

Estadio Wanda Metropolitano. Caso de estudio cubierta del estadio

Wanda Metropolitan Stadium. Case Study Roof Stadium

Álvaro Marzo Ruiz^{1*}

Resumen

La nueva sede del Atlético Madrid, ocupa una superficie total de 88.150 metros cuadrados y tiene una capacidad para albergar a más de 68.000 aficionados, distribuidos en aforo general y zona VIP. Además, cuenta con más de 1.000 plazas de aparcamiento para aficionados en el interior del estadio y 3.000 plazas de aparcamiento exteriores.

Mención especial requiere la cubierta del estadio, constituida por una estructura de acero de unas 6.336 toneladas, tensada con cables radiales y unidos con una membrana que ocupa una superficie de 83.053 metros cuadrados. La membrana se compone de 720 paneles de PTFE (politetrafluoroetileno), que presenta un peso de 92 toneladas. La cubierta cubre el graderío y contribuirá a que el 96% de las localidades estén protegidas de la lluvia. Esta constituye un elemento singular y diferenciador al resto de instalaciones deportivas europeas diseñadas en los últimos años.

El nuevo estadio es el primer estadio del mundo en contar íntegramente con tecnología LED, transformando así el skyline de la ciudad de Madrid. Sin duda, se trata de un proyecto hecho realidad en un estadio moderno, funcional, y de primer nivel en el conjunto de estadios europeos y mundiales.

Palabras clave: estadio, cubierta, tensoestructura, anillos, hormigón.

Abstract

The new headquarters of Atletico Madrid, occupies a total area of 88,150 square meters and has a capacity to accommodate more than 68,000 fans, distributed in general capacity and VIP area. In addition, it has more than 1,000 parking spaces for fans inside the stadium and 3,000 outdoor parking spaces. The state-of-the-art design of the sports complex was provided by the architects Cruz y Ortiz. They emphasize the concrete finishes and the ample interior spaces that allow the mobility of the fans within all the complex.

The stadium cover requires a special mention. It is constituted by a steel structure of about 6,336 tons, tensioned with radial cables and united with a membrane that occupies an area of 83,053 square meters. The membrane is composed of 720 panels of PTFE (polytetrafluoroethylene), which has a weight of 92 tons. The roof covers the stands and will help ensure that 96% of the localities are protected from rain. This is a unique and differentiating element compared to the rest of European sports facilities designed in recent years.

The new stadium is the first in the world to use entirely LED technology, thus transforming the skyline of the city of Madrid. Undoubtedly, this is a project that has become a reality in the form of a modern, functional and first-class stadium among the European and world ones.

Keywords: stadium, cover, tensostructure, rings, concrete.

1. INTRODUCCIÓN

El Estadio de Madrid, se ubica dentro del área de Canillejas del Término Municipal de San Blas de Madrid (al Este del área metropolitana), en el ámbito A.O.E.OO.08 “Parque Olímpico-Sector Oeste”, en los terrenos destinados originalmente para la ciudad deportiva de la Comunidad de Madrid. El área queda delimitada al Este, por la M-40, al Sur, por la Avda. de Arcentales, al Oeste, por las cocheras de Metro y al Norte, por la N-II.

El área de intervención sobre el estadio y sus alrededores queda definida por un rectángulo con una superficie aproximada de 113.182 m².

El solar en el cual se localiza el Wanda Metropolitano tiene una superficie de 88.150 m². La Ampliación del Estadio ocupa una superficie de 54.537 m².



Figura 1. Vista aérea de La Peineta (2012).

El antiguo estadio fue construido en 1994, y proyectado para la celebración de competiciones de atletismo y partidos de fútbol, con una capacidad de aproximadamente

* Autor de contacto: amarzor@fcc.es

¹ Jefe de Oficina Técnica Estadio Wanda Metropolitano. FCC Construcción.

19.000 espectadores. Concebido como la pieza central de un conjunto de instalaciones deportivas, tiene su origen en un concurso celebrado en 1988.

Desde las primeras propuestas, se optó por una solución muy unitaria, donde el conjunto constituyese un proyecto previo que informase los distintos edificios a realizar posteriormente. Pieza clave y central de esta ordenación es una plataforma horizontal aproximadamente cuadrada, de 360 metros de lado, sobre la que se encuentra el estadio, y a la que se conectarían en un futuro los diferentes pabellones deportivos.

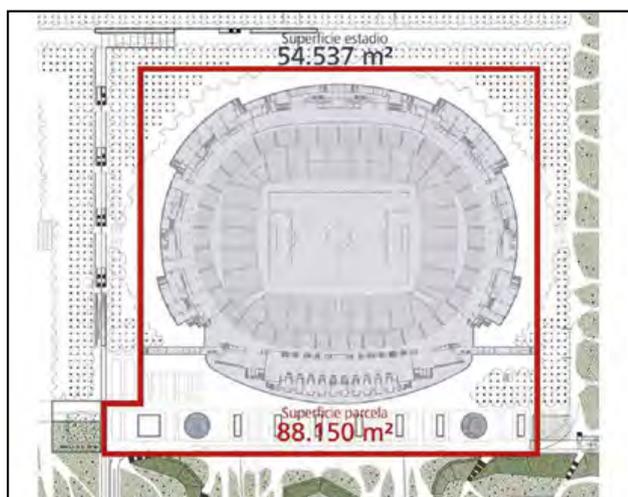


Figura 2. Plano planta Wanda Metropolitano.

Se parte de la necesidad de proyectar un Estadio capaz de albergar los usos necesarios para permitir su funcionamiento como estadio de fútbol con una capacidad aproximada de 68.000 espectadores.

La ampliación del actual estadio se proyectó con una serie de condiciones muy específicas en cuanto a requerimientos técnicos, tales como, las recomendaciones de UEFA y FIFA en cuanto a usos, condiciones de seguridad en caso de evacuación, condiciones de óptima visibilidad, y necesidades derivadas del espectáculo que genera la celebración de partidos de fútbol, donde el espectador desea buena visibilidad y cercanía con el campo y sus jugadores.

Se proyectó asimismo una cubierta capaz de cubrir la totalidad del aforo de la opción atletismo y, al menos, el 90% del aforo de la opción fútbol.

La ampliación y adecuación del estadio a estadio de fútbol consiste en completar el estadio existente en las zonas actualmente desocupadas mediante la construcción de tres nuevos graderíos sobre el cuenco:

- un graderío bajo formado por 28 gradas en los fondos y en las zonas de preferencia y el oeste, con capacidad para 22.466 espectadores.
- un graderío de 13 gradas destinado a Vips con acceso desde la cota 0.00 m y capacidad para 13.168 espectadores.
- por último, un graderío alto apoyado sobre un edificio perimetral de 32 gradas, con capacidad para 18.220 espectadores, donde se sitúan los accesos de público, palcos Vips y servicios complementarios (aseos bares, etc).

Se prevé además la construcción de una crujía continua, volada de la zona inferior del graderío alto, con 94 palcos con un total de 1.452 espectadores.

Se construye un nuevo campo de fútbol, deprimiendo la cota actual -9.91 m. hasta la -15.00 m., de manera que permita acercar los espectadores al terreno de juego sin perturbar las condiciones de visibilidad.

Sobre el estadio actual, la Peineta, y dada su representatividad, se ubican los usos más distintivos del estadio, como el Área de jugadores, Presidencia, Vip's y Prensa. En la zona de la ampliación, además de prever los espacios necesarios de servicios al espectador, como bares, aseos, tiendas, etc, se ha previsto la construcción de dos plantas subterráneas, la primera de ellas para atender a las necesidades del graderío bajo y aparcamiento y la segunda destinada en su totalidad a aparcamientos.

Por último, una cubierta ligera, que protege a los espectadores del estadio, se asienta sobre el conjunto de graderíos adaptándose sutilmente a las diversas situaciones, y permitiendo dotar de unidad a la intervención.

Una vez explicada de forma general la distribución y estructura del Wanda Metropolitano, centraremos el artículo en el estudio y análisis de la cubierta del estadio.



Figura 3. Diseño final de Cruz y Ortiz del Wanda Metropolitano.

2. METODOLOGÍA

El Ayuntamiento de Madrid decidió presentar a la ciudad como candidata para albergar los Juegos Olímpicos del año 2012. Por esta razón se aprobó en febrero de 2004 un plan especial para el Parque Olímpico, situado a las afueras de Madrid.

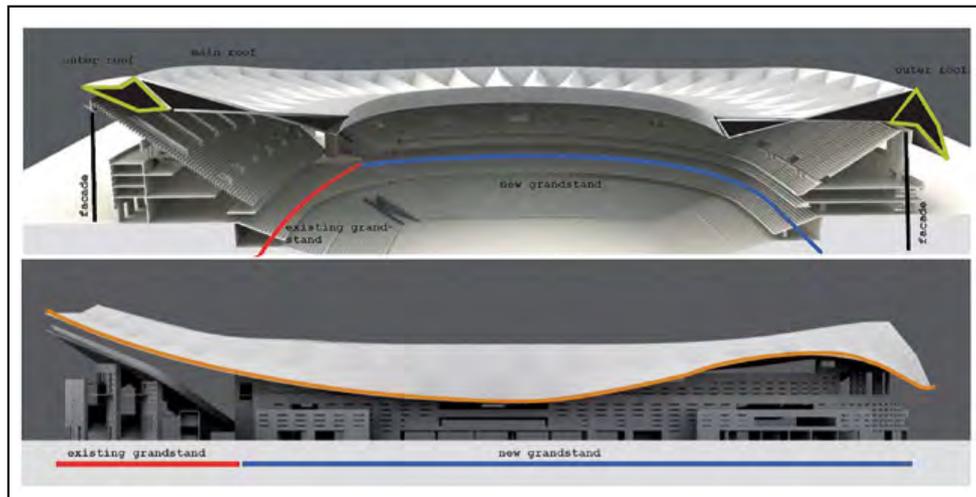
Este plan incluía la modificación del estadio existente de La Peineta para cumplir los requisitos correspondientes, incluyendo la construcción de nuevas tribunas anexas a la tribuna ya existente.

La ampliación fue diseñada por los arquitectos españoles Antonio Cruz y Antonio Ortiz, que ya proyectaron la estructura existente. Además, Schlaich Bergermann und Partner fue responsable del diseño de la cubierta del estadio.

Debido a que Madrid no fue elegida para albergar los Juegos Olímpicos de 2012, en 2008 el Ayuntamiento de Madrid y la Presidencia del Atlético de Madrid firmaron un acuerdo por el cual el estadio pasaría a ser la casa del club de fútbol.

Descripción general de la cubierta

La cubierta del Estadio de Wanda Metropolitano cubre a los espectadores. La estructura de la cubierta está formada por un anillo exterior de compresión de acero, un anillo interior de tracción formado por cables, y dos grupos de cables radiales que conectan los anillos. La estructura está cubierta por membranas en el espacio entre los dos anillos.



Figuras 4 y 5. Dimensiones interiores y exteriores estructura Wanda Metropolitano.

El borde exterior de la cubierta presenta un voladizo exterior ondulado de acero estructural, con secciones diferentes en cada eje, creando un elemento de forma libre.

La cubierta es simétrica en el plano X-Y respecto a dos ejes. Sin embargo, debido a la presencia de la tribuna ya existente y a la distribución de los apoyos, se considera al sistema como simétrico únicamente respecto al eje YY.

El ancho de la cubierta, considerado como la distancia entre el anillo de tracción y el anillo de compresión, es de aproximadamente 55 m.

El anillo de compresión está formado por una celosía triangular que resiste las fuerzas horizontales de los 96 cables que están conectados a él y transmite las fuerzas verticales y las fuerzas debido al viento a los apoyos. De esta manera, únicamente las cargas verticales permanentes y las cargas horizontales debido al viento se transmiten a la estructura de apoyo bajo las tribunas.

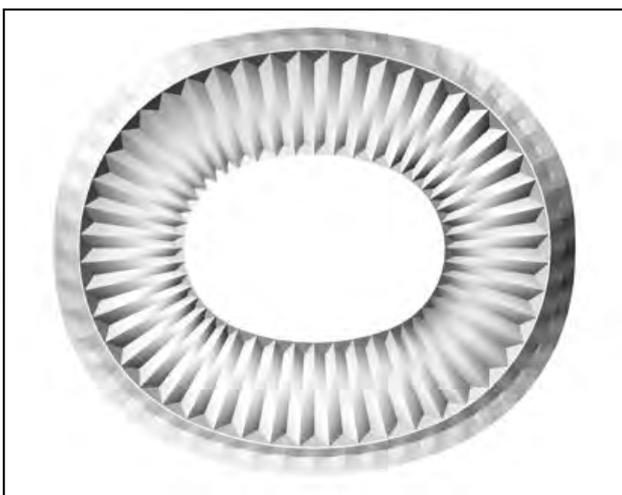


Figura 6. Visión aérea cubierta Wanda Metropolitano.

La búsqueda de la forma del anillo de compresión y del anillo de tracción que permitiera el posicionamiento de únicamente dos columnas esbeltas en la tribuna existente es uno de los puntos más destacables. El resto de apoyos se sitúan a lo largo del anillo de compresión permitiendo el movimiento radial, es decir, permitiendo los movimientos debido a cambios de temperatura sin restricciones. Seis soportes impiden los movimientos tangenciales para soportar las cargas de viento.

Descripción estructural-Diseño conceptual

El principio conceptual en el que se basa la cubierta es el principio de la rueda con radios, que fue diseñado con éxito por Schlaich Bergermann und Partner, y puesto en práctica más tarde en algunos estadios por todo el mundo. Los elementos básicos son el anillo de compresión (rueda), el anillo de tracción y los cables radiales (radios). Aunque se emplea una tecnología ya probada, se introduce una variación totalmente novedosa del principio de la rueda con radios.

Una característica importante de la cubierta del estadio del Wanda Metropolitano es la disposición de los cables. En un diseño convencional cada eje tiene dos cables en planos verticales, como se puede observar en la siguiente figura.

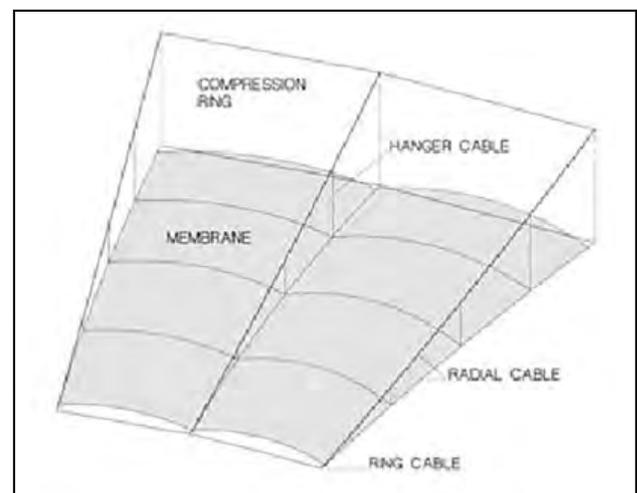


Figura 7. Diseño convencional para cubierta de cables.

Se puede observar una configuración distinta en otra colaboración entre Schlaich Bergermann und Partner y los arquitectos españoles Cruz y Ortiz: la cubierta del Estadio Olímpico de Sevilla. Está cubierta difiere de la cubierta de anillo de cables convencional en el que los cables radiales no fueron colocados de dos en dos en planos verticales, sino que se colocaron de manera que la membrana se extiende entre los cables radiales en forma de "zig-zag" y se convierte en un elemento portante, de manera que crea la tensión necesaria para aumentar la rigidez de la estructura.

de cables. En alzado todos los cables radiales concurren a la altura del anillo de tracción, pero alcanzan alturas diferentes en el anillo de compresión.

La primera vez que se consideró tal solución fue quizá en la cubierta de la plaza de toros de Zaragoza, España en 1989.

Para cubrir el nuevo Estadio Wanda Metropolitano la solución en “zig-zag” ha evolucionado más. En esta configuración los cables radiales están a diferentes alturas en el anillo de compresión y en el anillo de tracción. Los nudos superiores e inferiores de los cables correspondientes a los ejes pares se sitúan en el cordón superior del anillo de tracción y en el cordón inferior del anillo de compresión, respectivamente, mientras que los nudos de los cables correspondientes a los ejes impares se sitúan en el cordón inferior del anillo de tracción y en el cordón superior del anillo de compresión.

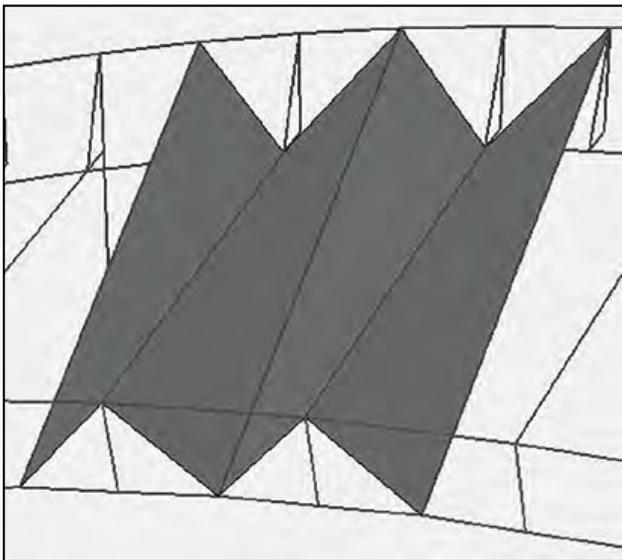


Figura 8. Diseño para la cubierta empleado en el Estadio La Peineta.

Con esta configuración la membrana apoyada en los cables tiene una forma en “zig-zag” con una rigidez significativa, incrementando la rigidez general de la estructura de cables. Los cables conectados al cordón superior del anillo de compresión soportan cargas gravitacionales debido a su inclinación y los cables conectados al cordón inferior del anillo de compresión soportan fuerzas de succión debido al viento.

El diámetro de los cables radiales varía desde 55 mm a 95 mm. Todos los cables son de acero de alta resistencia, totalmente herméticos y conectados con el resto por medio de conectores de acero.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

Los elementos estructurales principales son:

- Anillo de compresión
- Anillo de tracción y cables radiales (estructura de cables)
- Membrana
- Pasarela radial
- Apoyos
- Vigas metálicas y membrana del voladizo exterior

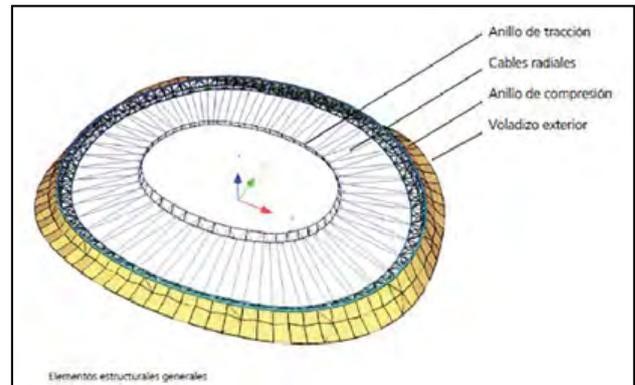


Figura 9. Vista elementos estructurales de la cubierta.

Anillo de compresión

El anillo de compresión es una celosía espacial con una sección transversal triangular formada por perfiles huecos soldados. Consiste en 96 elementos alrededor del perímetro, formado dos cordones inferiores y un cordón superior. La celosía tiene una altura aproximada de 8.00 m. La distancia entre los cordones inferiores interior y exterior es de 7.00 m. Estos valores son constantes a lo largo de todo el perímetro. En la vista en planta la geometría general del anillo de compresión está definida por dos radios diferentes. En alzado el anillo de compresión muestra diferentes ondulaciones. Los puntos altos se encuentran en los ejes 0 y 48 (tribuna principal y en frente) y los puntos bajos se encuentran tras las líneas de gol.

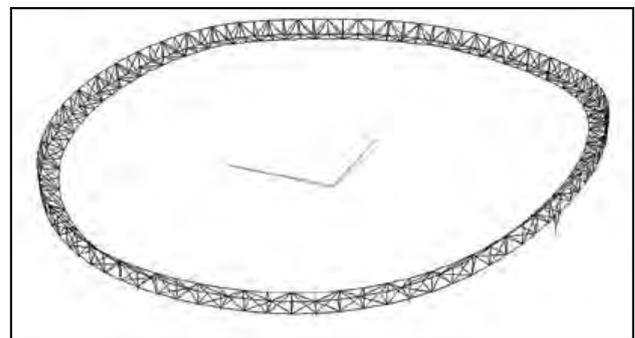


Figura 10. Vista isométrica del anillo de compresión.

Los cordones son perfiles huecos rectangulares con diferentes alturas y espesores de placa (20-60 mm). La disposición de montantes y diagonales completa la configuración de la celosía. Las dimensiones exteriores del cordón superior son aproximadamente 1.2 x 1.2 m, mientras que las dimensiones exteriores de los cordones inferiores son de 0.7 x 0.7 m.

Entre las columnas situadas en el Wanda Metropolitano, la celosía tiene una luz libre de 81 m. El pretensado de los cables radiales crea una fuerza elevadora que reduce de forma significativa el tamaño de las dos columnas sobre la existente Peineta.

Para anclar los cables radiales se colocan entre los cordones fuertes chapas de conexión (acero de calidad-Z). El anillo de compresión también carga con la estructura del voladizo exterior, estructura en celosía formada por tubos y cubierta con una membrana también.

Los segmentos individuales del anillo de compresión se conectan mediante tornillos de alta resistencia que trabajan

por fricción (M36 calidad 10.9). Por ello las superficies de conexión entre segmentos deben ser fresadas y recubiertas para alcanzar un coeficiente de fricción de 0.5. Las secciones deben ser soldadas, dando lugar a piezas estancas.

Todos los elementos del anillo de compresión están formados por acero estructural S355 J2 (+N).

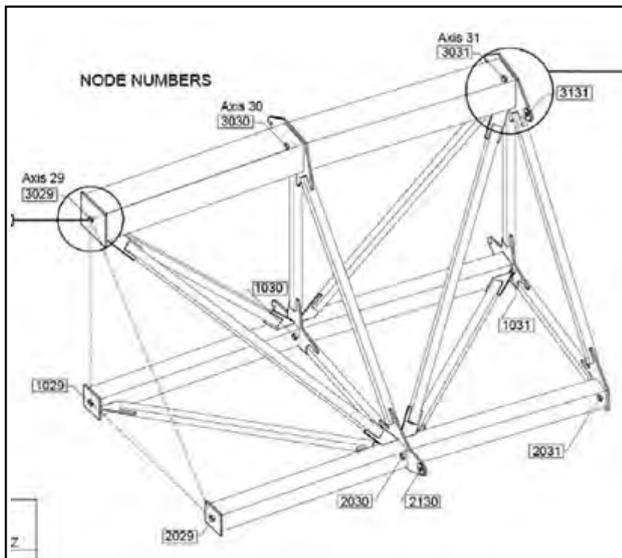


Figura 11. Anillo de compresión.

Estructura de cable

El sistema de cables principal está formado por 96 cables radiales, 8 cables del anillo de tracción inferior y 4 cables del anillo de tracción superior. Todos los cables están hechos de alambre de acero de alta resistencia, son cerrados y están conectados unos a otros mediante piezas de acero de alta resistencia S460 (conectores de cables del anillo). Los cables tienen cabezales a ambos extremos. Los cables del anillo de tracción se conectan entre ellos con cabezales cónicos con bulones en su interior.

Los cables del anillo superior e inferior tienen un diámetro de 95 mm, mientras que los cables radiales tienen diferentes diámetros entre 55 y 95 mm.

Los cables se sitúan a diferentes alturas en el anillo de tracción y en el anillo de compresión. Los nudos superiores e inferiores de los cables correspondientes a los ejes pares se sitúan en el cordón superior del anillo de tracción y en el cordón inferior del anillo de compresión, respectivamente, mientras que los nudos de los cables correspondientes a los ejes impares se sitúan en el cordón inferior del anillo de tracción y en el cordón superior del anillo de compresión.

Este sistema de cables se rigidiza a través de una elevada tracción y una fabricación muy precisa. No está previsto el ajuste posterior de las longitudes de los cables. La forma del anillo de tracción se determinó mediante un análisis de búsqueda de forma. Dependiendo de la fuerza de pretensado necesaria y la forma del anillo de compresión se encontró un estado de equilibrio que satisface también todas las condiciones de contorno geométricas.

Entre ambos cordones existen unos puntales volantes que mantienen fija la distancia entre el cordón superior e inferior. Esta distancia es aproximadamente de 7.00 m. Los puntales volantes se sitúan cada dos ejes, donde existe un

cable radial superior. Las siguientes figuras muestran una configuración típica del anillo de tracción y una vista general del anillo de tracción y el anillo de compresión.

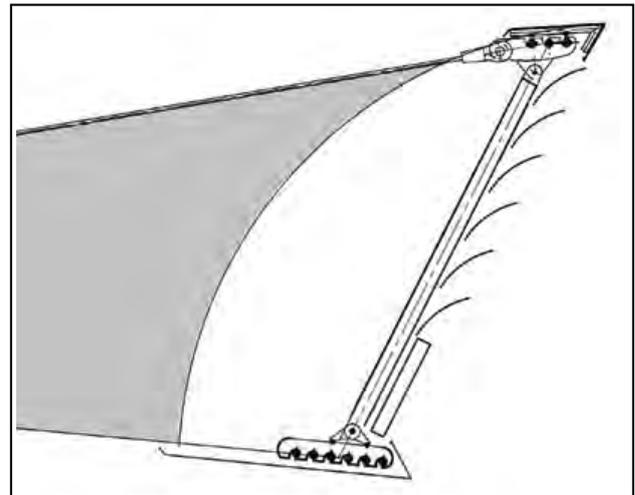


Figura 12. Sección del anillo de tracción.

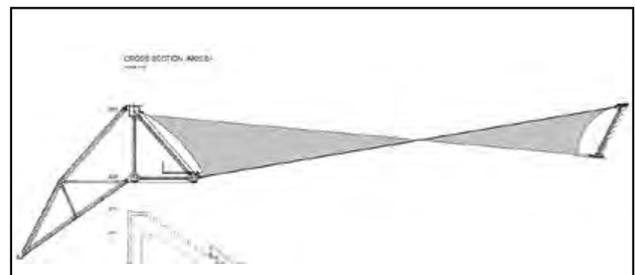


Figura 13. Anillo de tracción y anillo de compresión.

Los ocho cables inferiores del anillo de tracción proporcionan el soporte para una pasarela, instalaciones eléctricas y mecánicas, así como altavoces y equipos de iluminación.



Figura 14. Lamas en el anillo de tracción (vista frontal).

Anillo de tracción con revestimiento, pasarela, drenaje, etc.

Lamas de membrana se sitúan entre los puntales volantes, sirviendo como un cerramiento y cubriendo la parte frontal del anillo de tracción. Se deben adjuntar las lamas a los pórticos entre el anillo de tracción superior e inferior. Estos marcos también alojan los focos ("Anillo de fuego").



Figura 15. Lamas en el anillo de tracción (vista frontal).

Membranas

El material principal de la membrana es tela de vidrio de alta resistencia cubierto por PTFE (“teflón”), hecha de fibras de 3 micras. El vacío entre los cables radiales es cubierto por 96 paneles de membrana principales hechas de “tiras” longitudinales soldadas, con unas dimensiones entre 50.0 m y 57.0 m en la dirección radial y entre 9.0 m y 14.0 m en la dirección transversal.

Las membranas transmiten las cargas de nieve y viento a lo largo de la luz menor principalmente (dirección de relleno) de cable radial a cable radial y están pretensadas en ambas direcciones con una fuerza aproximada de 5 kN/m.

Membranas triangulares cubren las aberturas en el anillo de tracción y de compresión. Para estas membranas se usará un material más ligero que se confeccionará según corresponda.

Los paneles de membrana se tensan y se fijan en sus bordes libres, bien usando abrazaderas de aluminio o cables de catenaria de borde en bolsas.

Todas las esquinas de la membrana se refuerzan mediante capas de membrana adicionales. Se utilizan membranas secundarias para recubrir todos los espacios restantes entre los cables y la estructura metálica.

Se han dispuesto membranas adicionales para:

- Cubrir la pasarela radial (ver abajo).
- Cubrir listones/lamas desde detrás mediante paneles triangulares de membrana.
- Cubrir el anillo de compresión.

Como alternativa a membranas de vidrio/PTFE se pueden emplear materiales basados en PES/PVC si se garantizan las mayores calidades de recubrimiento en superficie.

Pasarela radial

Para acceder e inspeccionar tanto al anillo de compresión como al anillo de tracción, ambos están equipados de pasarelas de mantenimiento. Sólo podrán ser utilizadas por personal autorizado provisto de equipo de seguridad.

La pasarela interior en el anillo de tracción está situada sobre el cable inferior del anillo. La pasarela exterior en el anillo de compresión está situada en el cordón horizontal inferior.

Una pasarela radial con una luz de 44.0 m entre la pasarela interior y exterior permite el acceso a la pasarela interior. La situación de la pasarela radial queda determinada por el punto más bajo del anillo de tracción con una orientación radial, en los ejes 25/26 y 25'/26'.

Voladizo exterior

El voladizo exterior se conecta al cordón superior y al cordón inferior exterior del anillo de compresión mediante tornillos. Las diferentes formas geométricas de las celosías metálicas planas crean la forma ondulada del voladizo exterior.

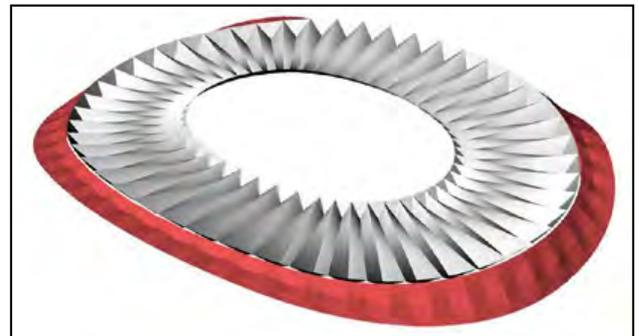


Figura 17. Cubierta del voladizo exterior alrededor del anillo de compresión.

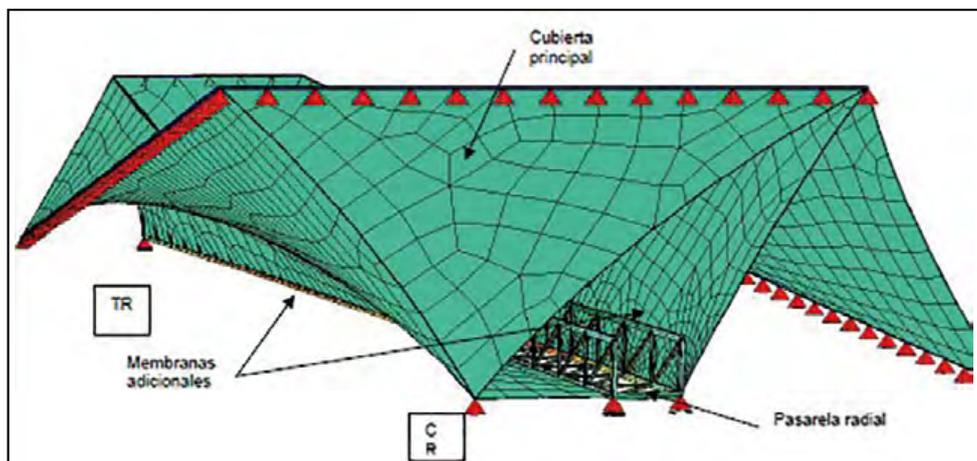


Figura 16. Vista pasarela radial con revestimiento de membranas.

Sólo hay dos tipos básicos de celosías, donde sólo una de las vigas tiene longitud variable. De esta forma se puede conseguir una forma muy compleja con sólo unos cuantos elementos distintos. En la dirección del anillo una pareja de vigas se extiende entre las vigas en celosía adyacentes. Su longitud varía de un eje a otro. La disposición de algunas diagonales (barras a tracción/tubos) la dotan de la rigidez natural necesaria.

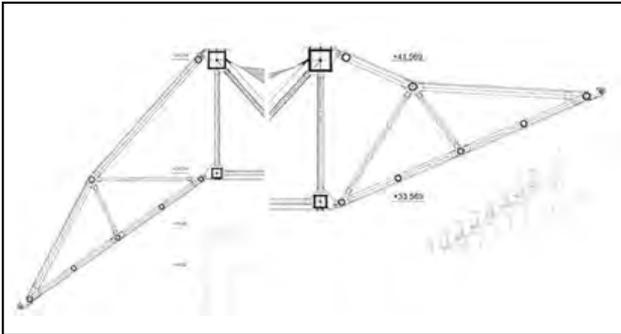


Figura 18. Sección tipo (Eje 24 y eje 0).

Seis elementos están atornillados juntos y con una junta de desplazamiento se unen al siguiente segmento. De esta manera no se introducen fuerzas de coacción en el anillo de compresión de la cubierta principal.

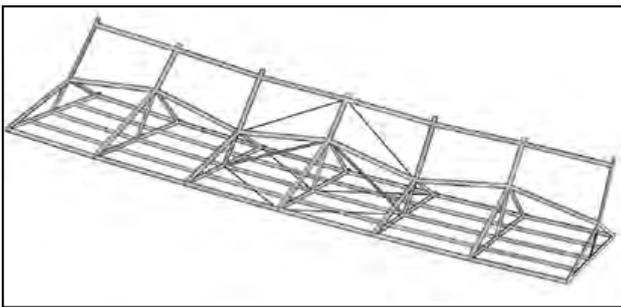


Figura 19. Vista isométrica de uno de los segmentos.

En el borde frontal la membrana se sujeta y el agua de lluvia se recoge. El canalón y la sujeción de la membrana se esconden bajo un revestimiento. El revestimiento también puede albergar elementos para una iluminación especial del borde del voladizo exterior.

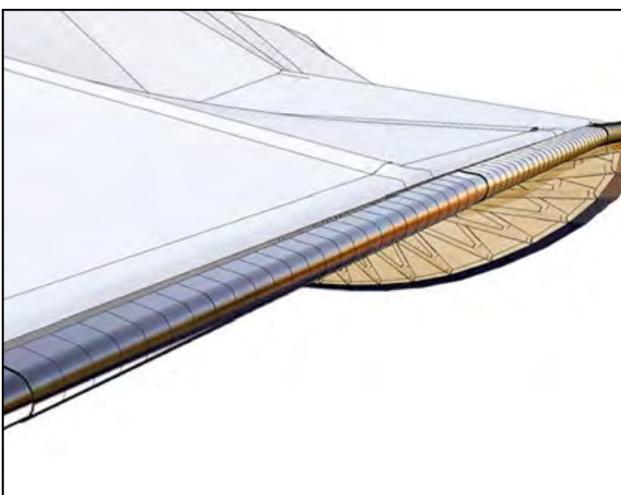


Figura 20. Borde del voladizo exterior.

Apoyos

El anillo de compresión se apoya en dos columnas metálicas sobre la estructura ya existente "La Peineta" y en 16 apoyos esféricos adicionales. La distribución de apoyos es simétrica respecto de los ejes Y-Y.

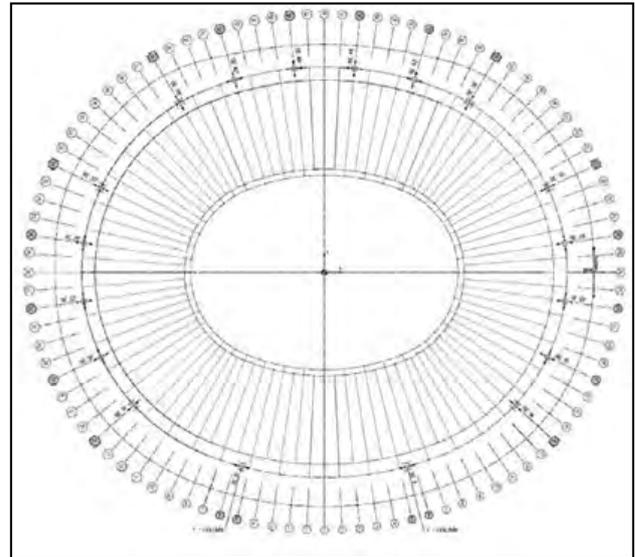


Figura 21. Distribución de los apoyos para el anillo de compresión.

Todos los apoyos se sitúan bajo el cordón inferior exterior del anillo de compresión. Los apoyos esféricos se conectan "boca abajo" al anillo de compresión y deslizan sobre placas de acero inoxidable conectadas a las columnas de hormigón que forman parte de las gradas. Diez de estos apoyos permiten movimientos relativos entre el anillo de compresión y las columnas en las direcciones radial y tangencial.

El resto de apoyos esféricos permiten movimientos relativos en la dirección radial, pero están fijos en la dirección tangencial. Estos apoyos se emplean para transmitir las cargas de viento horizontales que actúan sobre la cubierta al terreno. Estos apoyos se localizan en los ejes 14', 30', 38' y 38'.



Figura 22. Apoyo esférico tipo (ejemplo de Maurer Söhne Germany).

Las columnas sobre La Peineta están situadas en los ejes 5/6 y 5'/6, con una altura aproximada de 7.30 m. Las columnas están equipadas con bulones y rótulas esféricas para adaptarse a los movimientos del anillo de compresión, trabajando tanto en compresión como en tracción.

Diseño estructural

Se emplearon modelos de elementos finitos en 3D para la cubierta y el voladizo exterior.

Los objetivos prioritarios eran la búsqueda de la forma, el control de fuerzas para el estado límite último para todos los elementos metálicos, cables y membranas. Además la estabilidad global y local de todos los elementos de la cubierta fue controlada. También se comprobó el embalsamiento de agua en las membranas asegurando un drenaje adecuado.

Todas las cargas se aplicaron de acuerdo a la normativa española CTE. Para las cargas de viento se realizó un estudio en el túnel de viento.

El diseño de los elementos estructurales se realizó conforme a la norma española CTE, el Eurocódigo EN y la DIN donde fueran aplicables.



Figura 23. Colocación membrana cubierta.

4. CONCLUSIONES

Un proceso de fabricación y construcción adecuado y altamente preciso es fundamental para una estructura ligera compleja, tal como está cubierta.

La geometría y dimensiones de los planos pretenden mostrar la geometría de fabricación. La geometría de la cubierta después de tensada y bajo las cargas permanentes diferirá de esta geometría. Los cables se encontrarán a diferentes niveles, el anillo de compresión se contraerá y se girará de modo que el cordón superior quedará más cerca del campo deportivo y las puntas del voladizo exterior se moverán hacia arriba.



Figura 24. Infografía Cruz y Ortiz. Wanda Metropolitano.

Proceso de construcción

Montaje de prueba: para alcanzar la geometría correcta del anillo de compresión y para acelerar la construcción, todos los segmentos deben ser montados de prueba con tres segmentos continuos sobre el suelo:

- Montaje de un segmento soldando todos sus componentes.
- Atornillar placa final A a la placa final B del segmento ya ejecutado.
- Construcción del segundo segmento adjunto al primero.
- Repetir los dos pasos siguientes.
- Construir el tercer segmento adjunto al segundo segmento de la misma manera que arriba.
- Desatornillar el primer segmento e instalarlo en la cubierta.

Construcción del anillo de compresión: el peso de los segmentos individuales del anillo de compresión puede alcanzar fácilmente pesos de hasta 100 toneladas. Tienen que ser elevados por grúas pesadas y, por lo tanto, se debe disponer de suficiente espacio y capacidad portante del terreno alrededor del estadio durante la construcción del anillo de compresión. Cada segmento será atornillado al segmento precedente mediante soportes temporales, que deben mantenerse hasta que se alcance el número de apoyos permanentes suficientes.

Instalación de cables y membranas: los cables del anillo dispuestos sobre el suelo se elevarán a su posición final tensando los cables radiales conectados a ellos. Después de esto, los paneles individuales de membrana prefabricados se elevarán al sitio correspondiente para su tensado.

La confección de las membranas, la determinación de la longitud de los cables y el análisis de la construcción depende de las propiedades finales de los materiales y del método constructivo adoptado y, por lo tanto, debe ser realizado por el contratista.

Después de completar el anillo de compresión, el pretensado de cables y la instalación de las membranas, se puede incorporar el voladizo exterior mediante pernos. Las deformaciones del anillo de compresión durante el tensado de los cables deben ser tenidas en cuenta en el diseño final en taller del voladizo exterior.

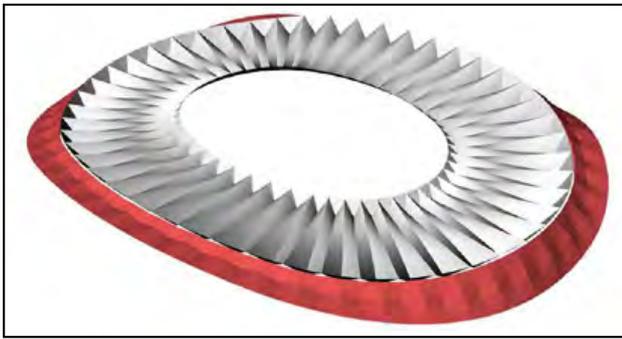


Figura 25. Cubierta y anillo exterior.compresión.

6.336,90	TN ACERO ANILLOS, COLUMNAS Y ESTRUCTURA
83.053,00	M2 PANELES EN MEMBRANA DE CUBIERTA
16.590,00	ML CABLES RADIALES DE TRACCIÓN



Figura 26. Plano cubierta y apoyos.

5. REFERENCIAS

<http://www.apa.org>

Normas adoptadas y otras regulaciones

Normas españolas:

- *CTE (Marzo 2006): Código técnico de la edificación.*
- *DB-SE AE Documento básico.*
- *Seguridad estructural – Acciones en la edificación.*
- *DB-SE A Documento básico.*
- *Seguridad estructural – Acero.*
- *NCSE-02 Norma de construcción sismoresistente.*

Parte general y edificación

Normas europeas:

- *EN 1993: Steel Structures (Estructuras metálicas).*

Normas alemanas:

- *DIN 18800: Steel Structures (Estructuras metálicas).*

Otras:

- *Tensinet Design Guide (para el diseño de membranas).*
- *Informe de la prueba del túnel de viento (Wacker engineers, agosto 2010).*

MÁSTER DE MECÁNICA DEL SUELO E INGENIERÍA GEOTÉCNICA

www.ceedex.es

EN

MÁSTER

MECÁNICA
del SUELO
E INGENIERÍA
GEOTÉCNICA

1 de febrero a 26 octubre de 2018

UNED

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

La UNED y el CEDEX organizan de forma conjunta para 2018 el Máster de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica. El Máster está destinado a ingenieros de Caminos, de Minas, geólogos, y a todos aquéllos procedentes de cualquier país, con titulaciones afines relacionadas con la especialidad y dominio del idioma español, interesados en profundizar en sus conocimientos en Geotecnia en una doble vertiente teórico-práctica.

El perfil internacional de los estudiantes se confirma con la notable presencia de titulados iberoamericanos y, en menor medida, con otros provenientes de países europeos y africanos.

PROGRAMA

Consta de **14 módulos** de entre una y dos semanas de duración aproximadamente cada uno:

1. Mecánica del suelo básica (2,5 semanas)
2. Reconocimientos geotécnicos de campo
3. Mecánica de rocas
4. Cimentaciones superficiales
5. Cimentaciones profundas
6. Estabilidad de taludes
7. Estructuras de contención
8. Estructuras de tierra
9. Túneles
10. Mejora del terreno
11. Geotecnia de presas
12. Geotecnia medio ambiental y minera
13. Dinámica de suelos y de cimentaciones
14. Modelización numérica

El programa se completa con clases de **Geotecnia Avanzada**, distribuidas a lo largo del curso, que versan sobre:

- Geotecnia de estructuras costa afuera (off-shore)
- Geomecánica aplicada al del sector del gas y petróleo
- Fiabilidad geotécnica
- Modelos constitutivos
- Teoría del Estado Crítico
- Teoremas de estados límite
- Suelos no saturados
- Geotermia

El temario se refuerza con prácticas de laboratorio, de campo y de modelización con códigos numéricos comerciales.

Se prevé un curso de una semana de MIDAS GTS-NX, con licencia completa para los alumnos durante el periodo docente, y una sesión introductoria de PLAXIS.

DESARROLLO DEL MÁSTER Y EVALUACIÓN

El Máster consta de un periodo lectivo, entre el 1 de febrero y el 30 de junio, de asistencia obligatoria, en cuyas clases se imparte el programa; y un periodo no lectivo, desde julio a octubre, durante el cual el alumno ha de desarrollar, bajo la tutela de un profesional del sector, una tesina que ha de defender ante un tribunal a finales de octubre. Las clases se imparten de lunes a viernes de 9:00 a 13:30 y, de 2 a 3 veces por semana, de 15:00 a 17:00 h. Se realiza una evaluación continua con ejercicios semanales y tres exámenes parciales.

VALOR AÑADIDO

- Visita técnica y viaje de prácticas para visitar obras geotécnicas de relevancia en España.
- Premio CEDEX a la tesina más sobresaliente, otorgado por el Director del CEDEX en la ceremonia de clausura.
- Contacto con empresas españolas de actividad internacional, asociaciones y sociedades del sector.