

Nueva cubierta del Estadi Mallorca Son Moix

Estadi Mallorca Son Moix stadium new roof

Asier Castaño Ávila^a, Juan Andonegui Querejeta^b y Peru San Miguel^c

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LANDABE Ingeniería. Director de Proyectos. asier.castano@landabe.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LANDABE Ingeniería. Director General. juan.andonegui@landabe.com

^c Ingeniero Industrial. LANDABE Ingeniería. Ingeniero de Proyectos. peru.sanmiguel@landabe.com

RESUMEN

El Estadi Mallorca Son Moix se ha sometido a una compleja remodelación, dentro de la cual, como elemento de mayor singularidad se encuentra la nueva cubierta sobre la Tribuna Sol. Se presenta el diseño, desde la concepción hasta la ingeniería de detalle en obra, y el procedimiento constructivo llevado a cabo para realizar esta nueva cubierta.

ABSTRACT

The Estadi Mallorca Son Moix has undergone a complex refurbishment, within which, as the most particular element, is the new roof over the Sun Grandstand. The design is presented, from conception to detailed on site engineering, and the construction procedure carried out to make this new roof.

PALABRAS CLAVE: Estadio, fútbol, cubierta, celosía, acero, PVC

KEYWORDS: Stadium, soccer, roof, truss, steel, PVC

1. Introducción

El proyecto de remodelación del estadio tiene los siguientes objetivos generales:

- Dotar a la instalación deportiva de polivalencia, incorporando la posibilidad de realizar otros usos.
- Dinamizar actividad empresarial, facilitándoles infraestructuras dentro de las instalaciones.
- Impulsar y facilitar la movilidad sostenible.
- Arropar al equipo con la afición, acercando el graderío bajo al terreno de juego, ocupando la superficie de las actuales pistas de atletismo, manteniendo el aforo actual.
- Creación de un hospitality en la tribuna principal.
- Implementar una residencia para el fútbol base de formación.
- Proporcionar una cubierta para proteger a los espectadores de la tribuna Sol.
- Dotar al conjunto de estrategias para la reducción de la demanda energética y eficiencia energética.
- Habilitar un aparcamiento cubierto.
- Habilitar locales comerciales en el fondo norte que propicien la integración urbana.
- Integrar zonas de almacenaje.
- Permitir la ejecución por fases diferenciadas de las intervenciones propuestas, al objeto de poder coordinar las obras con la actividad del club.



Figura 1. Infografía con la propuesta de remodelación del estadio.

Dado que uno de los objetivos es crear una cubierta en la tribuna Sol, es necesaria una intervención estructural para definir la nueva cubierta, así como su instalación sobre los pórticos existentes.

2. Diseño y cálculo

Es importante comentar que el proceso de diseño ha sido ligeramente diferente al de una obra pública convencional. Inicialmente se desarrolla un diseño estructural general, definiendo geometría global, con detalles constructivos generales, suficientemente desarrollado para poder valorar y adjudicar la obra. En una segunda etapa, junto con las empresas adjudicatarias, se realiza una revisión pormenorizada y se realiza la ingeniería de detalle, con la definición de uniones y detalles específicos.

2.1 Diseño conceptual

En todo el proceso conceptual se ha trabajado estrechamente con el estudio de arquitectura Izaskun Larzabal, responsable de la remodelación del estadio.

Los objetivos de diseño son: ligereza visual y coherencia estética; integración en la estructura existente; diseño funcional relativo a incorporación de megafonía, iluminación, evacuación de aguas, pararrayos y mantenimiento; y viabilidad constructiva compatible con el uso del campo.

Tras varias propuestas, con apoyo de modelos tridimensionales, se llega a la solución definitiva de cerchas en voladizo sobre pórticos alternos, unidas por correas de curvatura cóncava y pasarela colgada, retranqueada de la punta.

El sistema estructural de celosía dota de ligereza a estructuras de gran canto. Se han cuidado las proporciones de la celosía en

voladizo, haciendo un canto variable, acabando en punta simple el cordón inferior, aligerando la vista frontal de la cubierta. También dispone de un pequeño vuelo trasero para conformar un cierre en curva.

Es importante tener en cuenta que la envolvente de la cubierta es una membrana de PVC, la cual se encuentra tensada y trabaja por forma, de tal modo que ha sido necesario trabajar la curvatura tanto a nivel transversal como longitudinal. Un aspecto fundamental de este tipo de envolventes son los detalles de fijación a la estructura principal y los drenajes, los cuales se han trabajado con gran detalle.

Se decide colgar la pasarela de mantenimiento y alejarla de la punta para conseguir aligerar la visual frontal y para que se perciban como dos elementos diferenciados.

El refuerzo de los pórticos existentes se realiza mediante un armazón metálico con pasadores, el cual se ha pretendido integrar lo máximo posible. Se ha cuidado el detalle de arranque sobre el armazón de las patas de apoyo de las cerchas, así como el detalle de unión de dichas patas con la propia cercha.

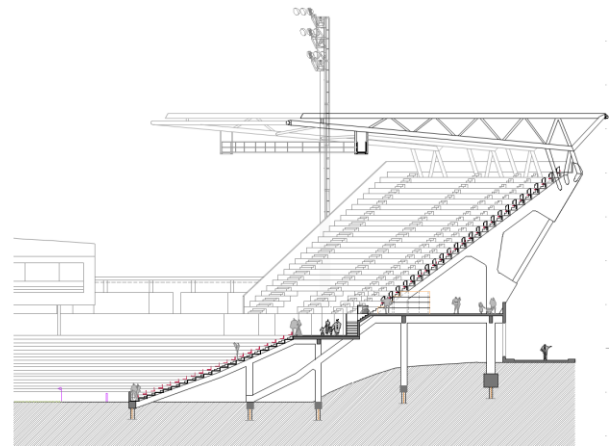


Figura 2. Sección en perspectiva de diseño de cubierta propuesto.

2.2 Estructura de cubierta

La nueva cubierta se compone de 14 cerchas en voladizo de sección triangular con perfiles tubulares circulares y alzado de celosía tipo Warren. Cerca de la punta se dispone la pasarela de mantenimiento que alberga diversas instalaciones. Las cerchas se sustentan conectándose con los pórticos, de forma alterna, mediante un empotramiento triangulado..

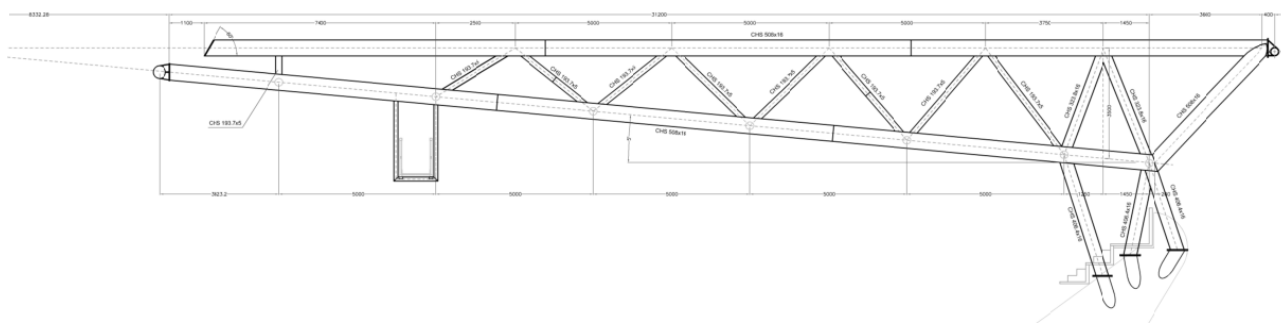


Figura 3. Alzado de celosía tipo.

Cabe mencionar la coyuntura del sector en el momento de diseño de la cubierta, puesto que era una situación post-pandemia, con la potencia China construyendo grandes obras civiles, que acaparaban gran parte de la producción de acero del mundo, y con la guerra de Ucrania en sus inicios, habiéndose paralizado en gran medida la producción de acero europeo. Esto es importante, además de la repercusión del precio de acero, en la disponibilidad de tubo de acero en el mercado. Inicialmente, el diseño se había

realizado con acero laminado en caliente, sin embargo, finalmente se empleó tubo conformado con soldadura longitudinal certificada, lo cual tiene su repercusión en el diseño frente a inestabilidades locales y globales.

Para su diseño se han elaborado dos modelos de cálculo en paralelo, uno mediante el software CYPE 3D, en el que se realizaban predimensionamientos, y uno mediante MIDAS GEN, en el que se realizaban las comprobaciones finales.

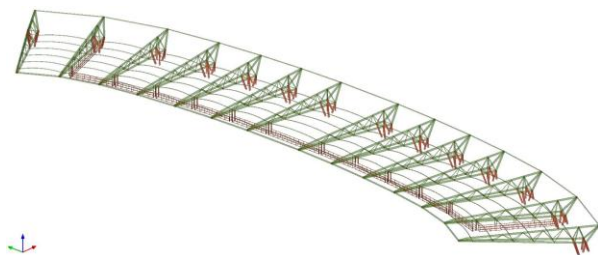


Figura 4. Modelo de cálculo de la cubierta mediante CYPE 3D.

La acción principal sobre la cubierta es el viento, para lo cual se ha seguido lo indicado en el Eurocódigo 1-4 [1] para marquesinas a un agua.

Adicionalmente se ha realizado un análisis pormenorizado de la información de viento disponible. Por un lado, a nivel direccional se han consultado las rosas de viento estacionales en Palma de Mallorca [2], concluyendo que los vientos predominantes rolan a componente ENE con máximos de septiembre a mayo, con una bidireccionalidad entre el SW con máximos en junio. El elemento orográfico más importante en la isla viene determinado por la sierra de Alfàbia al NW, que actúa a modo de cortavientos, tanto para el poniente, como para el septentrión.

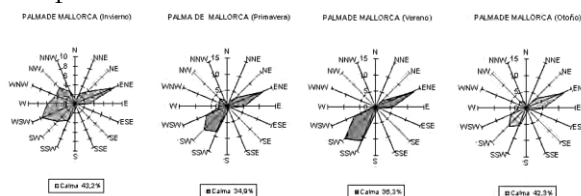


Figura 5. Rosas de viento estacionales en Palma de Mallorca [2].

Por otro lado, en base a los registros de velocidad de racha máxima de viento diaria en las estaciones meteorológicas del puerto y del aeropuerto, se ha elaborado un análisis estadístico de Gumbel de máximos, en los que se observa que la racha máxima observada es de 130 km/h y que para un periodo de retorno de 100 años el viento característico ronda los 80 km/h, adoptándose como valor de referencia para el control de la flecha activa, no así para ELU, para el cual se ha empleado lo establecido en la normativa vigente.

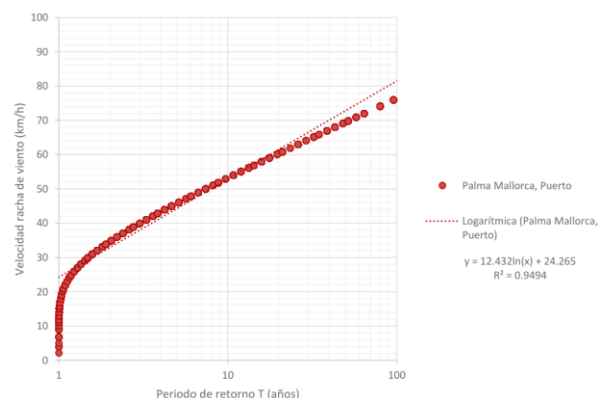


Figura 6. Ejemplo de papel probabilístico a la distribución de Gumbel de máximos para los registros del viento.

A pesar de no haber realizado ensayo de túnel de viento ni modelo CFD, se ha consultado en numerosas publicaciones de ensayos realizados sobre esta tipología de cubierta, los cuales muestran que los valores normativos de los coeficientes de fuerzas son conservadores.

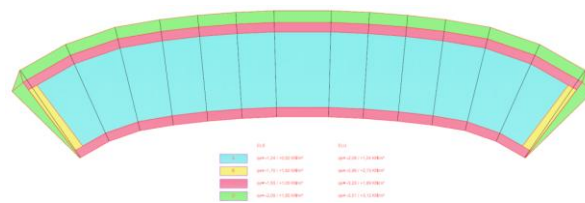


Figura 7. Plano de cargas de viento sobre la cubierta.

Respecto a la membrana, es un elemento tensado, de modo que se han tenido en cuenta las cargas de pretensado a razón de 5 kN/m.

Las uniones se han analizado mediante el software IDEA STATICA.

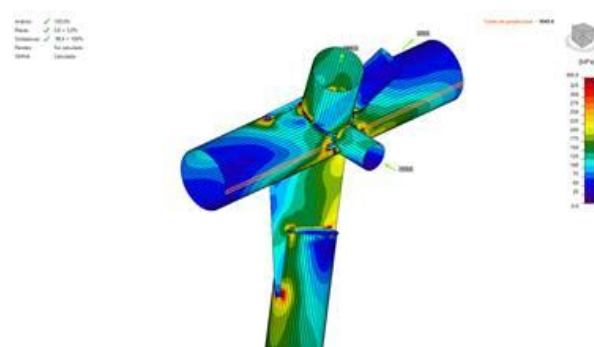


Figura 8. Ejemplo de modelo de nudo de celosía en apoyos mediante IDEA STATICA.

Sobre el diseño de uniones, además de comprobar el nivel tensional y deformacional en ELU, se ha controlado el grado de deformación plástica para las cargas en servicio, no permitiendo la plastificación.

2.2 Envolvente

La envolvente se compone de una membrana de poliéster de PVC, sin embargo, también dispone de elementos adicionales como fijaciones y cables.

A nivel de proyecto se trabaja con la carga de pretensado, siendo la empresa suministradora e instaladora, en este caso IASO, la encargada del diseño definitivo bajo la supervisión de la dirección facultativa.

Para su diseño, a partir de las cargas de viento, se siguen las directrices del futuro eurocódigo prCEN/TS19102:2021[3]. Se realizan modelos mediante el software SAP2000 con análisis que consideran la no linealidad geométrica.

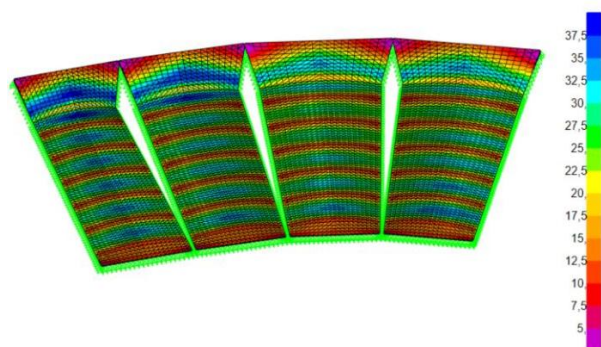


Figura 9. Ejemplo de resultados del modelo para tensión en la urdimbre.

Un aspecto importante en las membranas es la realización de ensayos biaxiales sobre la trama y la urdimbre para la obtención de los módulos de elasticidad.

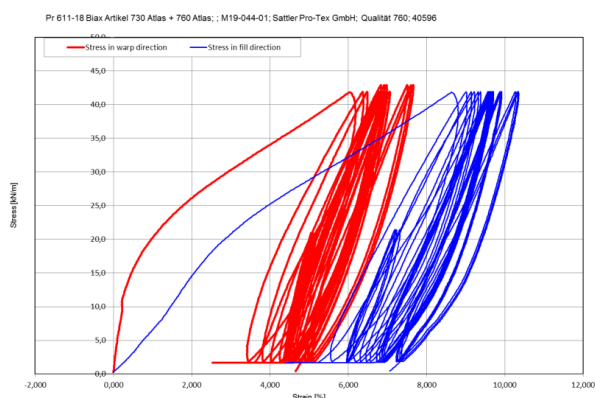


Figura 10. Curva tensión-deformación de la membrana en ensayo biaxial.

Para los carriles de fijación de aluminio de la membrana se emplea el software ANSYS.

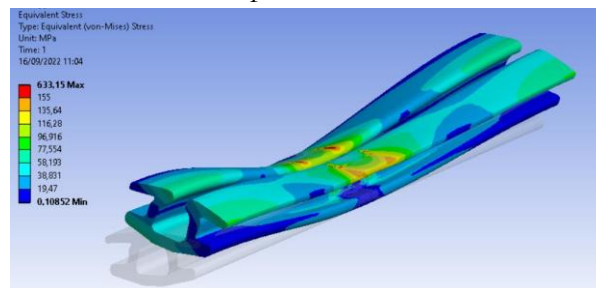


Figura 11. Ejemplo de resultados del modelo para tensiones de Von Mises en perfil de aluminio.

2.3 Refuerzo de estructura existente

La estructura existente se conoce a través de los planos del proyecto original, diseño de CYPE Ingenieros, los cuales se han digitalizado para trabajar con la localización teórica de los armados.

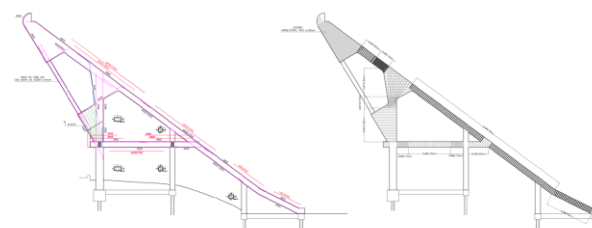


Figura 12. Planos digitalizados de armados existentes de pórticos.



Figura 13. Foto del encofrado y hormigonado de pórticos de la tribuna Sol.

Adicionalmente, se han realizado comprobaciones mediante pachómetro y catas para confirmar estos armados.

Para su diseño se ha elaborado un modelo mediante el software MIDAS GEN.

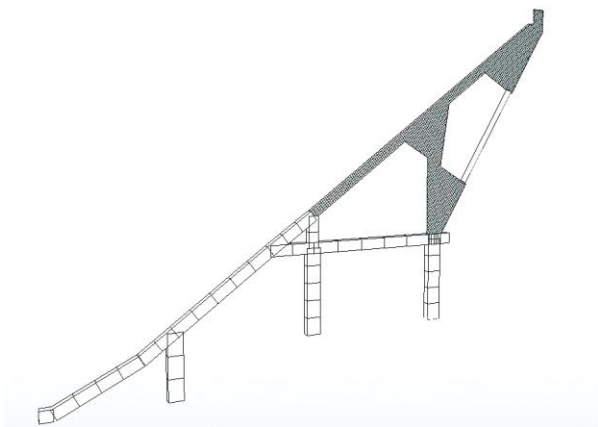


Figura 14. Modelo de pórtico reforzado mediante MIDAS GEN.

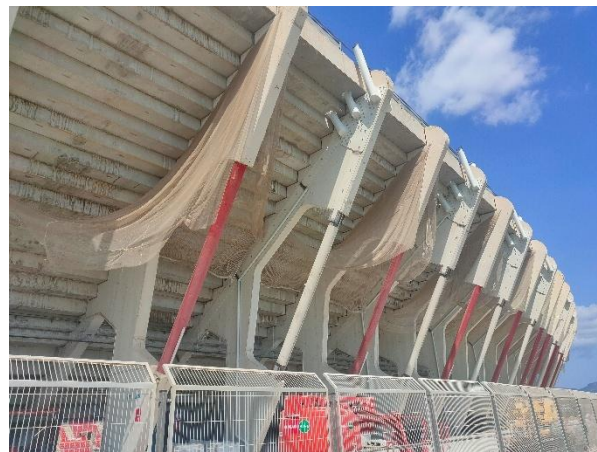


Figura 15. Foto durante el montaje de los armazones metálicos sobre los pórticos a reforzar.

3. Proceso constructivo

3.1 Refuerzo de estructura existente

En los pórticos de apoyo de las cerchas es necesario realizar un refuerzo metálico a modo de armazón con pasadores.

En primer lugar se realizan los pasadores mediante perforaciones con corona de diamante, se introducen varillas roscadas M36 y se inyecta con grout.

3.2 Cubierta metálica

Como toda estructura metálica, se comienza con el diseño de detalle en taller, trabajo que fue realizado en todo momento con un modelo tridimensional de TEKLA que se intercambiaba en formato IFC. Este modelo, una vez validado, sirve para obtener los planos de fabricación y para el desarrollo de todo el proceso de taller.

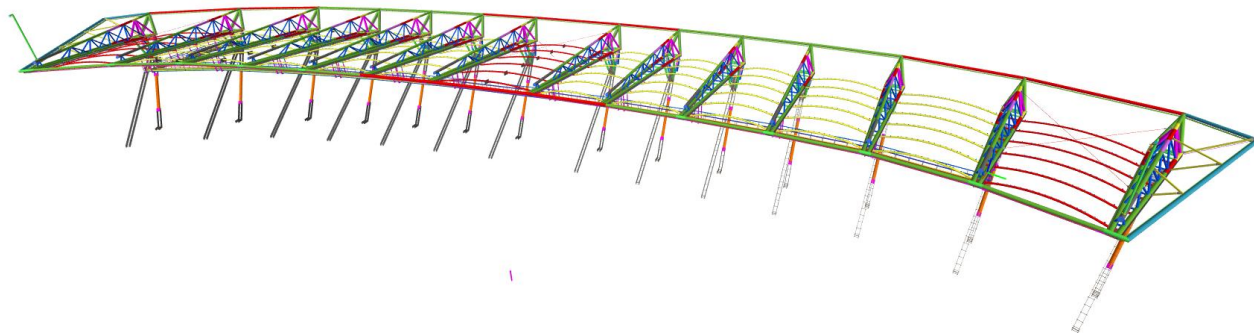


Figura 16. Vista del modelo tridimensional de la estructura metálica de la cubierta.

Se realizan varias visitas a los talleres para controlar el proceso de fabricación y montaje.

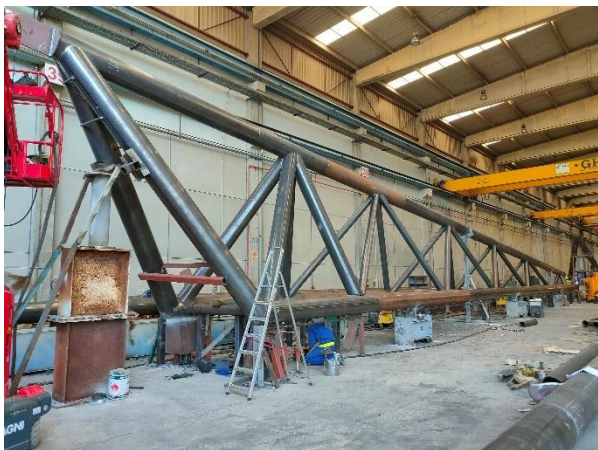


Figura 17. Foto de montaje en blanco de cercha en taller.



Figura 18. Foto de preparación de rigidización interior de unión de apoyo.

Tras la fabricación en taller en Galicia, las piezas se transportan por carretera hasta el puerto de Valencia y llegan a Palma de Mallorca en ferry y vuelven a transportarse por carretera hasta el estadio.

Las cerchas se izan y se colocan en posición contraflechada mediante control topográfico.



Figura 19. Foto de izado y colocación de primera cercha.

Por cuestiones de plazo y montaje, el metalista propone realizar todas las uniones soldadas en obra, incrementándose los controles de calidad tanto de soldaduras como geométricos.



Figura 20. Foto de unión de pata de apoyo trasero con cercha.

A medida que se van colocando cerchas se van disponiendo las correas de curvatura cóncava entre cerchas, así como los tubos de atado extremos. También se van disponiendo secuencialmente las fijaciones de la membrana y la pasarela de mantenimiento.



Figura 21. Foto del avance del montaje de la estructura metálica de cubierta.



Figura 22. Foto desde helicóptero del avance del montaje de la estructura metálica de cubierta.

Destacar que el proceso de montaje de la cubierta se ha simultaneado con los partidos de liga, siguiendo un protocolo específico de seguridad.



Figura 23. Foto durante partido de liga con montaje parcial de cubierta.

3.3 Membrana

Inicialmente, al igual que la estructura metálica, se realiza un despiece llamado patronaje, para el corte y confección de la membrana.



Figura 24. Foto de confección de membrana en taller.

Como se ha comentado, secuencialmente al montaje de la estructura metálica de cubierta, se va montando la membrana, para lo cual es necesario disponer de redes de seguridad debido a que se trata de trabajos en altura.



Figura 25. Foto de fase inicial de montaje membrana.

Para ajustarse a la geometría construída, las fijaciones de los perfiles de aluminio de los arcos se han diseñado regulables.



Figura 26. Foto de fijación regulable de perfil de aluminio.

Una vez terminada la membrana se realiza una prueba de estanqueidad y prueba del sistema de drenaje mediante inundación.



Figura 27. Foto de proceso de inundación de cubierta

Tras la finalización del montaje de la membrana y retirada de medios auxiliares la cubierta queda completada.



Figura 28. Foto desde el cesp  de cubierta terminada.

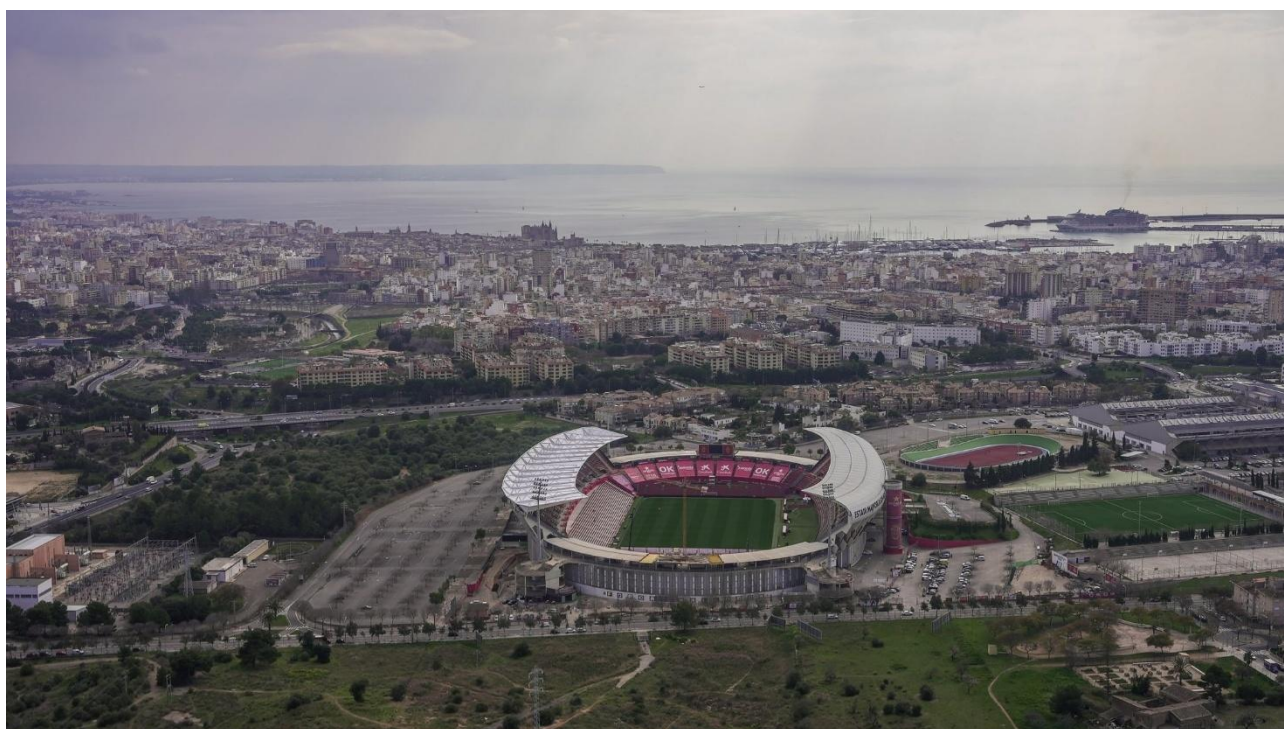


Figura 29. Foto desde helicóptero de cubierta terminada.

Agradecimientos

Agradecer a todas las personas que han intervenido durante el desarrollo de la obra:

- RCD Mallorca.
- Estudio de Arquitectura Izaskun Larzabal: Jon Matas, Ane Arrieta, Jon De La Varga.
- Estructura metálica: DIZMAR.
- Membrana PVC: IASO.

Referencias

- [1] Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento. UNE-EN 1991-1-4:2018.
- [2] M. Viedma, El ritmo estacional del viento en el arco mediterráneo español e islas baleares, Papeles de Geografía, 2002.
- [3] Design of tensioned membrane structures, prCEN/TS19102:2021.