escala del estadio y las situaciones que se derivan de ella, no son comparables. En estos casos, un equipo reducido de especialistas explora los motivos que originan el conflicto y propone vías de solución compatibles que se someten a crítica interna y se depuran hasta llegar a un resultado ejecutable y seguro.
- h. **Consistencia en diseño:** El estadio es una experiencia completa: desde el primer avistamiento del bloque singular que supone el estadio en la trama urbana, hasta que el espectador está en su localidad, se suceden una multitud de imágenes creadas en todos los espacios intermedios del estadio. Es crítico que el discurso sea único y coherente a lo largo de todo el proceso. El *equipo de arquitectura* aborda la materialización en proyecto de los detalles constructivos que marcan estos espacios; desde una colección amplia de barandillas, pasamanos, protecciones, la definición de acabados en las zonas de tránsito, rampas, escaleras y pasillos, integración de instalaciones vistas, buscando una alta calidad visual y funcional y asegurando la integración entre disciplinas.

11. Conclusiones

La remodelación del Estadio Santiago Bernabéu ha representado un ejercicio excepcional de coordinación entre arquitectura e ingeniería, en el que la magnitud de la intervención y la ausencia de precedentes exigieron soluciones técnicas innovadoras y una comunicación constante entre disciplinas. La integración de elementos estructurales singulares —como torres de acceso, péndulos, juntas estructurales especiales, galerías técnicas, gradas abatibles y losas de transición— permitió compatibilizar requerimientos funcionales, normativos y arquitectónicos sin comprometer la experiencia del usuario ni la operatividad del estadio durante las fases constructivas. Este proceso ha demostrado que el trabajo colaborativo y la planificación estratégica son esenciales para materializar proyectos de gran complejidad técnica y urbana, garantizando resultados coherentes, seguros y de alta calidad.

12. Agradecimientos.

Expresamos nuestro agradecimiento a tantos técnicos de una gran cantidad de empresas que aceptaron nuestra labor de coordinación, al club por entender y apoyar las cuestiones que siendo obligatorias podrían no ser su primera opción para resolver un conflicto y al equipo FCC a cargo de este proyecto por su capacidad de liderarnos y motivarnos a todos creando un ambiente positivo indispensable para alcanzar la meta común.

13. Referencias

- [1]. del Rio, S., Martínez Salcedo, J. (2025). Diseño y construcción de la estructura de cubierta fija . *Revista Hormigón y Acero* .
- [2]. del Rio, S., Martínez Salcedo, J., Yustres Real, A., Curbelo Díaz, A . (2025). El edificio oeste: las torres -- la corona- la viga museo. . *Revista Hormigón y Acero* .