

# **ESTADIO OLÍMPICO DE BEIJING. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE SU MODELO ESTRUCTURAL.**



**Universidad de Valladolid**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE ARQUITECTURA DE  
VALLADOLID**

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA  
ARQUITECTURA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

CONVOCATORIA: JULIO 2021

AUTORA:

**JUDITH GARCÍA MAIDE**

TUTORES:

**Dr. JOSE ANTONIO BALMORI ROIZ**

**JULIÁN ALONSO MONJE**



## RESUMEN

El estadio nacional u olímpico de Beijing, diseñado por los arquitectos Herzog & de Meuron para los 29º Juegos Olímpicos modernos, es un hito a escala mundial, con un complejo modelo estructural que se pretende estudiar y analizar a través de este trabajo. Para ello con anterioridad se realizará un estudio sobre una selección de estadios de parecida complejidad y singularidad. Tras analizar estos estadios se utiliza este estudio previo para abordar el análisis exhaustivo del estadio, comenzando por su documentación gráfica y estructural, extrayendo las diferentes geometrías estructurales y los posibles esquemas del modelo estructural, y llegando hasta el despiece y realización un análisis de la estructura para tratar de ver como sería posible calcular este estadio de la forma más sencilla posible.

## PALABRAS CLAVE

Estadio olímpico, Beijing, Pekín, modelo estructural, tipologías estructurales, Herzog & de Meuron

## ABSTRACT

The national or Olympic stadium in Beijing, designed by the architects Herzog & de Meuron for the 29th modern Olympic Games, is a landmark on a global scale, with a complex structural model that we intend to study and analyze through this assessment. To this end, a study of a selection of stadiums of similar complexity and uniqueness will be carried out beforehand. After analyzing these stadiums, this previous study is used to approach the exhaustive analysis of the stadium, starting with its graphic and structural documentation, extracting the different structural geometries and the possible schemes of the structural model, and reaching the quartering and analysis of the structure to try to see how it would be possible to calculate this stadium in the simplest possible way.

## KEY WORDS

Olympic Stadium, Beijing, Pekín, structural model, structural typologies, Herzog & de Meuron



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS	9
3. ANTECEDENTES	11
3.1. El nacimiento de los Juegos Olímpicos modernos.	11
3.2. La transformación de las ciudades en relación con los Juegos Olímpicos.	15
3.3. Impacto de los Juegos del 2008 en China, concretamente en Beijing.	17
3.4. Herzog & de Meuron.	19
3.5. Ingenieros de lo imposible, Arup and Associates.	21
3.6. Guggenheim, predecesor de la tecnología de cálculo actual.	23
4. INVESTIGACIÓN PREVIA	25
4.1. Base de la investigación.	25
4.2. Esquema cronológico de los ejemplos elegidos	27
4.3. Localización de los ejemplos elegidos	28
4.4. Tipologías estructurales y casos de estudio	29
A) Pórticos	31
B) En ménsula	36
C) Cables	42
D) Tensada (anillos)	43
5. CASO DE ESTUDIO	53
5.1. Descripción general del edificio	53
5.2. Documentación gráfica.	57
5.3. Análisis constructivo	69
5.4. Despiece	73
5.5. Comparativa con las tipologías escogidas previamente	75
5.6. Análisis de la estructura.	83
6. CONCLUSIONES	95
7. BIBLIOGRAFÍA	97
8. LISTA DE FIGURAS	104



## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de fin de grado pretende estudiar y analizar el modelo estructural del estadio Olímpico de Beijing o Pekín (FIG.01), construido en 2008 como estadio principal e icónico de los 29º Juegos Olímpicos modernos, con sede en China. El edificio, diseño de los arquitectos Herzog & De Meuron en colaboración con el arquitecto local Li Xinggang, muestra una configuración de una imponente maraña de vigas, pilares y escaleras, casi como si se tratase de un bosque artificial<sup>1</sup>.

Su arquitectura y complejidad técnica han sido valoradas internacionalmente recibiendo numerosos premios<sup>2</sup>:

- (2008) Premio nacional de Diseño de Ingeniería Excelente Premio de Oro
- (2008) Primer Premio de Beijing Excelente Diseño de Ingeniería de 2008)
- (2009) Premio del Comité Olímpico Internacional y de la Asociación Internacional de Arquitectura de Recreación y Deportes Medalla de Oro
- (2009) Premio del Instituto Real de Arquitectos Británicos Premio Lubetkin de Arquitectura
- (2009) Premio de Creación Arquitectónica por el 60º aniversario de la fundación de la Sociedad de Arquitectura de China

Estructuralmente el modelo responde a una tipología en membrana, alcanzando los límites actuales de diseño, modelado y construcción por Control Numérico (CNC). La geometría parece aleatoria, sin responder a nada, pero una vez estudiado se puede observar que en realidad detrás de su apariencia se esconde una estructura con una geometría ordenada y jerarquizada. Además, como se mostrará a lo largo de este trabajo, el proceso de ejecución obliga a solucionar un elemento estructural que permita dar respuesta a distintas configuraciones (o modelos estructurales) durante su proceso de montaje<sup>3</sup>.

Para abordar el objetivo principal de este TFG previamente se realiza un estudio sobre una selección de estadios (principalmente olímpicos y de fútbol) de similar complejidad y singularidad -en su época de construcción- localizados por todo el mundo y construidos entre 1950 y 2021.

1\_Márquez Mezquita, F., & Levene, R. (Eds.). (2010). Herzog & de Meuron 2005–2010. El croquis, 152-153, 126–146.  
2\_CADG. (s. f.). www.cadg.com. Recuperado 17 de junio de 2021, de <https://cadg.com.cn/en/works/549>  
3\_estructuras. (2009, 1 mayo). YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=j6s8n25WVos>



FIG.01. Render aéreo del estadio Nacional de Beijing



FIG.02. Fotografía nocturna del estadio Nacional de Beijing

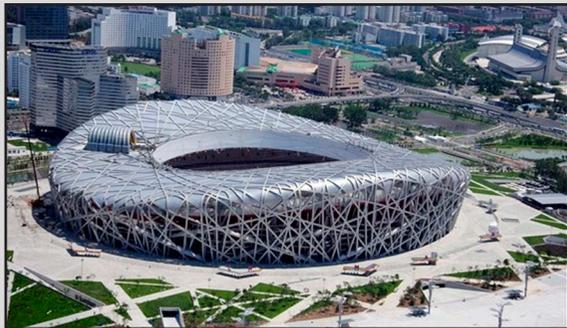


FIG.03. Fotografía aérea del estadio Nacional de Beijing

De este estudio, se obtiene un análisis tipológico de los diferentes estadios elegidos. Tras organizar los estadios se crean cuatro tipologías estructurales en las que clasificarlos y analizar sus características. Además, se ha procedido a realizar un esquema cronológico y un mapamundi en el que se sitúan los estadios en el espacio y el tiempo.

Una vez analizados todos los ejemplos se ha utilizado este estudio previo para abordar el análisis en profundidad del estadio elegido; es el estadio nacional de Pekín para los Juegos Olímpicos de 2008 (FIG.02).

Este estadio (FIG.03) ha sido analizado exhaustivamente, comenzando por un análisis de la documentación gráfica y estructural. Sobre esta documentación se ha extraído la geometría (estructural) principal y los esquemas (potenciales) del modelo estructural. Llegando hasta el despiece y el análisis en profundidad de la estructura.

Para poder realizar este estudio con las herramientas y los conocimientos de un recién graduado en Fundamentos de la arquitectura se han realizado varios modelos simplificados, para poder llegar a entender cuál es el funcionamiento estructural de una forma sencilla, puesto que recurrir a un modelo RFEM solvente es inviable tanto por complejidad como por el precio del software.

## **2. OBJETIVOS**

### **- OBJETIVO PRINCIPAL**

El objetivo principal de este trabajo es realizar un estudio en profundidad sobre el estadio Nacional de Beijing, construido para los juegos olímpicos de 2008. Este estudio pretende esclarecer la configuración estructural (bastante compleja) y arquitectónica del estadio.

Para poder sentar una base sobre la que realizar dicho estudio, se hace una selección y un posterior análisis de diferentes estadios singulares de diferentes tipologías estructurales, con las que poder comparar el estadio elegido y de esta forma ver a cual se asemejan más sus características.

### **- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Búsqueda y estudio de estadios singulares
- Estudio del estadio olímpico de Beijing
- Análisis geométrico del estadio
- Simplificación estructural
- Relacionar con otros modelos estructurales semejantes
- Comparación con otros casos
- Cálculo aproximado de sus cargas y sus elementos estructurales



### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. EL NACIMIENTO DE LOS JUEGOS OLÍMPICOS MODERNOS

Del 6 al 15 de abril de 1896 se celebró la inauguración de los juegos olímpicos modernos en Atenas (Grecia), lugar de nacimiento de las antiguas olimpiadas, y fue un punto clave en la cooperación y la cultura del deporte internacional.

Los juegos olímpicos modernos tienen su base en las antiguas Olimpiadas griegas, que se documentaban ya en el 776 a. C. Los antiguos juegos se llevaban a cabo durante 1000 años en Olimpia, en honor a Zeus, el rey de los dioses en la mitología griega. Los eventos deportivos con la excepción del maratón y las ceremonias se llevaron a cabo en el Estadio Panathinaikó (329 a. C) en Atenas ante una multitud de 80.000 espectadores (FIG.04).

La idea de recuperar las olimpiadas era compartida por numerosas personas en los tiempos modernos. En 1850 un médico británico llamado William Penny Brookes organizó unos juegos olímpicos a nivel municipal en el pueblecito inglés de Munch Wenlock. Este acontecimiento tuvo influencia sobre un joven aristócrata francés que era deportista y educador, Pierre de Coubertin. Este joven estaba interesado en el triunfo de la cultura deportiva de la Inglaterra Victoriana, convencido de que el deporte competitivo desarrollaba los valores morales y sociales tales como el sentido del juego limpio, el compañerismo y el orgullo nacional, a la vez que fomentaba la fraternidad y la competencia pacífica de las naciones.

En 1894, Coubertin fundó el primer Comité Olímpico Internacional (COI), que nombró a Demetrio Vikelas, de Grecia, como primer presidente. La entidad organizadora decidió por unanimidad que los juegos inaugurales se celebraran en Grecia, el lugar de nacimiento de los juegos Olímpicos y a su vez país de origen de Vikelas. Coubertin supuso que la ciudad anfitriona rotaría cada cuatro años con el fin de internacionalizar más los juegos. De hecho, después de los primeros juegos Olímpicos modernos (1896), los juegos no volverían a Atenas hasta 2004 con motivo de su 100 aniversario.<sup>4</sup>

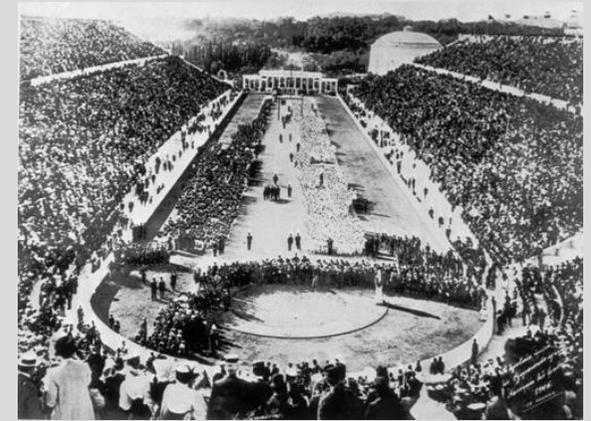


FIG.04. Fotografía de 1896. Primer estadio de los Juegos Olímpicos modernos, estadio Panathinaikó.

<sup>4</sup> El nacimiento de los juegos olímpicos modernos. (s. f.). Google Arts & Culture. Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://artsandculture.google.com/story/3QLC3k4aaa78Kg?hl=es>

Durante su vida, Coubertin se dedicó a sentar las bases de los juegos Olímpicos. Su visión es evidente en prácticamente todos los aspectos de las olimpiadas modernas: desde los formalismos de las ceremonias de inauguración y clausura hasta las normas y los reglamentos de las competiciones y el diseño del símbolo y de las medallas olímpicas.

Los juegos olímpicos modernos han representado un papel económico y político fundamental para los distintos países. Cabe destacar la propaganda nazi durante las olimpiadas de Berlín de 1936, los asesinatos de atletas israelíes durante los Juegos de Múnich 1972; o el boicot de Estados Unidos durante las olimpiadas de Moscú en 1980 en plena Guerra Fría y la posterior replica hacia Washington en 1984, aunque en este caso en menor medida.

Los Juegos Olímpicos también han jugado un importante papel social, de lucha y reivindicación contra el racismo (México 1968) o el machismo, en 1991 el COI decretó que todos los nuevos deportes que se agregaran deberían incluir eventos para ambos sexos, ya que hasta ese momento había bastantes más deportes masculinos que femeninos, los cuales se iban agregando casi a cuentagotas a lo largo del siglo XX. De hecho en los juegos de 1896, al igual que en los antiguos, las mujeres tampoco pudieron participar, algo que se resolvió a partir de los Juegos de París en 1900. En estos juegos las mujeres pudieron participar, aunque fuese solo en dos deportes, tenis y golf<sup>5</sup>.

En todo este juego político, social y económico; la arquitectura ha servido de representación del poder o de la modernidad de los diferentes países anfitriones. No debemos olvidar la repercusión económica que supusieron los Juegos de Barcelona 92 en España. En el caso de China, los Juegos de 2008 han intentado transmitir una imagen de "nueva potencia económica mundial", a una sociedad, aún comunista y dictatorial, más preocupada en su imagen exterior que en su propia población. Esta muestra de fortaleza, riqueza y modernidad ha sido reflejada de forma muy inteligente en la arquitectura olímpica, y muy especialmente en el caso del Estadio Nacional de Beijing.

Hasta la actualidad se han realizado 32 ediciones de los Juegos Olímpicos modernos (contando con Tokio "2020"). Las diferentes sedes por orden cronológico son las siguientes<sup>6</sup>:

- |   |  |
|---|--|
| I. Atenas, 1896                         | XVIII. Tokio, 1964                                     |
| II. París, 1900                         | XIX. México, 1968                                      |
| III. San Luis, 1904                     | XX. Múnich, 1972                                       |
| IV. Londres, 1908                       | XXI. Montreal, 1976                                    |
| V. Estocolmo, 1912                      | XXII. Moscú, 1980                                      |
| VI. Berlín, 1916 (suspendido 1ª G.M)    | XXIII. Los Ángeles, 1984                               |
| VII. Amberes, 1920                      | XXIV. Seúl, 1988                                       |
| VIII. París, 1924                       | XXV. Barcelona, 1992                                   |
| IX. Ámsterdam, 1928                     | XXVI. Atlanta, 1996                                    |
| X. Los Ángeles, 1932                    | XXVII. Sídney, 2000                                    |
| XI. Berlín, 1936                        | XXVIII. Atenas, 2004                                   |
| XII. Helsinki, 1940 (suspendido 2ª G.M) | XXIX. Pekín, 2008                                      |
| XIII. Londres, 1944 (suspendido 2ª G.M) | XXX. Londres, 2012                                     |
| XIV. Londres, 1948                      | XXXI. Río de Janeiro, 2016                             |
| XV. Helsinki, 1952                      | XXXII. Tokio, 2020 (trasladado a 2021<br>por Covid'19) |
| XVI. Melbourne, 1956                    |  |
| XVII. Roma, 1960                        |  |



FIG.05. Imagen de los estadios olímpicos

A lo largo de todos estos años se han construido numerosas edificaciones para llevar a cabo todas estas ediciones de los Juegos Olímpicos modernos, tomando siempre una de ellas como estadio olímpico. Estas son algunas de las más representativas<sup>7</sup>:

1. Estadio João Havelange (Río de Janeiro 2016)
2. Estadio Panathenaikó (Grecia)
3. Olympiastadium (Berlín 1936)
4. Estadio olímpico de Estocolmo (1912)
5. Estadio Lluís Companys (Barcelona 1992)
6. Estadio olímpico de Roma (1960)
7. Estadio olímpico de Helsinki (1939)
8. Los Ángeles Memorial Coliseum (1932)
9. Estadio olímpico de Montreal (1976)
10. Estadio olímpico de Beijing (2008)<sup>8</sup>

Estos estadios han representado la innovación técnica, el potencial económico e industrial del país organizador.

<sup>7</sup> Pintor, Y. P. (2020, 3 febrero). Los mejores estadios olímpicos del mundo. Mejor con Salud. <https://mejorconsalud.as.com/fitness/deportes/mas/mejores-estadios-olimpicos-mundo/>

<sup>8</sup> Such, M. (2016, 8 agosto). De Río a Pekín, 10 estadios olímpicos que merece la pena visitar. Diario del Viajero. <https://www.diariodelviajero.com/turismo-deportivo/de-rio-a-pekín-10-estadios-olimpicos-que-merece-la-pena-visitar>

### 3.2. LA TRANSFORMACIÓN DE LAS CIUDADES EN RELACIÓN CON LOS JUEGOS OLÍMPICOS

Los Juegos Olímpicos a medida que han ido pasando los años han pasado a representar una oportunidad de realizar operaciones urbanas jamás posibles en un periodo tan corto de tiempo y en condiciones tan propicias en términos políticos y sociales.

Los ejemplos más destacados de este nuevo momento de las Olimpiadas, en cuanto, a oportunidad de alcanzar el estatus de ciudad moderna, global y multicultural, se registran en Barcelona 1992 (FIG.06) y Pekín 2008, ejemplos exitosos del uso de los Juegos como impulsores no solo de transformación urbana y de la creación de una nueva imagen para la ciudad, amoldando el entorno a estas nuevas arquitecturas. También sirven estas actuaciones como herramienta de afirmación de poder del país en el panorama político y económico (más concretamente en el caso de Pekín.)

El gran potencial de atracción de inversiones ofrece a las ciudades grandes oportunidades de otorgarlas con significativos legados en relación con mejoras en su infraestructura. La pauta de inversiones identificada en estos casos se centra en el sistema viario, el sistema de transporte público, la remodelación de antiguas áreas industriales en proceso de degradación, la construcción de aeropuertos, las medidas de protección y mejoras ambientales y el tratamiento de espacios públicos. También se ha identificado que en algunas ciudades se aprovecha la ocasión para revitalizar, además del sector deportivo y el sector cultural, a través de la construcción de nuevos centros de cultura y arte.

Por ejemplo, en el caso de Barcelona se construyó la ampliación de su aeropuerto y un anillo viario, se abrió la ciudad hacia el mar (a través de la reestructuración del puerto), se reformó una antigua zona industrial y se promovió aperturas y mejoras en diversas plazas públicas. Se dice que en los ocho años de preparación para las Olimpiadas se construyó lo equivalente a 50 años de infraestructura urbana.

De esta manera, los Juegos también representan un importante papel en la propuesta de nuevos proyectos o en la aceleración, expansión o intensificación de proyectos existentes de urbanización y planes de remodelación.



FIG.06. Mapa de la Barcelona Olímpica



FIG.07. Fotografía de la zona olímpica de Londres 2012



FIG.08. Fotografía del barrio de Newham en Londres 2012

Muchas ciudades escogen revitalizar sus zonas centrales, o más bien ubicar la mayor parte de sus instalaciones en zonas descuidadas, de bajo valor inmobiliario, que justifiquen la revitalización. En estos casos, son habituales los desalojos forzados y eliminaciones de comunidades de baja renta, cuyo poder político normalmente no es suficiente para hacer frente a la causa del embellecimiento de la ciudad<sup>9</sup>, como es el barrio de Newham (FIG.07) en Londres 2012 (FIG.08), adyacente a la zona olímpica.

Aunque Londres 2012 no es el único caso en el que ha ocurrido esto como nos dice Ashok Kumar en el diario viento sur: "Para los JJ.OO. de Atlanta de 1996, alrededor de 2000 unidades de vivienda fueron demolidas, 6000 residentes expulsados y 30 000 desplazados por la gentrificación. Además, como si las comunidades negras y pobres de Atlanta no hubieran sufrido suficiente, fueron formulados alrededor de 9000 mandatos de arresto contra los sin techo de la ciudad. Lo mismo ocurrió en Barcelona 1992. Además de las 2.500 expulsiones, los precios de las viviendas aumentaron el 139% para las ventas y el 135% para los alquileres entre 1986 (el año de la selección) y 1993. Durante el mismo período, la disponibilidad en materia de vivienda pública disminuyó el 76% y el 90%. Poblaciones gitanas que vivían en los lugares sedes olímpicas fueron desplazadas."

Los factores externos, como el imperativo de hacer la ciudad más atractiva al turismo y a la inversión del capital extranjero, son más importantes a la hora de definir las prioridades.

Pero mucho más allá de la infraestructura necesaria para la realización de unos Juegos, las transformaciones urbanas facilitadas confieren a las Olimpiadas el estatus de herramienta para el desarrollo a gran escala. El serio problema que esto genera es el recurrente riesgo del redireccionamiento de las políticas públicas en atención a las prioridades establecidas por el comité de organización, el cual tiene pleno poder de decidir los rumbos de la ciudad olímpica.

En este sentido, también las legislaciones suelen ser adaptadas con vistas a viabilizar proyectos y operaciones millonarias llevadas a cabo en tan corto plazo.

### 3.3. IMPACTO DE LOS JUEGOS OLÍMPICOS DEL 2008 EN CHINA, CONCRETAMENTE EN BEIJING

Beijing (FIG.09) fue elegida sede de los Juegos Olímpicos debido a un cambio en el ambiente internacional que permitió pasar del criticismo a China (en materia de derechos humanos) a una visión favorable a su inclusión, lo que también llevó a su entrada en la Organización Mundial del Comercio (OMC) a finales de 2001 y además porque contaba con un deslumbrante crecimiento económico al frente de los países emergentes.

El Gobierno y el pueblo chinos consideran que los Juegos de Beijing 2008 significaron el fin del aislamiento y el inicio del reconocimiento de una potencia global y de una sociedad moderna. Los juegos olímpicos oficializaron la incorporación de una potencia económica asiática en el entramado internacional<sup>10</sup>.

El refuerzo de la confianza nacional coincide con el auge del pragmatismo como idea predominante del régimen comunista, que se ha redefinido sobre las bases de estabilidad política y prosperidad económica<sup>11</sup>.

Asimismo, se produjo la mayor transformación que haya vivido nunca ninguna ciudad en tiempos de paz. Prueba de ello son la cantidad de edificios icónicos (FIG.10), diseñados por algunos de los más renombrados arquitectos mundiales, que transformaron para siempre el skyline de la ciudad. Desde el edificio de la televisión nacional china, CCTV, ideado por el arquitecto holandés Rem Koolhaas; hasta el Estadio Nacional de Beijing, obra de los arquitectos suizos Herzog y de Meuron, pasando por la Terminal 3 del Aeropuerto Internacional de Beijing, levantado a partir de unos planos de Norman Foster; o por el Centro Nacional de Artes Escénicas, diseñado por el arquitecto francés Paul Andreu<sup>12</sup>.

A todos estos edificios, se puede llegar actualmente en metro, porque Beijing construyó la mayor red de tren suburbano del mundo, aunque antes de los Juegos Olímpicos no tenía apenas dos líneas, excavadas en tiempos del presidente Mao Zedong. Una fiebre constructora que no ha cesado y que ha convertido a la capital china en una ciudad moderna, vanguardista y cosmopolita.



FIG.09. Plano de situación de Beijing



FIG.10. Vista aérea de la zona olímpica de Beijing

10\_R. (2013, 18 marzo). Los Juegos de China. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/internacional/20080701/54264579919/los-juegos-de-china.html>  
11\_Robledo, F. (s. f.). JJOO Eckart Woertz (Coord.). Scribd. Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://es.scribd.com/document/361606717/JJOO-Eckart-Woertz-Coord>  
12\_Beijing 2008, diez años después. Spanish.Chinatoday.Com. Recuperado 17 de junio de 2021, de [http://spanish.chinatoday.com.cn/2018/ty/201809/t20180904\\_800140377.html](http://spanish.chinatoday.com.cn/2018/ty/201809/t20180904_800140377.html)



### 3.4. HERZOG & DE MEURON

El estudio Herzog & de Meuron fue fundado en 1978 por los arquitectos suizos Jacques Herzog y Pierre de Meuron, ambos nacidos en 1950 en Basilea y graduados en el Politécnico de Zúrich en 1975.

Compaginan la actividad profesional con la didáctica, han ejercido en Harvard entre 1989 y 1994 y desde 1999 hasta la actualidad en el Politécnico ETH de Basilea<sup>14</sup>.

Además de los dos arquitectos que le dan nombre, el estudio cuenta con cinco socios mayoritarios, cuarenta asociados y unos cuatrocientos colaboradores, dedicándose a actividades de construcción de todo tipo en América, Asia y Europa.

Han realizado obras célebres y fácilmente reconocibles por su impacto en el diseño urbano, como estadios o museos, pero el estudio realiza también pequeñas viviendas privadas, fábricas y oficinas con las que hacían en un principio.

Desde los noventa también realizan viviendas colectivas como la Residencia de estudiantes de Dijon en 1992 (FIG.13), y en sus obras destaca la predisposición a utilizar las superficies constructivas para comunicar mensajes autónomos. Un buen ejemplo es el pabellón de Ricola de Mulhouse en 1994<sup>15</sup>(FIG.14).

Pero por encima de todo, el Museo Tate de Londres en el 2000 (FIG.15) es la obra que les ha valido el renombre mundial. La transformación de una antigua central eléctrica tuvo como resultado uno de los mayores museos de arte contemporáneo del mundo.



FIG.13. Fotografía Residencia de estudiantes de Dijon



FIG.14. Fotografía del Pabellón de Ricola



FIG.15. Fotografía del Museo Tate de Londres

14\_Balland, L., Schepping, A., & Lill, J. (Eds.). (2020). Herzog & De Meuron 2002–2004 (Vol. 5). Birkhäuser.  
15\_Ursprung, P. (Ed.). (2002). Herzog & De Meuron Natural History. Lars Müller Publishers.

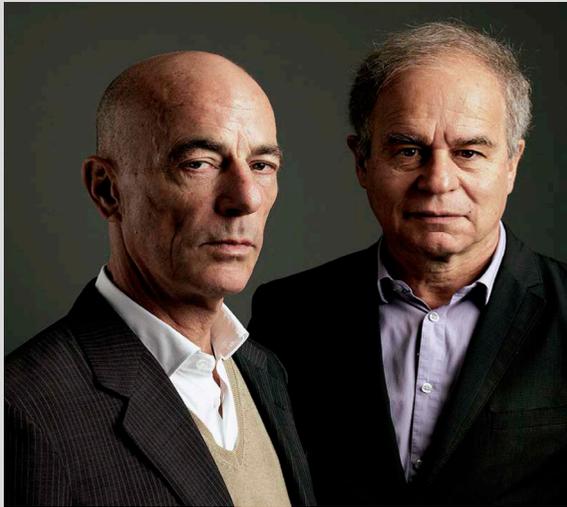


FIG.16. Fotografía de Jacques Herzog & Pierre de Meuron

Por la influencia e importancia de sus obras, Herzog y de Meuron (FIG.16) es uno de los principales estudios de arquitectura del mundo. El estadio Allianz Arena de Múnich (2004) está considerado de forma unánime uno de los mejores ejemplos de estructuras deportivas de la modernidad. A partir de este estadio la arquitectura para sus instalaciones deportivas se ha desarrollado en los últimos años con la construcción del Estadio Matmut Atlantique de Burdeos para la Eurocopa de 2016 y del Estadio nacional de Pekín para las olimpiadas de 2008.

Este estudio ha realizado proyectos tan importantes como<sup>16</sup> :

- El Walter art Center (1977)
- El Edificio de apartamentos y oficina Schuteenmattstasse (1992-1993)
- La Casa Rudin (1996-1997)
- El Dominius Wineru (1995-1998)
- El Tate Modern (1998-2000)
- El Centro Caban (2000-2002)
- La Biblioteca de la universidad teórica de Cottbus – IKMZ (2001-2004)
- El Forum de las culturas de Barcelona (2002-2004)
- El Allianz Arena (2002-2005)
- El De Young Museum (2005)
- El 40 Bond Street (2006-2007)
- El Estadio Olímpico de Pekín (2008)
- El CAISA Forum de Madrid (2008)
- El Estadio Olímpico de Pekín (2008)
- El CAISA Forum de Madrid (2008)
- La Vitrahaus (2007-2010)
- La Filarmónica de Elba (2007-2016)
- El 56 Leonard Street (2008-2016)

### 3.5. INGENIEROS DE LO IMPOSIBLE, ARUP AND ASSOCIATES

La sociedad Arup fue fundada en la posguerra por fue Ove Nyquist Arup. Nacido en Reino Unido y formado en Copenhague como ingeniero estructural. Amaba las artes, las matemáticas y la filosofía. Fue premiado con la medalla de Oro de la RIBA y como comendador de la Orden del Imperio Británico.

Ove es la fuerza creativa y ejecutora detrás de muchos de los edificios, proyectos de ingeniería civil, energía y transporte más importantes del mundo.

La firma Christian and Nielsen, que introdujo el hormigón reforzado en Dinamarca, sirve de referente a Arup para optar por las soluciones técnicas integrales e innovadoras que lo llevan después a abandonar el en un simple contratista y convertirse en consultor de soluciones de diseño.

Sus primeros trabajos se llevarán a cabo durante los años 30 y ya evidencian un ingeniero preocupado por las soluciones sostenibles y estéticas, como en el caso del estanque para pingüinos del Zoo de Londres.

El primer gran desafío fue la Ópera de Sídney<sup>17</sup>(FIG.17), junto al arquitecto John Utzon, que supuso también el primer proyecto de cubiertas de gran complejidad en el mundo. Su construcción llevó 16 años. Los diseños y los cálculos se hacían alquilando el único ordenador que había en Sídney en ese momento, esto sentó las bases de los programas usados hoy en día en los estudios de arquitectura.

Ove tenía una personalidad arrolladora lo cual sumado a sus grades capacidades hacía posible cualquier proyecto que se le presentase de una forma creativa y excelente, desde puentes o túneles hasta juegos de ajedrez y hoteles para insectos en parques.



FIG.17.Fotografía de la Ópera de Sídney



FIG.18.Fotografía del centro Pompidou

17\_ Rice, P. (1994). Un ingeniero imagina. Ellipsis London Ltd.



FIG.19. Fotografía de la Casa da musica de Oporto



FIG.20. Fotografía del Gherkin Building (30 St Mary Axe)

Arup and Associates (creada en 1963) ha sido tradicionalmente la ingeniería de los grandes arquitectos, y hoy en día, está formada por más de 10.000 profesionales (dueños de la empresa mediante acciones), operando desde 90 oficinas localizadas entre 35 países<sup>18</sup>.

Sus obras, disgregadas en 5 continentes, tienen la característica invariable de innovaciones en su estructura y diseños complejos. Además de las anteriormente nombradas incluyen entre muchas otras<sup>19</sup>:

- Centro Pompidou (FIG.18) - *Renzo Piano y Richard Rogers*
- El Millenium bridge de Londres - *Norman Foster*
- El Metropol Parasol de Sevilla - *Jürgen Mayer*
- Marina Bay en Singapur - *Moshe Safdie*
- Casa da musica de Oporto (FIG.19) - *Rem Koolhaas*
- La sede de CCTV televisión de China - *Rem Koolhaas*
- El Gherkin Building (30 St Mary Axe) (FIG.20)- *Norman Foster*
- La terminal nº5 del Aeropuerto de Heathrow - *Richard Rogers*
- El estadio de Beijing - *Herzog & de Meuron*
- El viaducto de Millau - *Norman Foster*
- La increíble Falkirk Wheel (Elevador para barcos) - *Tony Kettle*

Además, la empresa experimenta y estudia continuamente nuevas tecnologías como piscinas de vidrio suspendidas entre edificios, un sistema de fachada biorreactiva en base a algas, "solar leaf" y muchas otras áreas como arte o apoyos a distintos emprendimientos.

<sup>18</sup> Ministerio de Diseño. (2019, 12 mayo). Ove Arup: el ingeniero de los imposibles. <https://www.xn--ministeriodediseo-uxb.com/actualidad/ove-arup-el-ingeniero-de-los-imposibles/>  
<sup>19</sup> Spain - Arup. (s. f.). [www.arup.com](http://www.arup.com). Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://www.arup.com/es-es/offices/spain/madri8>

### 3.6. GUGGENHEIM, ESTRUCTURAS COMPLEJAS ANTES DE LA TECNOLOGÍA ACTUAL

El estadio olímpico de Beijing se pudo construir en su momento debido a que los softwares de diseño y cálculo de estructuras habían evolucionado mucho con respecto a épocas anteriores.

Un ejemplo de esto es por ejemplo el museo Guggenheim (FIG.21), situado en la ciudad de Bilbao, el cual fue construido en los años 90 y que ya supuso una evolución importante. Debido a su dificultad matemática, las sinuosas curvas fueron diseñadas mediante un programa informático de diseño tridimensional llamado Catia, que permitió diseñar y calcular estas formas que, años antes no hubiese sido posible. El edificio está construido con techos y muros de carga, que tienen una estructura interna de barras metálicas que forman cuadrículas con triangulaciones que se unen para formar un único cuerpo (FIG.22). Catia determinó el número de barras necesarias en cada lugar, así como su disposición y orientación<sup>20</sup>.

Además de esta estructura, los muros y techos tienen varias capas aislantes y un revestimiento exterior de titanio. Catia determinó la forma única y exclusiva para el lugar que ocupa cada pieza.



FIG.21. Fotografía diurna del Guggenheim



FIG.22. Fotografía de la estructura del Guggenheim



## **4. INVESTIGACIÓN PREVIA**

### **4.1. BASE DE LA INVESTIGACIÓN**

Este trabajo trata de realizar un estudio sobre el estadio Nacional de Beijing. Para abordar la investigación se eligen un grupo de estadios que encajen dentro de unas características concretas. Se parte de la búsqueda y recopilación de estadios (sobre todo olímpicos y de fútbol) y la posterior elección de algunos de ellos atendiendo a sus características.

Se podrían elegir una gran cantidad de estadios, por eso se hará una selección en relación con la tipología estructural utilizada.

La intención de la primera parte del trabajo es obtener una clasificación de las tipologías estructurales de algunos estadios singulares, para después poder elegir uno de ellos y analizarlo en profundidad en la siguiente parte del trabajo. Los estadios elegidos atienden a las características de cinco tipologías estructurales (ordenadas de mayor a menor masividad). Estas tipologías estructurales son las siguientes:

- Pórticos
- En ménsula
- Con cables
- Tensada (anillos)

## **4.2. JUSTIFICACIÓN DE LA REALIZACIÓN DEL EJE CRONOLÓGICO**

Se ha realizado un eje cronológico para situar los ejemplos elegidos a lo largo del tiempo y de esta forma estudiar si se genera algún patrón de repetición de las tipologías o por el contrario se percibe una evolución a lo largo de los años.

En el eje cronológico se encuentra la tipología de pórticos a partir de los 2000 y se extiende hasta la actualidad, apreciándose una evolución significativa en la complejidad de los sistemas utilizados.

En cuanto a las tipologías en ménsula, podemos observar su aparición desde finales de los años 80 y se mantiene a lo largo de toda la línea temporal, aunque en este caso sin demasiada evolución.

Por último, la tipología tensada se repite de igual forma a lo largo de todo el periodo de tiempo estudiado, apareciendo al comienzo y casi al final de la línea temporal, variando sus configuraciones, pero no sus características generales.

Podemos concluir que no se observa una evolución de diferentes tipologías a lo largo del tiempo, pero si que se observa dentro de cada una de las categorías.

## **4.3. JUSTIFICACIÓN DE LA REALIZACIÓN DEL MAPAMUNDI**

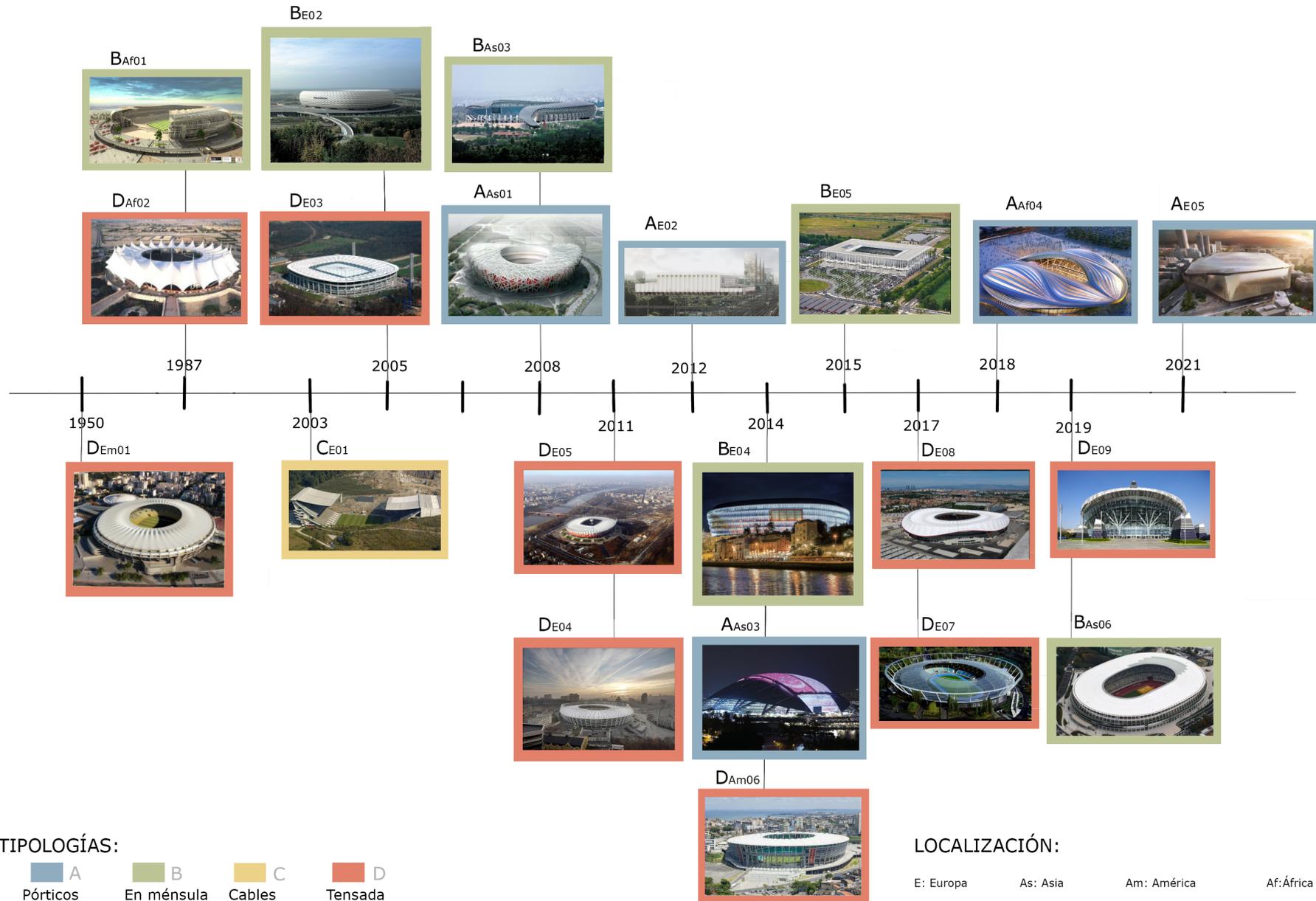
De la misma forma que se han situado los estadios a lo largo del tiempo se ha procedido a la situación de estos dentro de un mapamundi para ver de igual modo que en el eje cronológico si existe una pauta de situación de las tipologías.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que la mayoría de los estadios más innovadores están localizados en la zona europea, aunque también hay algunos localizados en Asia y América del sur.

En el caso de Europa podemos ver que se localizan estadios de todas las tipologías, pero se puede observar que predominan la tipologías tensada en la parte norte y la porticada, en ménsula y cables en la parte sur.

Por otro lado, si atendemos a lo que refleja en el mapa las tipologías predominantes en Asia serían la porticada y en ménsula. Mientras que en América del sur sería la tipología tensada.

### EJE CRONOLÓGICO DE LOS EJEMPLOS SELECCIONADOS



## LOCALIZACIÓN DE LOS EJEMPLOS SELECCIONADOS



#### 4.4. TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES Y CASOS DE ESTUDIO

La organización de los casos de estudio se realizará en base a su tipología estructural, las cuales se colocan de mayor a menor masividad, de tipología con pórticos a tipología tensada. Dentro de cada tipología se establece una clasificación por orden cronológico y se aportan también los datos correspondientes a su localización.

##### A) TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL: PÓRTICOS

- AAs01) Estadio nacional de Pekín para los Juegos Olímpicos de 2008
- AE02) Estadio ZSCLV de Zúrich
- AAs03) Estadio nacional de Singapur
- AAf04) Estadio Al Janoub
- AE05) Estadio Santiago Bernabéu

##### B) TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL: EN MÉNSULA

- BAf01) Estadio Soccer City
- BE02) Estadio Allianz Arena
- BAAs03) Estadio central de Kaohsiung para los Juegos Olímpicos de 2008
- BE04) Estadio San Mamés
- BE05) Estadio Mamut Atlantique
- BAAs06) Nuevo estadio nacional de Tokio

##### C) TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL: CON CABLES

- DE01) Estadio municipal de Braga

##### D) TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL: TENSADA (ANILLOS)

- DAm01) Estadio Maracaná
- DAf02) Estadio Rey Fahd
- DE03) Estadio Commerzbank Arena
- DE04) Estadio olímpico de Kiev
- DE05) Estadio nacional de Varsovia
- DAm06) Estadio Arena Fonte Nova
- DE07) Estadio Slaski
- DE08) Estadio Wanda Metropolitano
- DE09) Estadio Tottenham Hotspur



El Estadio Nacional de Beijing está situado en una suave elevación que ocupa el centro del Parque Olímpico, al norte de Pekín. Lo más importante era crear un tipo de arquitectura que continuase siendo funcional tras los Juegos Olímpicos de 2008.

Desde lejos puede apreciarse que la retícula de la estructura portante rodea el edificio al tiempo que parece internarse en él (FIG.23).

Todo este espacio que rodea al interior del estadio es al mismo tiempo estructura, fachada, ornamento y ámbito público (FIG.24), es el vínculo entre la ciudad exterior y el recinto deportivo propiamente dicho, y a su vez es un enclave urbano autónomo. El vaso interior se ha diseñado para que los espectadores formen parte de la arquitectura.

Su imagen es puramente estructural (FIG.25), fachada y estructura son idénticas. Los elementos portantes se sustentan entre sí y convergen en una retícula en la cual se integran fachadas, cuenco, escaleras, y cubierta. Para procurar protección frente a las inclemencias climatológicas, el entramado de la cubierta se rellena de una membrana translúcida (FIG.26).<sup>20</sup>

- Arq+Ing: Herzog & de Meuron + Li Xinggang+ Arup
- Tipología estructural: Celosía
- Año de construcción: 2008
- Dimensiones aproximadas: 320 x 274 metros
- Altura aproximadamente: 69 metros
- Estructura: Acero
- Capacidad: 80.000 personas<sup>21</sup>

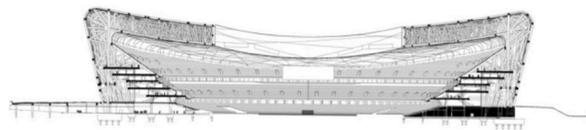


FIG.25. Sección transversal del estadio nacional de Beijing

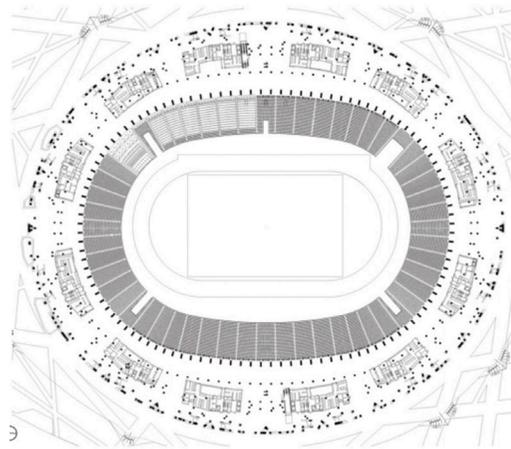


FIG.24. Planta primera del estadio nacional de Beijing

# AAS01 ESTADIO NACIONAL DE BEIJING PARA LOS JUEGOS OLÍMPICOS



FIG.23. Render exterior del estadio nacional de Beijing



FIG.26. Fotografía interior del estadio nacional de Beijing

21\_Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2008). Pekín Olímpico. Arquitectura Viva, 118-119, 82-101.

22\_Estadio olímpico de Pekín - Ficha, Fotos y Planos. (2020, 15 octubre). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/estadio-olimpico-de-pekín/>

# AE02 ESTADIO ZSCLV



FIG.27. Fotografía exterior del estadio ZSCLV



FIG.30. Fotografía interior del estadio ZSCLV

El estadio ZSCLV (FIG.27) está situado en Zúrich. El proyecto propone un edificio con cualidades que se encuentran a mitad de camino entre una carpa y un monumento. El nuevo estadio debe diferenciarse de las estructuras industriales vecinas y debe verse claramente su condición de lugar de concurrencia pública, de reunión y de entrada a la ciudad (FIG.28).

El estadio se organiza en una única planta evitando así la superposición de estructuras de grandes luces para lograr un edificio con un volumen altamente eficiente. Unos contrafuertes, dispuestos en el lado mayor del estadio, soportan las cerchas metálicas que cubren de Este a Oeste las instalaciones deportivas (FIG.29). Al nivel del terreno, los contrafuertes modelan un soportal continuo que se prolonga a lo largo de los lados mayores del edificio, fachadas Este y Oeste, y todos los accesos (seguidores, VIPs y vehículos) se organizan en este generoso espacio de circulación<sup>22</sup>.

La estructura primaria de contrafuertes y cerchas (FIG.30) se cubre con placas de hormigón prefabricados que al mismo tiempo exhiben una cualidad de ligereza textil y hacen referencia al clasicismo monumental. En las fachadas Este y Oeste estas piezas forman ondulaciones que se ajustan a los espacios entre los contrafuertes como si se tratase de gigantes paños colgantes.

El color claro del revestimiento se activará por efecto de la luz natural al bañar los paños y los pliegues que modulan su superficie. El revestimiento traza un perfil suavemente ondulado en su encuentro con el soportal cuyo interior está aplacado con mosaicos de un color azul intenso<sup>23</sup>.

- Arq+Ing: Carlos San Juan + Baunetz
- Tipología estructural: Celosía
- Año de construcción: 2012
- Dimensiones aproximadas: 170x110 metros
- Altura aproximada: 35 metros
- Estructura: Acero
- Capacidad: 30.000 personas<sup>24</sup>

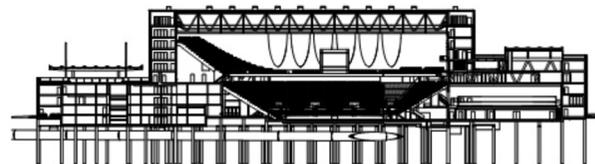


FIG.29. Sección longitudinal del estadio ZSCLV

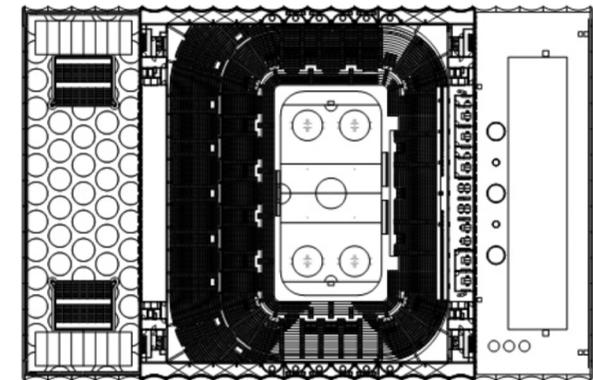


FIG.28. Planta séptima del estadio ZSCLV

23\_Caruso St John Architects. (2013, 16 marzo). AFASIAARCHZINE.COM. <https://afasiaarchzine.com/2013/03/caruso-st-john-architects-12/>

24\_Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2013). N 166 Caruso St John 1993-2013. El Croquis, 166, 260-265.

25\_Levene, R., & Márquez Cecilia, F. (Eds.). (2019). N 201 Caruso St John 2013-2019. El Croquis, 201, 148-159.

El estadio Nacional de Singapur (FIG. 31), situado en Kallang, tiene una cúpula o domo de más de 300 m de luz (FIG. 32), practicable, que permite acoger diferentes configuraciones y deportes es un desafío mayor (FIG. 33). Construido en base a grandes arcos de celosías de sección triangular confeccionados con dos cuerdas superiores y una inferior de sección circular (FIG. 34), la estructura se complementa con vigas tipo costaneras y arriostrantes de similar configuración (FIG. 35). El manto continuo del domo cuya transparencia y luminosidad se aprecian en su verdadera dimensión desde el interior pero que se instalan con tal prestancia y sinceridad en el entorno que la escala parece perder importancia y hasta significado. En este resultado parece jugar un rol importante la claridad y simpleza del concepto y las definiciones estructurales, más allá de las evidentes y esperables complejidades que tamaño desafío demanda<sup>25</sup>.

- Arq+Ing: DP Architects + Arup Associates
- Tipología estructural: Celosía
- Año de construcción: 2014
- Dimensiones aproximadas: 300 metros de diámetro
- Altura aproximada: 67 metros
- Estructura: Acero
- Capacidad: 55.000 personas<sup>26</sup>

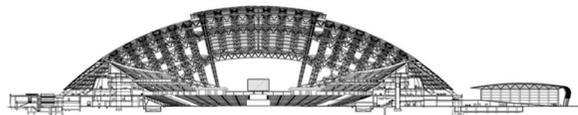


FIG.35. Sección del estadio Nacional de Singapur

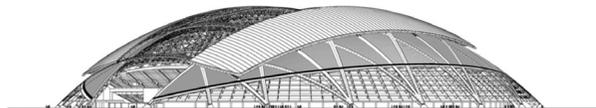


FIG.32. Alzado del estadio Nacional de Singapur

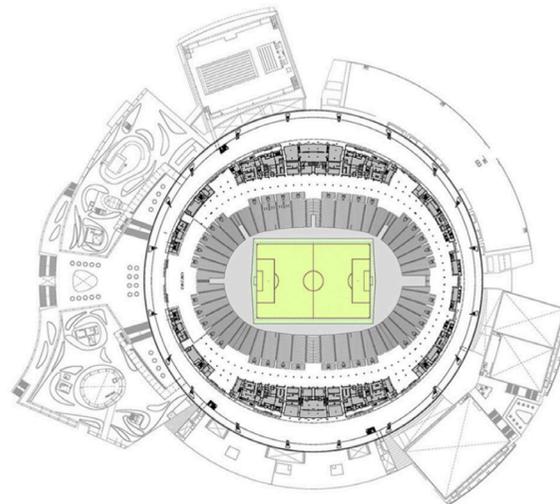


FIG.33. Planta del estadio Nacional de Singapur

## AAS03 ESTADIO NACIONAL DE SINGAPUR



FIG.31. Fotografía exterior del estadio Nacional de Singapur



FIG.34. Fotografía interior del estadio nacional de Singapur

<sup>26</sup> Arup Associates. (2018, 8 marzo). Estadio Nacional de Singapur diseñado por Arup Associates. arquired. <https://www.arquired.com.mx/arq/arquitectura/estadio-nacional-singapur-arup-associates/>  
<sup>27</sup> Estadio Nacional de Singapur | Arquitectura en acero. (s. f.). [www.arquitecturaenacero.org](http://www.arquitecturaenacero.org). Recuperado 15 de abril de 2021, de <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-singapur>

# Aaf04

## ESTADIO AL JANOUB



FIG.39. Render exterior del estadio Al Janoub

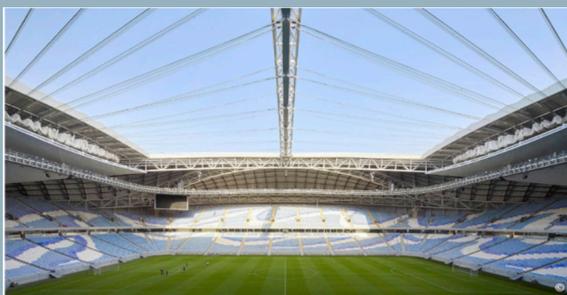


FIG.36. Fotografía interior del estadio Al Janoub

El estadio Al Janoub está situado en la ciudad de Sakrah, Qatar. Es un estadio con una capacidad para 40000 asientos que pudiera reducirse a 20000 asientos después del torneo (desmontables y transportables).

El estadio cuenta con un techo operativo y un sistema de enfriamiento de asientos que garantiza que se pueda usar el estadio durante los meses de verano en Qatar. El techo operable se ha diseñado utilizando telas y cables de PTFE plisados (FIG.36). Cuando se despliega, funciona como una vela para cubrir el óculo sobre el campo de juego y crear un ambiente protegido para el fútbol.

El estadio se asienta en un gran podio ajardinado que lleva a los visitantes desde el graderío hasta el vestíbulo del nivel de entrada ubicado en el centro de las gradas de los asientos (FIG.37). Los grandes vacíos permiten a la mayoría de los espectadores llegar y salir del estadio y albergan actividades.

La cubierta del estadio de Al Janoub está compuesta por vigas reticuladas, una estructura rígida y ligera con forma de anillo que se subdivide en dos cerchas simétricas compuestas por tres conchillas. Estas están conectadas por cabios de cajón y soportan el peso de las estructuras secundarias y los revestimientos externos. La cubierta está sostenida en su perímetro por columnas de acero y por cuatro pilares de hormigón (FIG.38), mientras que en el interior, por dos columnas de acero con forma de L. En el centro se encuentra una abertura en la cual, para garantizar un mayor control de la temperatura (FIG.39), dadas las condiciones climáticas del país, ha sido instalado un techo retráctil que, durante los espectáculos, se pliega sobre sí mismo dentro de una estructura llamada "garaje".<sup>27</sup>

- Arq: Zaha Hadid Architects
- Tipología estructural: Celosía
- Año de construcción: 2018
- Dimensiones aproximadas: 220 x 260 metros
- Altura aproximada: 55 metros
- Estructura: Acero
- Capacidad: 40.000 personas<sup>28</sup>

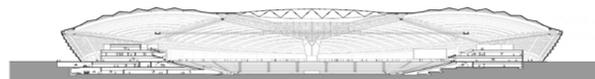


FIG.37. Sección del estadio Al Janoub

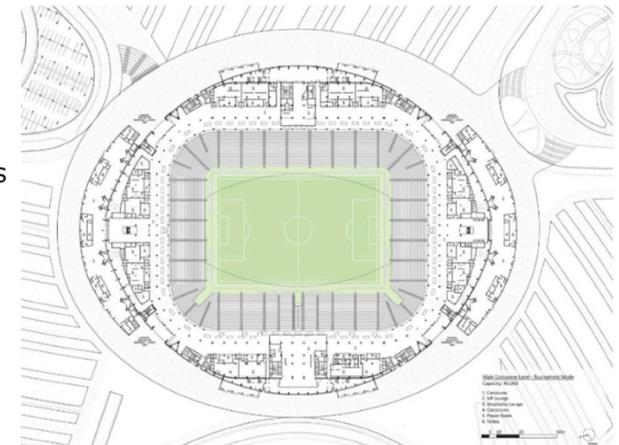


FIG.38. Planta del estadio Al Janoub

<sup>28</sup> Arquine. (2019, 27 mayo). Estadio Al Janoub de Zaha Hadid | Arquine. Arquine | arquitectura, diseño y ciudad desde México. <https://www.arquine.com/estadio-al-janoub-zaha-hadid-architects/>

<sup>29</sup> Arqa Editorial. (2019, 21 mayo). Estadio de AL Janoub Al Wakrah, Qatar -. ARQA. <https://arqa.com/arquitectura/al-janoub-stadium-and-precinct-al-wakrah-qatar.html>

El estadio Santiago Bernabéu está situado en Madrid (FIG.40) y fue inaugurado en el 1947, tiene capacidad para albergar 81044 espectadores que se verá aumentada en 8000 localidades en la remodelación. El estadio es el resultado de numerosas ampliaciones y remodelaciones, la última de ellas se está llevando a cabo en este momento (FIG.41).

La cubierta de este estadio presenta una estructura metálica de cerchas a lo largo de su perímetro (FIG.42). Con la nueva ampliación se pretende conseguir que la cubierta sea retráctil (FIG.43) llegando a cubrir el estadio en su totalidad<sup>29</sup>.

- Arq: L35 Arquitectos + GMP Architekten + Rivas & Rivas
- Tipología estructural: Celosía
- Año de construcción: 1947
- Año de remodelación: Comienzo en 2019
- Dimensiones aproximadas: 205 x 180 metros
- Altura aproximada: 57 metros
- Estructura: Acero + Hormigón
- Capacidad: 89.044 personas<sup>30</sup>

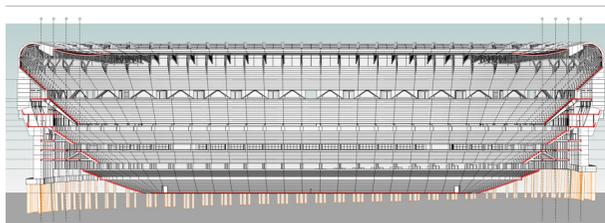


FIG.41. Sección estadio Santiago Bernabéu

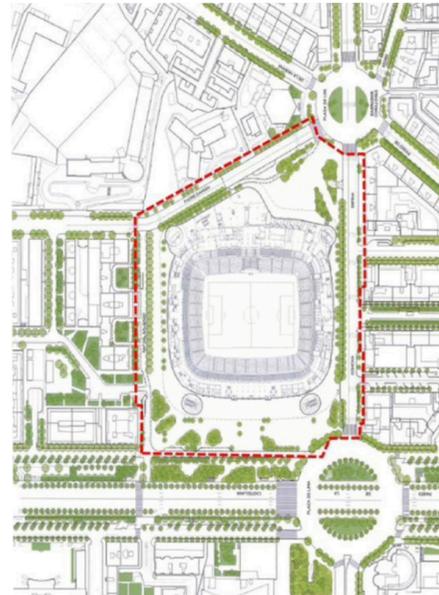


FIG.40. Planta estadio Santiago Bernabéu

# AE05 ESTADIO SANTIAGO BERNABÉU



FIG.42. Render exterior estadio Santiago Bernabéu



FIG.43. Render interior estadio Santiago Bernabéu

# Baf01

## ESTADIO SOCCER CITY

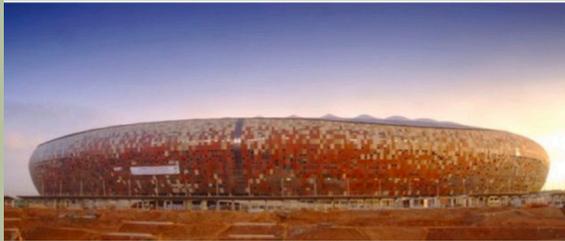


FIG.45. Fotografía exterior del estadio Soccer City



FIG.47. Fotografía interior del estadio Soccer City

El estadio Soccer City está situado en Johannesburgo (Sudáfrica) y fue construido en 1987 como el primer estadio sudafricano internacional (FIG.44). De cara al mundial de fútbol del 2010 se decidió su remodelación total.

Además del estadio y los vestuarios encontramos salas VIP, ocho estudios para medios televisivos, un museo de fútbol y un restaurante.

Tiene 120 pilares de apoyo en pendiente que sirven para mantener la estructura sobre la que se desarrolla la fachada y la cubierta elíptica (FIG.45). La estructura del techo es muy compleja (FIG.46). La estructura del marco es de acero y sobre ella se apoya una membrana de policarbonato que se despliega según las necesidades. La cubierta superior está en voladizo desde el anillo espacial y está conformada por una enorme armadura triangular cubierta por una membrana PTFE en un color similar al de la arena (FIG.47). La parte inferior de las cerchas está cubierta por una membrana de malla perforada, dando así el aspecto de un falso techo suspendido. La armadura espacial triangular del anillo se apoya en doce ejes de hormigón de 40 metros de alto los cuales, sometidos a una enorme tensión y a fuerzas de compresión, se anclan en el lecho rocoso<sup>31</sup>.

- Arq: Boogertman Urban Adge & Partners
- Tipología estructural: Celosía
- Año de construcción: 1987
- Año de remodelación: 2009
- Dimensiones aproximadas: 290x290 metros
- Altura aproximada: 40 metros
- Estructura: Acero
- Capacidad: 94.736 personas<sup>32</sup>



FIG.46. Axonometría constructiva del estadio Soccer City

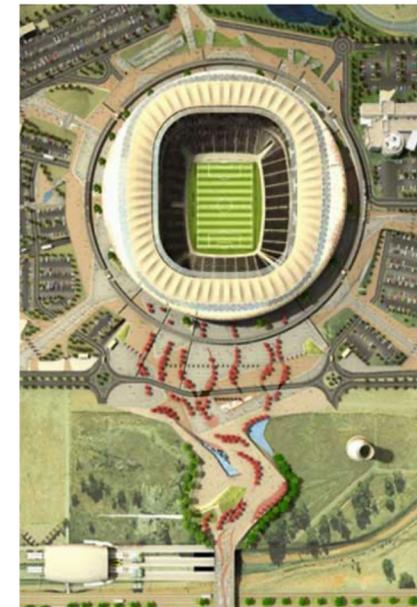


FIG.44. Planta del estadio Soccer City

32\_ Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2019). N 202 Bernardo Bader 2009–2019. El Croquis, 202, 226–229.

33\_Soccer City Stadium - Ficha, Fotos y Planos. (2020, 29 octubre). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/soccer-city-stadium/>

El estadio Allianz Arena se sitúa en Múnich (Alemania) y está definido por tres aspectos desde los puntos de vista urbano y arquitectónico: la presencia del estadio como un cuerpo luminoso, una imagen cambiante y un posado sobre un paisaje abierto; el acceso procesional del público al recinto a través de un área ajardinada; y por último, el interior del propio estado, concebido como un cráter (FIG.48).

Tanto la envolvente como el esqueleto estructural del estadio han sido diseñados en función de estos tres aspectos claves. De ahí que las escaleras principales que discurren por el caparazón del edificio (FIG.49) sigan la línea de la gran pendiente que subraya el acceso procesional del público. De esta forma el estadio adquiere su singular carácter, mientras que otras partes del programa, como las salas VIP, los vestíbulos, las áreas de catering, etc, son están preparadas para someterse a los cambios que introducirán sus usuarios.

La piel de este cuerpo luminoso está constituida por una inmensa superficie de almohadas de EFTE (etileno-tetra-fluor-etileno) con forma romboidal y de hormigón color blanco (FIG.49), cada una de las cuales puede iluminarse de forma independiente con luz blanca, roja o azul. El color de los almohadones de EFTE se puede controlar digitalmente. La cambiante imagen del recinto potencia su atractivo como monumento urbano incluso para la gente ajena al fútbol.

Dado que en el nuevo estadio de Múnich sólo van a celebrarse partidos de fútbol, los asientos se sitúan adyacentes del terreno de juego, y cada una de las gradas lo más cerca posible del césped (FIG.50). La acusada pendiente entre la base y la cumbre del graderío aporta una especial densidad<sup>33</sup> (FIG.51).

- Arq+Ing: Herzog & de Meuron + Arup
- Tipología estructural: Celosía
- Año de construcción: 2005
- Dimensiones aproximadas: 130 x 115 metros
- Altura aproximada: 52 metros
- Estructura: Acero
- Capacidad: 69.901 personas<sup>34</sup>



FIG.51. Sección del estadio Allianz Arena

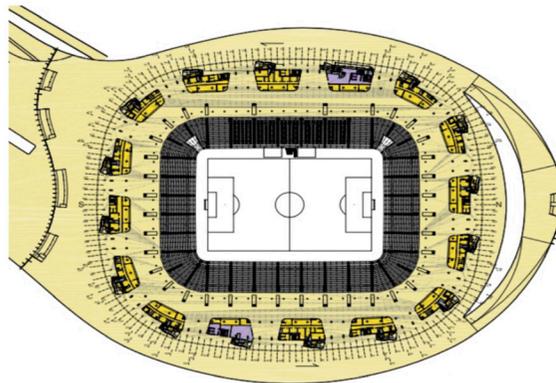


FIG.49. Planta nivel E2 del estadio Allianz Arena

# BE02 ALLIANZ ARENA



FIG.48. Fotografía exterior del estadio Allianz Arena



FIG.50. Fotografía interior del estadio Allianz Arena

34\_Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2006). 129/130 Herzog & De Meuron 2002-2006. El Croquis, 129/130, 272-299.  
35\_Allianz Arena - Ficha, Fotos y Planos. (s. f.). WikiArquitectura. Recuperado 15 de abril de 2021, de <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/allianz-arena/>

# BA03 ESTADIO CENTRAL DE KAOHSIUNG PARA LOS JUEGOS OLÍMPICOS



FIG.52. Fotografía exterior del estadio central de Kaohsiung



FIG.54. Fotografía interior del estadio central de Kaohsiung

El estadio central de Kaohsiung (Taiwán) se construyó para 40.000 personas (hasta 55.000 con asientos temporales) como escenario principal de las competiciones. Se trata del primer recinto deportivo construido en Taiwán según los estándares exigidos por las federaciones internacionales de atletismo y fútbol.

Los tres conceptos claves del estadio son "espacio abierto", "parque urbano" y "espiral continua" (FIG.52). El primero de estos conceptos se traduce en que los asientos de los espectadores se abren a la ciudad (FIG.53). A diferencia de los estadios convencionales, en forma circular, el de Kaohsiung tiene sus gradas orientadas hacia la entrada principal sur, lo que provoca de forma espontánea la atracción de público procedente de la nueva estación construida al sureste del estadio. El segundo de ellos hace alusión a una nueva tipología de parque urbano. En este "estadio abierto", la plaza exterior de acceso y el terreno de juego pueden tener un uso integrado incluso los días en los cuales no se celebra ningún evento. En tercer lugar, la gran cubierta (FIG.54) que cubre la zona de asientos está realizada a base de paneles de vidrio templado y laminado provistos de células solares, 32 tubos de acero de forma helicoidal, "la espiral de aros oscilantes", se elevan sobre todo el estadio a modo de estructura secundaria<sup>35</sup>(FIG.55).

- Arq: Toyo Ito
- Tipología estructural: Celosía
- Año de construcción: 2008
- Dimensiones aproximadas: 225x256 metros
- Altura aproximada: 35,5 metros
- Estructura: Acero
- Capacidad: 40.000 personas (hasta 55.000)<sup>36</sup>

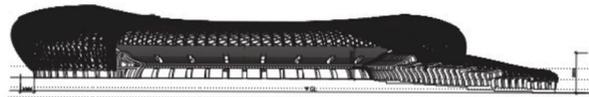


FIG.55. Alzado sureste del estadio central de Kaohsiung

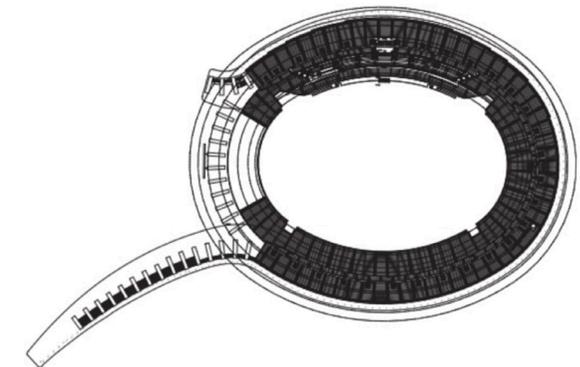


FIG.53. Alzado sureste del estadio central de Kaohsiung

<sup>36</sup> Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2009). 147 Toyo Ito 2005-2009. El Croquis, 136-157.

<sup>37</sup> Kaohsiung Stadium - Ficha, Fotos y Planos. (2020, 20 octubre). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/kaohsiung-stadium/>

El estadio San Mamés está situado en Bilbao. En 2004 se comenzaron las gestiones para reemplazar el antiguo estadio, por una dotación deportiva más moderna y con mayor capacidad.

El volumen se manifiesta de manera rotunda y, al mismo tiempo, trata de funcionar a una escala urbana en relación con las demás construcciones de la zona. El diseño sitúa un polideportivo público bajo uno de sus graderíos, y aporta un valor especial a las zonas de tránsito y a la parte trasera del estadio. Los espacios de circulación (FIG.56), por los que se accede y regresa al graderío, están definidos por el empleo de una fachada dinámica que relaciona el exterior y el interior. La fachada está configurada como el elemento más singular mediante la repetición de paneles de ETFE torsionado (FIG.57). Estos paneles se iluminan durante la noche, reforzando la presencia del estadio como un hito urbano sobre la ría (FIG.58).

Otro factor fundamental para la configuración del nuevo San Mamés ha sido la voluntad de mantener la atmósfera tradicional que caracterizaba este estadio, definida por la disposición singular de sus gradas que permiten que el público ejerza mucha presión sobre el desarrollo de los partidos que están muy cerca del campo de juego.

El estado dispone de amplias áreas de servicios de restauración, palcos VIP, localidades preferentes y zonas de servicios y ocios, además de zonas para el propio club de fútbol como un museo, la tienda oficial y zonas de reunión de socios y dirección. Toda la zona reservada para los espectadores está cubierta y protegida por una piel superior de cojines ETFE blancos (FIG.59), sostenida por grandes cerchas metálicas radiales orientadas hacia el centro<sup>37</sup>.

-Arq+Ing: IDOM

-Tipología estructural: Celosía

-Año de construcción: 1913

-Año de remodelación: 2014

-Dimensiones aproximadas: 200X160 metros

-Altura aproximada: 28,5 metros

-Estructura: Hormigón + Acero

-Capacidad: 53.000 personas<sup>38</sup>



FIG.57. Alzado del estadio San Mamés



FIG.56. Planta del estadio San Mamés



FIG.58. Fotografía exterior del estadio San Mamés



FIG.59. Fotografía interior del estadio San Mamés

38\_ Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2016). España 2016. AV Monografías, 183-184, 74-83.

39\_ Sánchez, D. (2019, 24 octubre). Estadio San Mames / ACXT. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/755444/estadio-san-mames-acxt>

## BE04 ESTADIO SAN MAMÉS

# BE05 ESTADIO MAMUT ATLANTIQUE



FIG.60. Fotografía exterior del nuevo estadio de Burdeos



FIG.61. Fotografía interior del nuevo estadio de Burdeos

Se sitúa en Burdeos (Francia) y como si fuese un templo clásico se construye una cortina de pilares posados sobre un plinto. Pero a diferencia de estos, este estadio transforma sus podio en una escalinata muy marcada (FIG.60), y el resultado es que se desmaterializan los límites entre el interior y el exterior, y todo el conjunto resulta liviano.

El edificio consiste en un riguroso ejercicio funcional con las mejores condiciones posibles de visibilidad. El graderío consta de dos niveles divididos en cuatro sectores y protegidos de la intemperie por la cubierta. La cara inferior de la cubierta (FIG.61), que visualmente es uniforme, guía la mirada hacia el campo de juego y, al mismo tiempo, permite el paso de luz natural. Su estructura se oculta para no distraer la atención de los espectadores. Un basamento compacto eleva las gradas sobre el nivel del terreno y alberga un volumen uniforme y simétrico con diferentes funciones como salas VIP o áreas de prensa (FIG.62)<sup>39</sup>.

La estructura se basa en 644 pilares metálicos. El gran número de esbeltas columnas genera la sensación de que el rectángulo de la cubierta se proyecta hacia el suelo (FIG.63). Una cinta ondulante, que contiene puestos de comida y aseos, serpentea entre este bosque de columnas que se dinamiza por el movimiento de la multitud<sup>40</sup>.

A diferencia de otros estadios, el acceso no se produce por baterías de escaleras o rampas, sino por una escalinata colonizada de columnas, que conduce al vestíbulo y al graderío, dispuesto en torno a un campo multifuncional.

- Arq+Ing: Herzog & de Meuron + Arup
- Tipología estructural: En ménsula
- Año de construcción: 2015
- Dimensiones aproximadas: 196x232 metros
- Altura aproximada: 40 metros
- Estructura: Acero
- Capacidad: 42.000 personas<sup>41</sup>



FIG.62. Sección del nuevo estadio de Burdeos

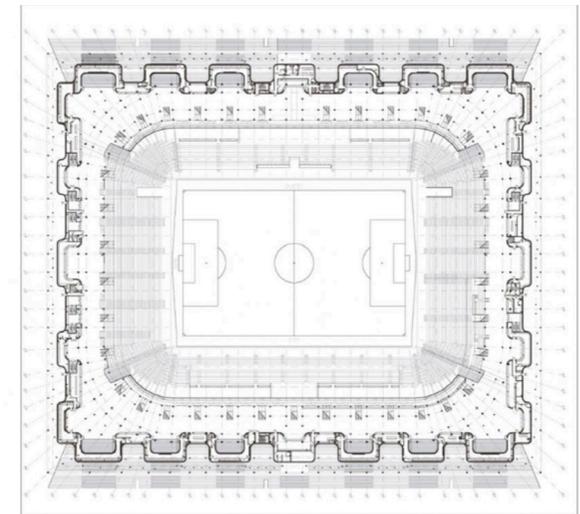


FIG.63. Planta del nuevo estadio de Burdeos

40\_Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2016b). Herzog & de Meuron. AV Monografías, 191-192, 148-159.

41\_Hernández, D. (2020, 16 diciembre). Estadio Matmut Atlantique / Herzog & de Meuron. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/767336/nuevo-estadio-de-burdeos-herzog-and-de-meuron>

42\_Arquine. (2015, 26 mayo). Nuevo Estadio de Burdeos | Arquine. Arquine | arquitectura, diseño y ciudad desde México. <https://www.arquine.com/nuevo-estadio-de-burdeos/>

El edificio cuenta con una logia elevada que genera un paisajístico recorrido alrededor del campo (FIG.64). Se reinterpretan los grandes aleros que caracterizan la arquitectura japonesa tradicional mediante una sucesión vertical de banda inclinada (revestida con tablas de cedro y pino Okinawa procedente de bosques certificados) que proporcionarán sombra y canalizarán las corrientes de aire hacia los asientos (FIG.65).

En el interior, la madera también es el material protagonista ya que la cubierta está formada por cerchas de madera laminada y conectores metálicos (FIG.66). Se instala un gran tragaluz en la parte sur del techo, para permitir que la luz natural llegue a todas las partes del campo y poder cultivar el césped en invierno. A esta estrategia bioclimática se unen otras como la recolección de agua de lluvia, la generación de energía fotovoltaica o la climatización geotérmica, que contribuyen al ahorro energético del proyecto.

A pesar de la escala monumental del estadio, el diseño consigue crear una atmósfera cálida y cercana gracias al uso de la madera tanto en los aleros como en la estructura de la cubierta<sup>42</sup> (FIG.67).

- Arq: Kengo Kuma
- Tipología estructural: Celosía
- Año de construcción: 2019
- Dimensiones aproximadas: 250x290 metros
- Altura aproximada: 60 metros
- Estructura: Madera + Acero
- Capacidad: 60.000 personas<sup>43</sup>



FIG.66. Sección del nuevo estadio de Burdeos

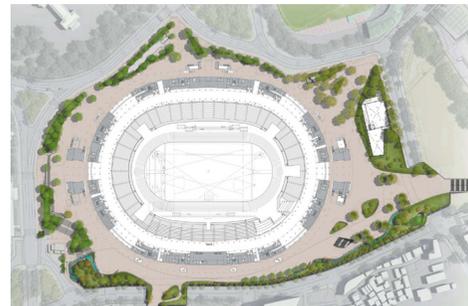


FIG.64. Planta del nuevo estadio de Burdeos



FIG.67. Fotografía exterior del nuevo estadio de Burdeos



FIG.65. Fotografía interior del nuevo estadio de Burdeos

43\_Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2019). Kengo Kuma 2014–2019. AV Monografías, 218-219, 18–23.

44\_Nuevo Estadio Nacional de Tokio | Wikipedia | manualdatecnologia.com. (2020). <https://manualdatecnologia.com>. <https://manualdatecnologia.com/pages/estadios-de-pista-y-campo-en-jap-n/nuevo-estadio-nacional-de-tokio.html>

# BAs06 NUEVO ESTADIO NACIONAL DE TOKIO

# DE01 ESTADIO MUNICIPAL DE BRAGA



FIG.68. Fotografía exterior del estadio municipal de Braga



FIG.69. Fotografía interior del estadio municipal de Braga

El estadio municipal de Braga está construido en una cantera de Monte Castro (FIG.68), que domina la ciudad, con gradas únicamente en dos de los laterales del terreno de juego. Cada grada lateral se cubre con una cubierta al estilo de un techo (FIG.69), y ambas están conectadas entre sí a través de docenas de cables de acero (FIG.70), inspiradas en un diseño de los puentes construidos por los incas<sup>44</sup>.

El estadio se levanta siguiendo la disposición de dos planos rectangulares enfrentados (FIG.71) que mantienen la misma inclinación de las gradas. Esta estrategia permite que el estadio sirva de referencia para cualquier futuro desarrollo de la zona en la emergente expansión de la ciudad hacia el norte<sup>45</sup>.

- Arq+Ing: Souto de Moira + Rui Furtado
- Tipología estructural: Con cables
- Año de construcción: 2003
- Dimensiones aproximadas: 100 x 70 metros
- Altura aproximada: 40 metros
- Estructura: Hormigón
- Capacidad: 30.286 personas<sup>46</sup>

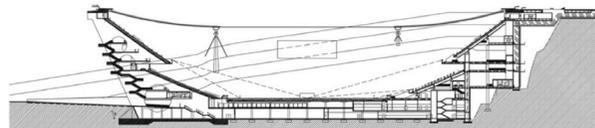


FIG.70. Sección del estadio municipal de Braga

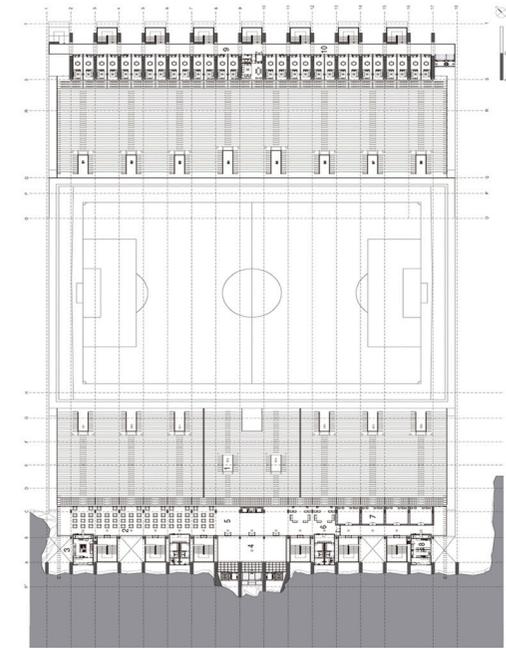


FIG.71. Planta del estadio municipal de Braga

45\_Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2005). Eduardo Souto de Moura 1995-2005. *El Croquis*, 124, 160-187.

46\_Estadio Municipal de Braga - Ficha, Fotos y Planos. (2020, 15 octubre). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/estadio-municipal-de-braga/>

47\_Pastorelli, G. (2017, 14 septiembre). Estadio Municipal de Braga / Eduardo Souto de Moura. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/c/02-92862/estado-municipal-de-braga-eduardo-souto-de-moura>

El estadio Maracanã se sitúa en Río de Janeiro, Brasil. Fue construido en 1950 y remodelado en 2013.

La estructura (FIG.72) está formada por pilares de hormigón armado reforzados para soportar la nueva estructura de cubierta liviana, basada en el principio de los radios de una rueda en posición horizontal (FIG.73). Cuenta con un anillo de compresión y tres anillos tensores, facilita utilizar un techo que está casi flotando (FIG.74)<sup>47</sup>.

La cubierta de este estadio es tensada, sustentada por cables de acero formando un círculo en planta. Consiste en una membrana de fibra de vidrio recubierta de teflón (FIG.75) y suspendida entre los principales ejes radiales<sup>48</sup>.

- Arq: Fernandes Arquitectos Associados
- Tipología estructural: Anillos
- Año de construcción: 1950
- Año de remodelación: 2013
- Dimensiones aproximadas: 300 x 260 metros
- Altura aproximada: 32 metros
- Estructura: Hormigón + Membrana de fibra de vidrio y politetrafluoretileno (PTFE)
- Capacidad: 87.100 personas<sup>49</sup>

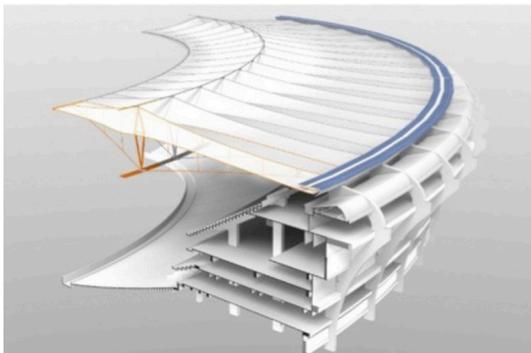


FIG.72. Sección constructiva del estadio Maracanã

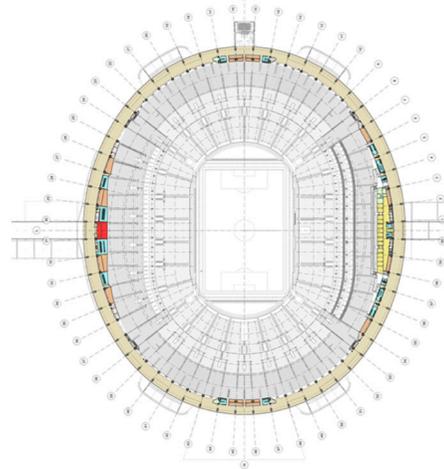


FIG.74. Planta general del estadio Maracanã



FIG.73. Fotografía exterior del estadio Maracanã

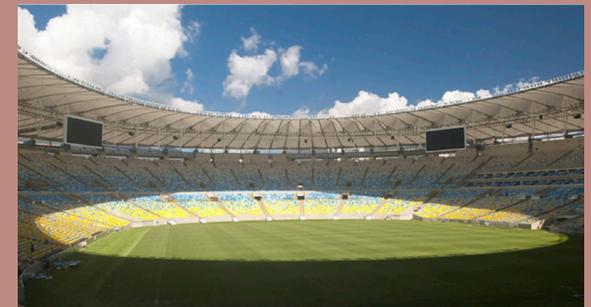


FIG.75. Fotografía interior del estadio Maracanã

48\_Delaqua, V. (2021, 26 enero). Estadio Jornalista Mário Filho – Maracanã / Fernandes Arquitectos Associados. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-314314/estadio-jornalista-mario-filho-nil-maracana-fernandes-arquitectos-associados>

49\_Hernández, D. (2019, 24 octubre). Estructura de cubierta del Estadio Maracanã / schlaich bergemann und partner. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-369505/estructura-de-cubierta-del-estadio-maracana-schlaich-bergemann-und-partner>

50\_Pareja Abia, J. (2020). La arquitectura de los estadios: Análisis estructural de los estadios deportivos. E.T.S. Arquitectura de Madrid, España.

# DAm01

## ESTADIO MARACANÃ

# DAf02

## ESTADIO REY FAHD



FIG.76. Fotografía exterior del estadio Rey Fahd



FIG.78. Fotografía interior del estadio Rey Fahd

El estadio del Rey Fahd se sitúa en Riad (FIG.76), Arabia Saudí y se inauguró en el año 1987. El estadio lo sustentan 24 pilares desde los cuales parte la estructura de su cubierta (FIG.77), la cual se compone de una tenso-estructura de cables que soportan las lonas (FIG.78). Las 24 columnas se colocan a lo largo de un círculo de 247 metros de diámetro<sup>50</sup>(FIG.79).

- Arq: Ian Fraser + John Robertos & Partners
- Tipología estructural: Tensada
- Año de construcción: 1987
- Dimensiones aproximadas: 247 metros de diámetro
- Altura aproximada: 70 metros
- Estructura: Acero + PTFE
- Capacidad: 64.000 personas<sup>51</sup>

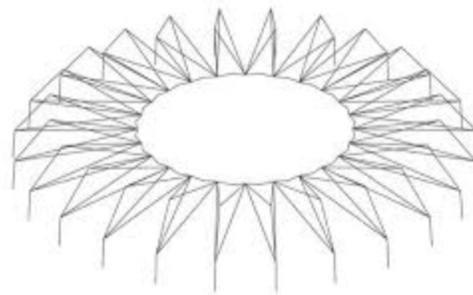


FIG.77. Esquema estructural del estadio Rey Fahd



FIG.79. Fotografía del alzado del estadio Rey Fahd

El estadio Commerzbank Arena (FIG.80) se encuentra en la ciudad de Frankfurt, Alemania y fue la sede del mundial de 2006.

La estructura de su cubierta se diseñó para poder cubrir el estadio en poco tiempo y adaptarse a las condiciones climatológicas del lugar (FIG.81). Presenta una estructura de cubierta tensada (FIG.82). Se caracteriza por tener un techo desplegable y un cubo con pantallas de vídeo colgante ubicado en el centro de la cancha (FIG.83)<sup>52</sup>.

Los graderíos son dos de gran tamaño, con uno central destinado a los servicios VIP.

- Arq+Ing: Von Gerkan, Marg and Partners Architects + Schlaich Bergermann und Partner
- Tipología estructural: Tensada
- Año de construcción: 2005
- Dimensiones: 240x200 metros
- Altura aproximada: 65 metros
- Estructura: Acero + Membrana de PVC
- Capacidad: 55.000 personas<sup>53</sup>

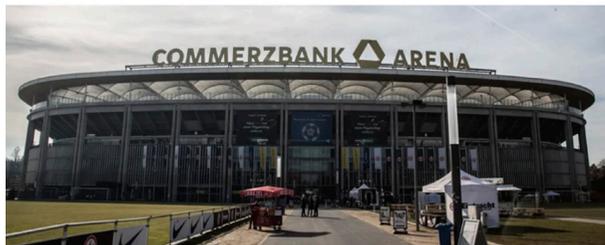


FIG.80. Fotografía del alzado principal del estadio Commerzbank Arena



FIG.82. Fotografía interior del estadio Commerzbank Arena

53\_Pareja Abia, J. (2020). La arquitectura de los estadios: Análisis estructural de los estadios deportivos. E.T.S. Arquitectura de Madrid, España.

54\_EcuRed. (s. f.). Estadio Commerzbank-Arena - EcuRed. www.ecured.cu. Recuperado 25 de abril de 2021, de [https://www.ecured.cu/Estadio\\_Commerzbank-Arena](https://www.ecured.cu/Estadio_Commerzbank-Arena)

## DE03 ESTADIO COMMERZBANK ARENA



FIG.81. Fotografía exterior del estadio Commerzbank Arena

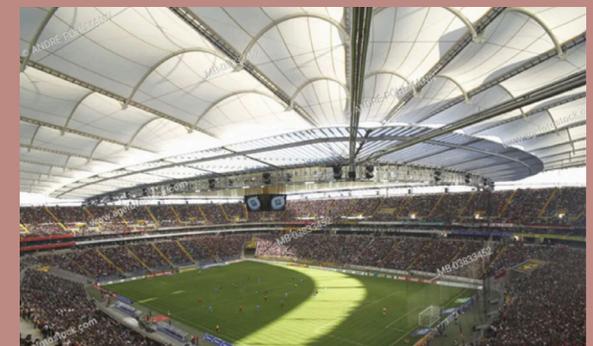


FIG.83. Fotografía interior del estadio Commerzbank Arena

# DE04

## ESTADIO OLÍMPICO DE KIEV



FIG.84. Fotografía exterior del estadio olímpico de Kiev



FIG.86. Fotografía interior del estadio olímpico de Kiev

El estadio Olímpico de Kiev (FIG.84) se ubica en la capital de Ucrania. Se inauguró por primera vez en 1923, y ha sufrido diversas remodelaciones y ampliaciones. Finalmente el estadio actual se reconstruyó en 2011 (FIG.85).

La estructura de su cubierta es de tela tensada (FIG.86) y se apoya sobre unos pilares metálicos que se sitúan a lo largo de su perímetro<sup>54</sup> (FIG.87).

- Arq+Ing: Gerkan, Marg and Partners Architects + Schlaich Bergermann und Partner
- Tipología estructural: Tensada
- Año de construcción: 1923
- Año de remodelación: 2011
- Dimensiones aproximadas: 235x305 metros
- Altura aproximada: 50 metros
- Estructura: Acero + PTFE
- Capacidad: 70.050 personas<sup>55</sup>



FIG.85. Sección fugada del estadio olímpico de Kiev

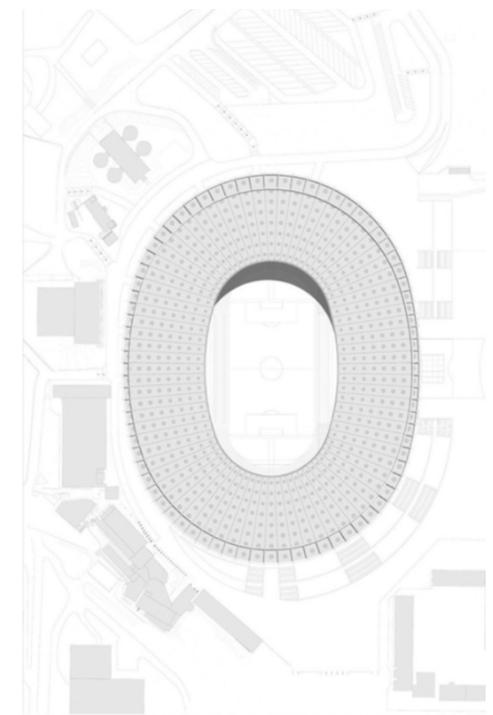


FIG.87. Planta de cubierta del estadio olímpico de Kiev

<sup>55</sup> Pareja Abia, J. (2020). La arquitectura de los estadios: Análisis estructural de los estadios deportivos. E.T.S. Arquitectura de Madrid, España.

<sup>56</sup> Saieh, N. (2020, 29 octubre). Estadio olímpico de Kiev / gmp Architekten. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/903566/estadio-olimpico-de-kiev-gmp-architekten>

El estadio Nacional de Varsovia se construyó sobre los escombros de un antiguo estadio. Se encuentra en el Parque Skayszewski al este del centro de la ciudad en la orilla del vístula, y constituirá el núcleo de un nuevo parque deportivo (FIG.88). La construcción del estadio está dividida sistemáticamente en dos.

El soporte tiene una base de prefabricados de hormigón. Sobre esta se coloca una red de alambre con una membrana textil colgados de soportes de acero autoportante con tirantes inclinados. El techo interior consta de una tela de membrana celular que se pliega conjuntamente por encima del campo de juego (FIG.89). Al nivel superior se accede a través de doce arqueadas, de un solo vuelo de escalera. Un cubo con cuatro pantallas de vídeo está también en el centro del campo dando líneas de visión óptimas desde todos los asientos<sup>56</sup>.

La fachada exterior se compone de metal anodizado expandido, la cáscara térmica transparente es para las áreas interiores y escalinatas de acceso (FIG.90). El estadio, con su fachada exterior de los colores nacionales de Polonia se destaca en el parque como un hito visible desde la distancia.

El estadio cuenta con un novedoso sistema de techo retráctil de fibra de vidrio cubierto con teñón, que hace las funciones de gigantesco toldo que es capaz de cubrir todo el terreno de juego (FIG.91). Cuando no es necesaria esta cubierta se recoge en forma de nido en el centro del campo sobre videomarcadores<sup>57</sup>.

- Arq: Volkwin Mag + Hubert Nienhoff & Markus Pfisterer
- Tipología estructural: Tensada
- Año de construcción: 2011
- Dimensiones aproximadas: 284x300 metros
- Altura aproximada: 50 metros
- Estructura: Hormigón + Acero + Membrana celular
- Capacidad: 58.580 personas<sup>58</sup>



FIG.90. Sección constructiva del estadio nacional de Varsovia

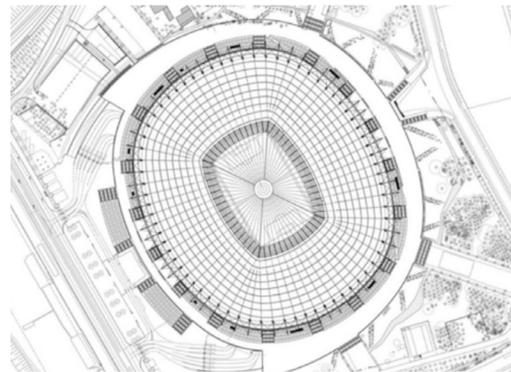


FIG.91. Planta de cubierta del estadio nacional de Varsovia

# DE05 ESTADIO NACIONAL DE VARSOVIA



FIG.88. Fotografía exterior del estadio nacional de Varsovia



FIG.89. Fotografía interior del estadio nacional de Varsovia

57\_Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2007). Estadios. AV Proyectos, 23, 8-9.

58\_Estadio Nacional de Varsovia | Arquitectura en acero. (s. f.). [www.arquitecturaenacero.org/](http://www.arquitecturaenacero.org/). Recuperado 26 de abril de 2021, de <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-varsovia>

59\_Estadio Nacional de Varsovia - Varsovia. (2014, 6 diciembre). Templos del fútbol. <https://templosdelfutbol.com/2014/12/06/estadio-nacional-de-varsovia-varsovia/>

# D<sub>Am</sub>06

## ESTADIO

## ARENA

## FORTE NOVA



FIG.92. Fotografía exterior del estadio Arena Fonte Nova



FIG.93. Fotografía interior del estadio Arena Fonte Nova

El estadio Arena Fonte Nova (FIG.92) está situado en Salvador de Bahía, Brasil y se inauguró en el año 1951.

Para aprovechar la luz natural, el techo es traslúcido (FIG.93), a partir de fibra de vidrio, lo que proporciona una gran luminosidad y además, ahorro de energía. En 2014 se realizó una remodelación que mantuvo las principales características del estadio original.

Las gradas están muy próximas al campo lo que optimiza al máximo las condiciones de visibilidad del público (FIG.94).

La nueva cubierta posee una estructura metálica ligera que protege todos las gradas (FIG.94). La misma se apoya en los pilares externos (FIG.95), con el objetivo de no perjudicar la visibilidad, y está cubierta por una membrana<sup>59</sup>.

- Arq: Schulitz Architekten + TETRA Arquitectos
- Tipología estructural: Tensada
- Año de construcción: 1951
- Año de remodelación: 2014
- Dimensiones aproximadas: 240x200 metros
- Altura aproximada: 58 metros
- Estructura: Acero + PTFE
- Capacidad: 53.700 personas<sup>60</sup>

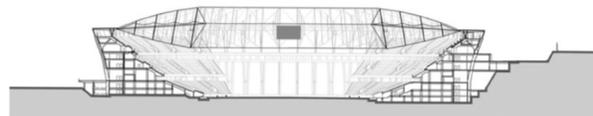


FIG.94. Sección del estadio Arena Fonte Nova

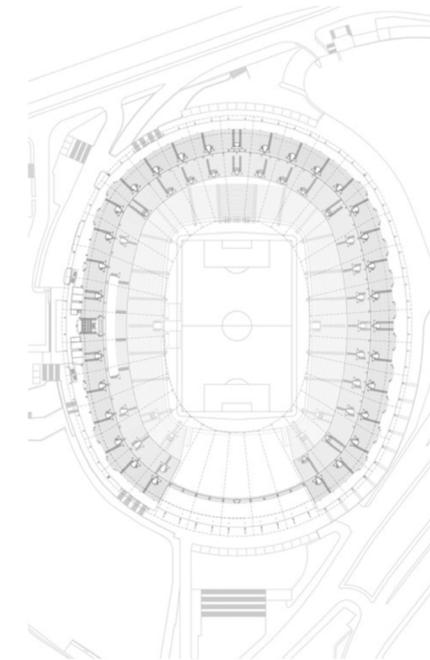


FIG.95. Planta del estadio Arena Fonte Nova

<sup>60</sup> Pareja Abia, J. (2020). La arquitectura de los estadios: Análisis estructural de los estadios deportivos. E.T.S. Arquitectura de Madrid, España.

<sup>61</sup> Hernández, D. (2021, 26 enero). Arena Fonte Nova / Schulitz Architekten + Tetra Arquitectos. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-351923/arena-fonte-nova-schulitz-architekten-plus-tetra-arquitectos>

El estadio Slaski (FIG.96) se encuentra en la ciudad de Chorzów, Polonia. Se inauguró por primera vez en 1956.

Su estado actual se debe a la remodelación que se llevó a cabo y que finalizó en el año 2017 (FIG.97).

La estructura de su cubierta (FIG.99) está compuesta por un anillo central elevado mediante la tracción de cables que parten de pilares metálicos perimetrales<sup>61</sup> (FIG.98).

- Arq: Von Germán, Marg and Partnes Architects
- Tipología estructural: Anillos
- Año de construcción: 1956
- Año de remodelación: 2017
- Dimensiones aproximadas: 332 x 273 metros
- Altura aproximada: 49 metros
- Estructura: Acero + Policarbonato
- Capacidad: 55.211 personas<sup>62</sup>



FIG.99. Sección constructiva fugada del estadio Slaski



FIG.98. Planta del estadio Slaski



FIG.96. Fotografía exterior del estadio Slaski



FIG.97. Fotografía interior del estadio Slaski

62\_Stadion Slaski. (s. f.). www.estadios.org. Recuperado 17 de abril de 2021, de <http://www.estadios.org/polenia/3323/stadion-slaski/>  
63\_Pareja Abia, J. (2020). La arquitectura de los estadios: Análisis estructural de los estadios deportivos. E.T.S. Arquitectura de Madrid, España.

## DE07 ESTADIO SLASKI

# DE08

## ESTADIO

### WANDA

### METROPOLITANO



FIG.101. Fotografía exterior del estadio Wanda Metropolitano



FIG.102. Fotografía interior del estadio Wanda Metropolitano

El estadio Wanda Metropolitano es resultado de la ampliación del antiguo estadio de Atletismo de la Comunidad de Madrid (FIG.100).

Los graderíos (FIG.101) mantienen los estrechos huecos horizontales en el hormigón del estadio inicial. La cubierta unifica el conjunto y es responsable de la nueva imagen del edificio (FIG.102).

Las gradas rodean el campo en tres niveles (bajo, medio y superior). Entre el segundo y el tercero se sitúa perimetralmente una hilera de palcos. En los graderíos bajo y medio, el acceso tiene lugar desde la parte alta de la última fila, permitiendo dominar el terreno de juego desde los espacios de espera.

La estructura principal de la cubierta está formada por un doble anillo exterior a compresión y un doble anillo interior a tracción, y dos grupos de cables radiales (FIG.103). La malla así formada se cubre mediante membranas tensadas. A partir del anillo de compresión se genera un voladizo hacia el exterior, también cubierto por membranas tensadas, que cubren el perímetro exterior de las antiguas gradas y se prolonga alrededor de todo el estadio. Su forma ondulada y su altura variable acompañan a los volúmenes del edificio. El canal de recogida de aguas exterior es de color rojo y la visión de esa línea roja a lo largo del perímetro contribuye decisivamente a la definición e la imagen del estadio. El resultado es una cubierta ligera que protege al 96% de los espectadores y se asienta sobre el conjunto de graderíos, adaptándose a las diversas situaciones y dando unidad a la intervención<sup>63</sup>.

- Arq+Ing: Cruz y Ortiz arquitectos + JG Ingenieros
- Tipología estructural: Anillos
- Año de construcción: 2017
- Dimensiones aproximadas: 286x248 metros
- Altura aproximada: 57 metros
- Estructura: Acero + Hormigón + PTFE
- Capacidad: 70.000 personas<sup>64</sup>

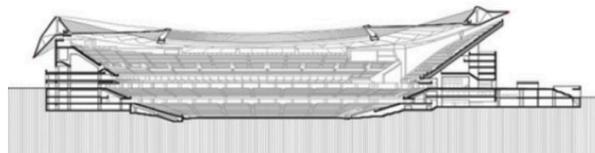


FIG.103. Sección del estadio Wanda Metropolitano

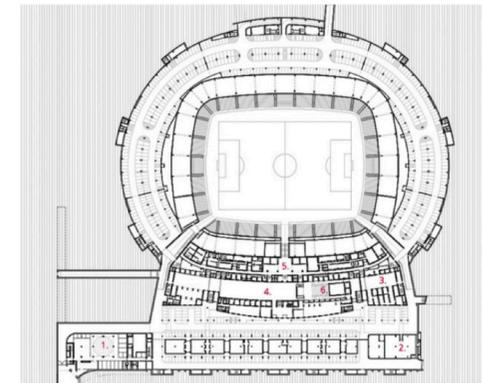


FIG.100. Planta del estadio Wanda Metropolitano

64\_ Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2018). España 2018. AV Monografías, 203-204, 58-65.

65\_ArchDaily. (2017, 14 agosto). Este timelapse revela cómo se levantó la cubierta del Wanda Metropolitano en Madrid. <https://www.plataformaarquitectura.cl/tag/wanda-metropolitano>

El estadio Tottenham Hotspur situado en Londres tiene capacidad para 62062 personas, convirtiéndose en el estadio de clubes más grande de Londres y, al incorporar un campo completamente retráctil, el primero en el mundo construido a medida para albergar partidos de fútbol y la NFL (FIG.104). Las gradas tienen un ángulo de 35 grados, para crear un estadio más estrecho y atmosférico que se enfoca hacia el extremo sur.

En general está sustentado por una estructura portante y de cubierta formada por pórticos de acero y alrededor de un atrio de vidrio de cinco pisos (FIG.105). La fachada es dinámica, sensible a los cambios de luz (FIG.106).

Desde el sótano hasta el nivel 6, la construcción de este tramo es de hormigón armado. Tres niveles más arriba está construido en estructuras de acero. Si bien la sección norte construida en la primera fase es una estructura en gran parte de hormigón, toda la grada sur de un solo nivel tiene marco de acero para permitir una construcción más rápida mientras que la tribuna sur se sostiene mediante dos "árboles" de acero. La estructura de red de cables del techo está sostenida por un anillo de compresión sustentado por pórticos de acero (FIG.10).

- Arq+Ing: Populous + Archibald Leitch
- Tipología estructural: Anillos
- Año de construcción: 2019
- Dimensiones aproximadas: 237x202 metros
- Altura aproximada: 48 metros
- Estructura: Acero + Hormigón + Policarbonato
- Capacidad: 62.062 personas<sup>65</sup>

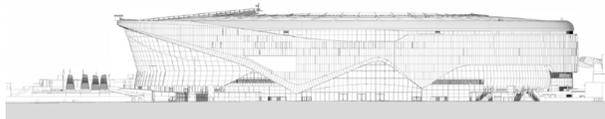


FIG.106. Alzado del estadio Tottenham Hotspur

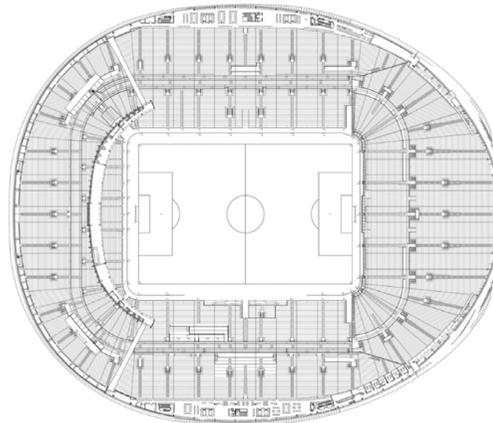


FIG.104. Planta del estadio Tottenham Hotspur

# DE09 ESTADIO TOTTENHAM HOTSPUR



FIG.105. Fotografía exterior del estadio Tottenham Hotspur



FIG.107. Fotografía interior del estadio Tottenham Hotspur



## 5. CASO DE ESTUDIO

### 5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTADIO

El estadio nacional de Beijing o Pekín para los Juegos Olímpicos de 2008 se sitúa en una suave elevación que ocupa el centro del Parque Olímpico, al norte de la ciudad. Esta posición estaba definida desde el Plan General (FIG.108). Lo más importante de este estadio era crear un tipo de arquitectura que siguiese siendo funcional tras los Juegos Olímpicos, o en otras palabras crear un nuevo enclave que fuese capaz de generar vida y actividades a su alrededor. Ocupa una superficie de 21.4 hectáreas de los cuales 258000 m<sup>2</sup> son de superficie edificada<sup>67</sup>.

Desde el primer momento fueron los propios ciudadanos los que lo bautizaron como “el nido” (FIG.109), su patrón está inspirado en la “cerámica enloquecida” de estilo chino. Aparentemente el patrón es aleatorio, pero se rige por unas reglas complejas para las cuales se definió la geometría avanzada<sup>68</sup>.

El estadio desde lejos se aprecia un gigantesco recipiente colectivo, un cuenco, en cuyo perímetro ondulante se pueden ver reflejadas las rampas de circulación interior. Desde esta perspectiva alejada puede verse no solo la forma redondeada del edificio, sino también la retícula de la estructura portante, que a la vez que rodea el edificio parece penetrarlo también. A medida que nos vamos acercando se va desdibujando esa forma geométrica hasta llegar a dividirse en parte independientes que ofrecen la imagen de una caótica maraña de vigas, pilares y escaleras, casi como si se tratase de un bosque artificial. La zona intermedia entre el interior y el exterior es la más interesante ya que ofrece la oportunidad de crear un nuevo tipo de espacio público. En el interior el deporte, los juegos, los conciertos y otras actividades son los predominantes, mientras que el nuevo parque sugiere una estancia relajada. Por su lado, este espacio de transición entre el interior y el exterior es la auténtica novedad ya que invita a la gente a usarlo, a recorrerlo y a reunirse. Las geometrías del plinto y del estadio confluyen en un único elemento como un árbol y sus raíces.

La estructura de acero, que es independiente del graderío de hormigón, suma una longitud de 36 km de elementos ensamblados, salvando una luz de hasta 320m y alcanzando la altura de 69m.

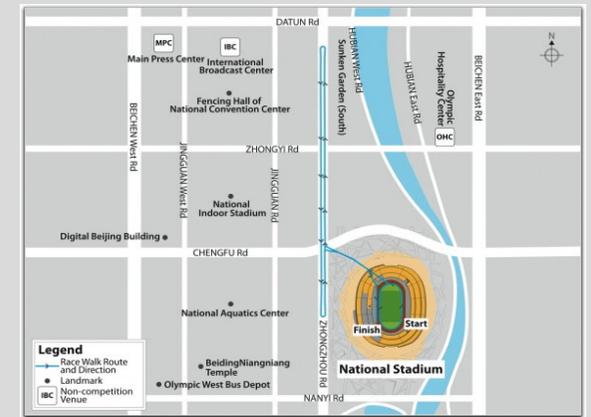


FIG.108. Plano del Plan general de Beijing



FIG.109. Fotografía exterior del estadio nacional de Beijing

67\_Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2006). N 129/130 Herzog & De Meuron 2002–2006. El Croquis, 129/130, 272–299.

68\_Construarte, R. (2018, 24 enero). El estadio olímpico de Beijing, un hito arquitectónico. ConstruArte, C.A. <http://www.construarte.com/ve/estadio-olimpico-beijing-hito-arquitectonico/>



FIG.110. Fotografía interior del estadio nacional de Beijing en el que se ve el graderío



FIG.111. Fotografía interior del estadio nacional de Beijing, zona de circulación

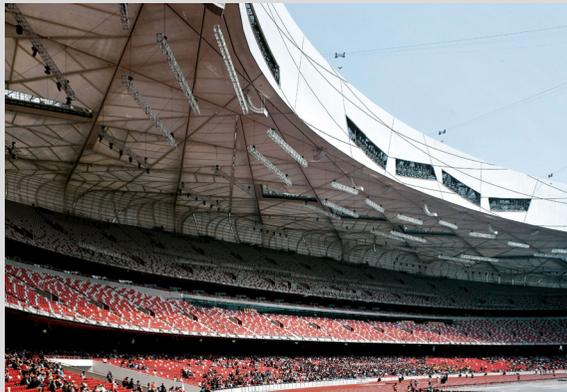


FIG.112. Fotografía interior del estadio nacional de Beijing, membranas ETFE

El vaso interior se ha diseñado para que los 80000 espectadores (FIG.110) formen parte de la arquitectura. Fue diseñado alrededor de personas, garantizando una vista óptima, asientos cómodos y el máximo disfrute de eventos deportivos.

La imagen del estadio es puramente estructural, estructura y fachada son idénticas (FIG.111). Los elementos portantes se sustentan entre sí y se unen en una retícula en la cual se integran fachadas, escaleras, cuenco y cubierta. Dentro de la estructura podemos diferenciar tres órdenes diferentes. En primer lugar, la estructura principal que se compone de 24 parejas de cerchas de acero, en segundo lugar, una serie de vigas de acero de arriostramientos que a la vez que generan la imagen del edificio proporcionan una estabilidad capaz de soportar un terremoto de grado 8 de magnitud en la escala Richter, y por último las estructura que sustenta el graderío, separada unos 15 metros de la estructura principal, que está formada por una serie de vigas y pilares de hormigón. Cada sección del cuenco es como es como un edificio independiente, hay ocho edificios " diferentes que trabajan juntos; cada uno con su propio sistema de estructural<sup>69</sup>.

En cuanto a la solución de los arriostramientos, para Herzog & de Meuron cuando la estructura y el ornamento llegan a ser una sola cosa se tiene una curiosa sensación de libertad. Como ellos mismos dicen "Los elementos por sí solos no transmiten mucho, pero la integración de la estructura con el ornamento y el espacio es mucho más interesante"<sup>70</sup>.

Para proteger a los visitantes de las inclemencias climatológicas, el entramado de la cubierta se rellena con membranas ETFE (membranas translúcidas) (FIG.112). Todas las instalaciones del espacio intermedio (tiendas, restaurantes, salas, etc.) son unidades independientes por lo que es posible materializarlas sin necesidad de colocar una fachada sólida y cerrada, lo que permite al edificio abrirse a la ciudad y una ventilación natural, que constituye la principal apuesta sostenible del proyecto.

69\_Maneval, V. (2020, 9 noviembre). Les plus beaux Stades du Monde et ses Concepts. BubbleMania. <http://www.bubblemania.fr/es/bulle-les-plus-beaux-stades-du-monde/#Le%20stade%20national%20de%20P%C3%A9kin>  
70\_Herzog&deMeuron, Minimalismus and Ornament, ARCH+, N° 120,130, Aachen, 1995.

En relación a las instalaciones, se utiliza la ventilación y la iluminación natural, reduciendo significativamente el consumo de energía debido a la ventilación mecánica y la iluminación artificial, además de utilizar un sistema de energía solar. También es destacable la utilización de energía geotérmica para calefactar el estadio en invierno y para refrigerarlo en verano y la recuperación de hasta 60000 toneladas de aguas de lluvia al año.

La circulación de la planta (FIG.113) fue diseñada siguiendo la forma del estadio, de forma circular. Cuenta con 12 diferentes accesos (FIG.114.) los cuales permiten que todos los asientos se encuentren cerca de los accesos, los cuales funcionan como salidas de emergencia<sup>71</sup>.

Nicolai Ouroussoff, el crítico de arquitectura del New York Times escribió: "El estadio está a la altura de la aspiración del país como un punto de referencia mundial". "Su caparazón de celosía elíptica, que le ha valido el apodo de El Nido de Pájaro, tiene una belleza embriagadora que permanece en la imaginación. Es sólo probable profundizar en su encanto una vez que las multitudes se dispersan y los Juegos Olímpicos se desvanecen en la memoria".

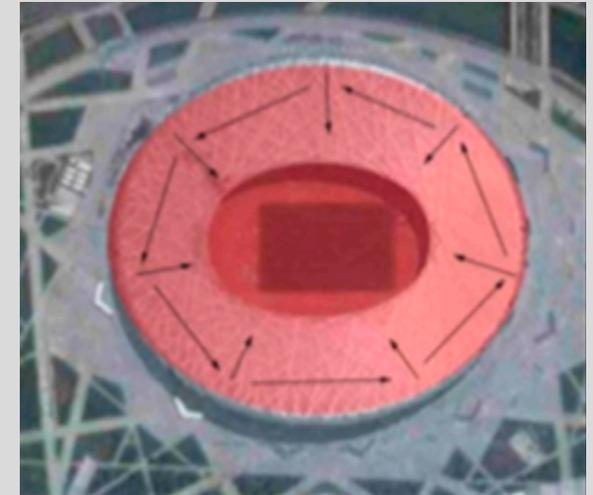


FIG.113. Esquema de circulación del estadio

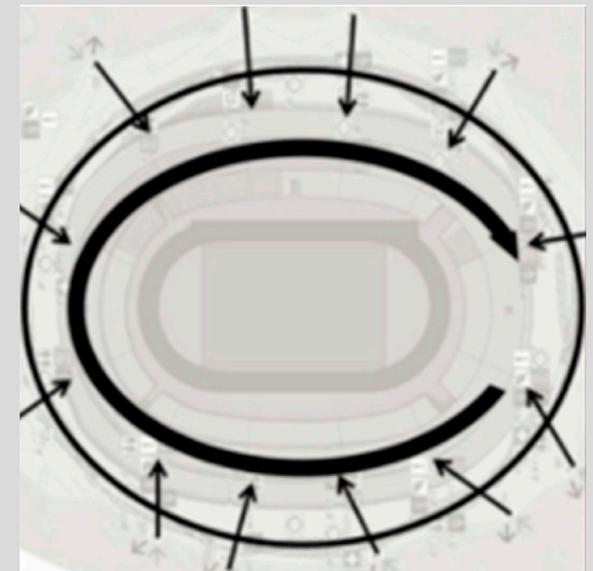


FIG.114. Esquema de accesos al estadio

71\_Estadio olímpico de Pekín. (s. f.). Prezi.Com. Recuperado 10 de mayo de 2021, de <https://prezi.com/8vsirrbvi4a/estadio-olimpico-de-pekín/?frame=c11e8034590b1a7d72f89447afc07e7bd6298a13>

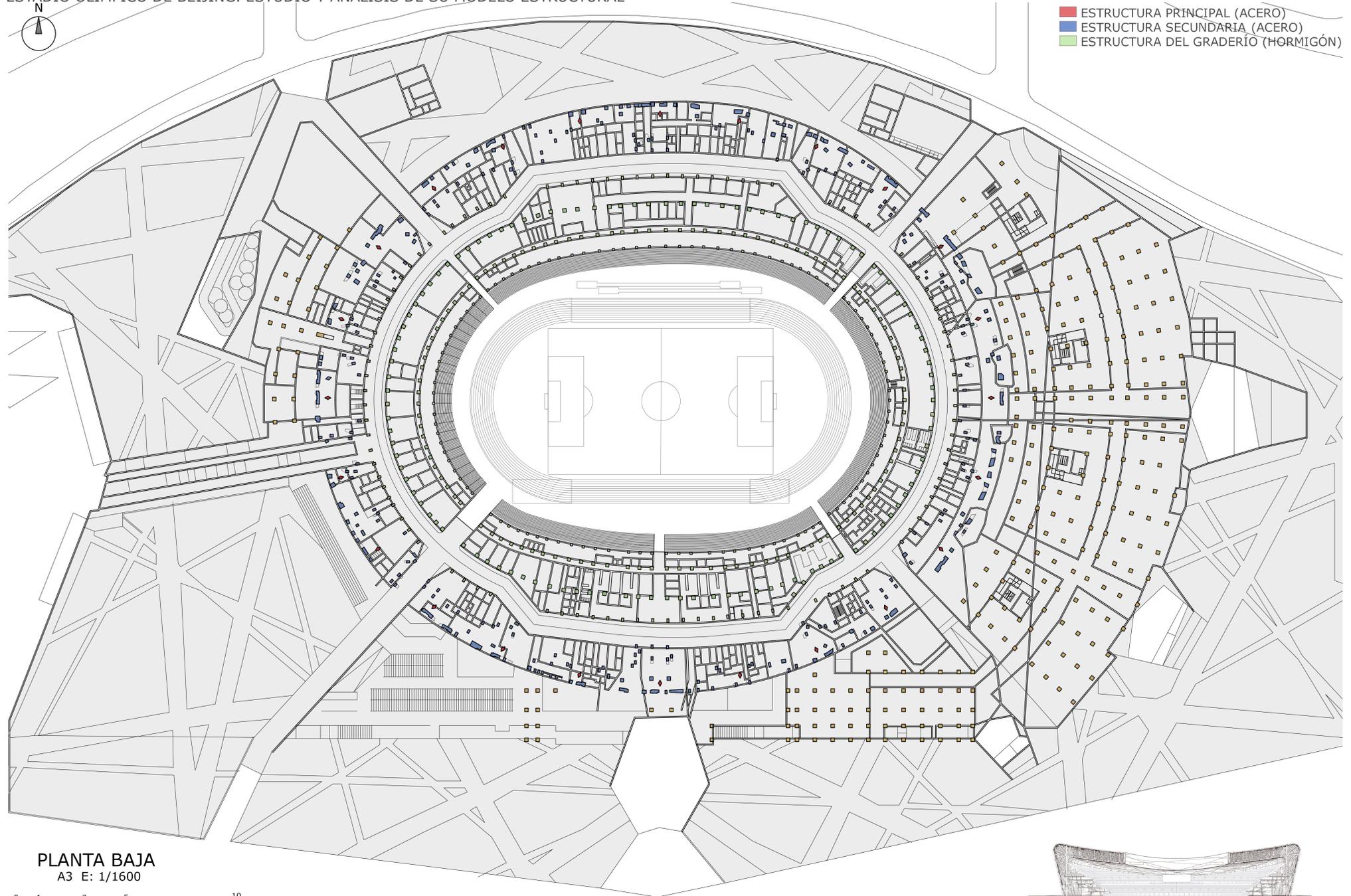


## **5.2. DOCUMENTACIÓN GRÁFICA**

A continuación se muestra la documentación gráfica elaborada.



- ESTRUCTURA PRINCIPAL (ACERO)
- ESTRUCTURA SECUNDARIA (ACERO)
- ESTRUCTURA DEL GRADERÍO (HORMIGÓN)

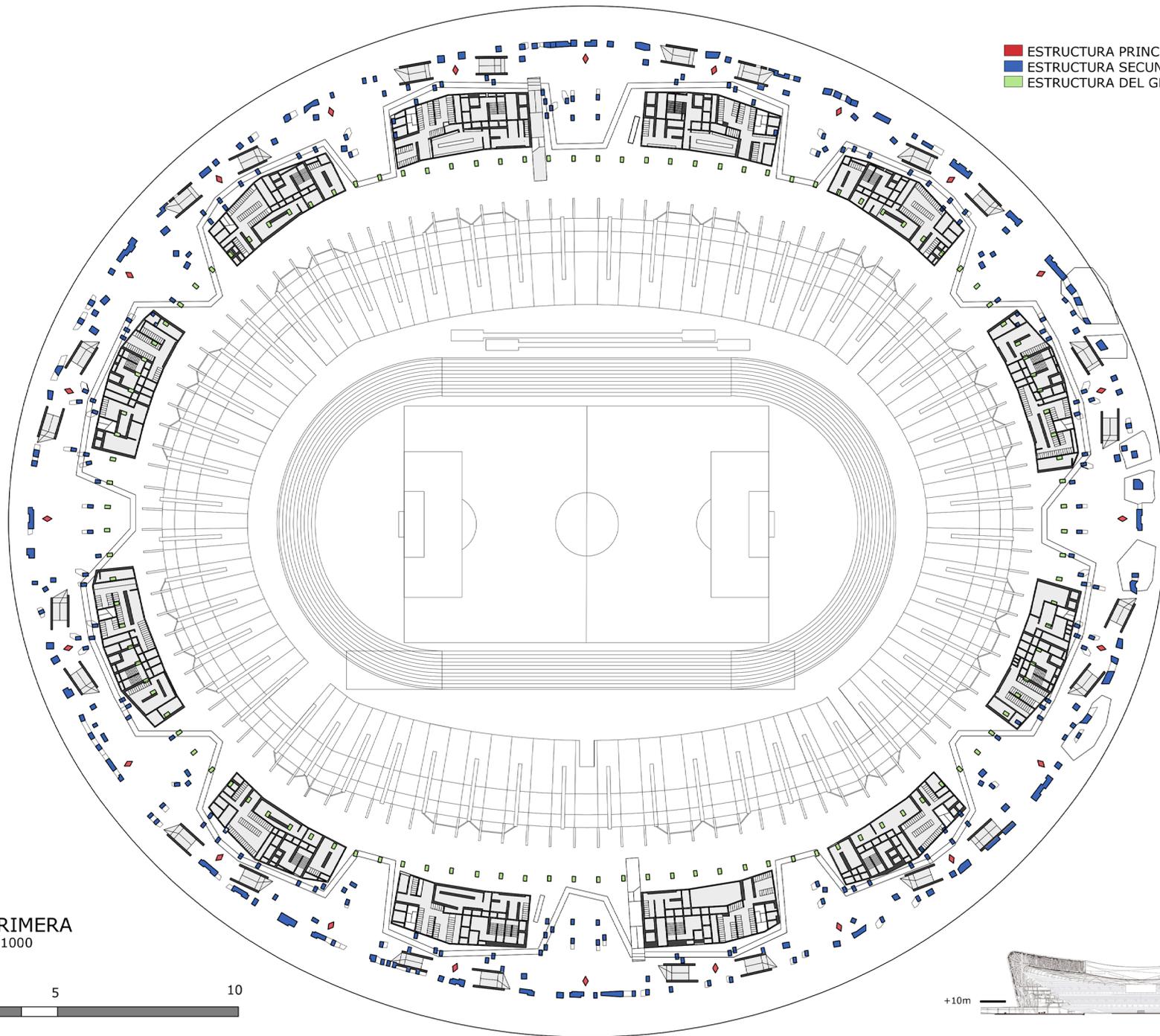


PLANTA BAJA  
A3 E: 1/1600





- ESTRUCTURA PRINCIPAL (ACERO)
- ESTRUCTURA SECUNDARIA (ACERO)
- ESTRUCTURA DEL GRADERÍO (HORMIGÓN)

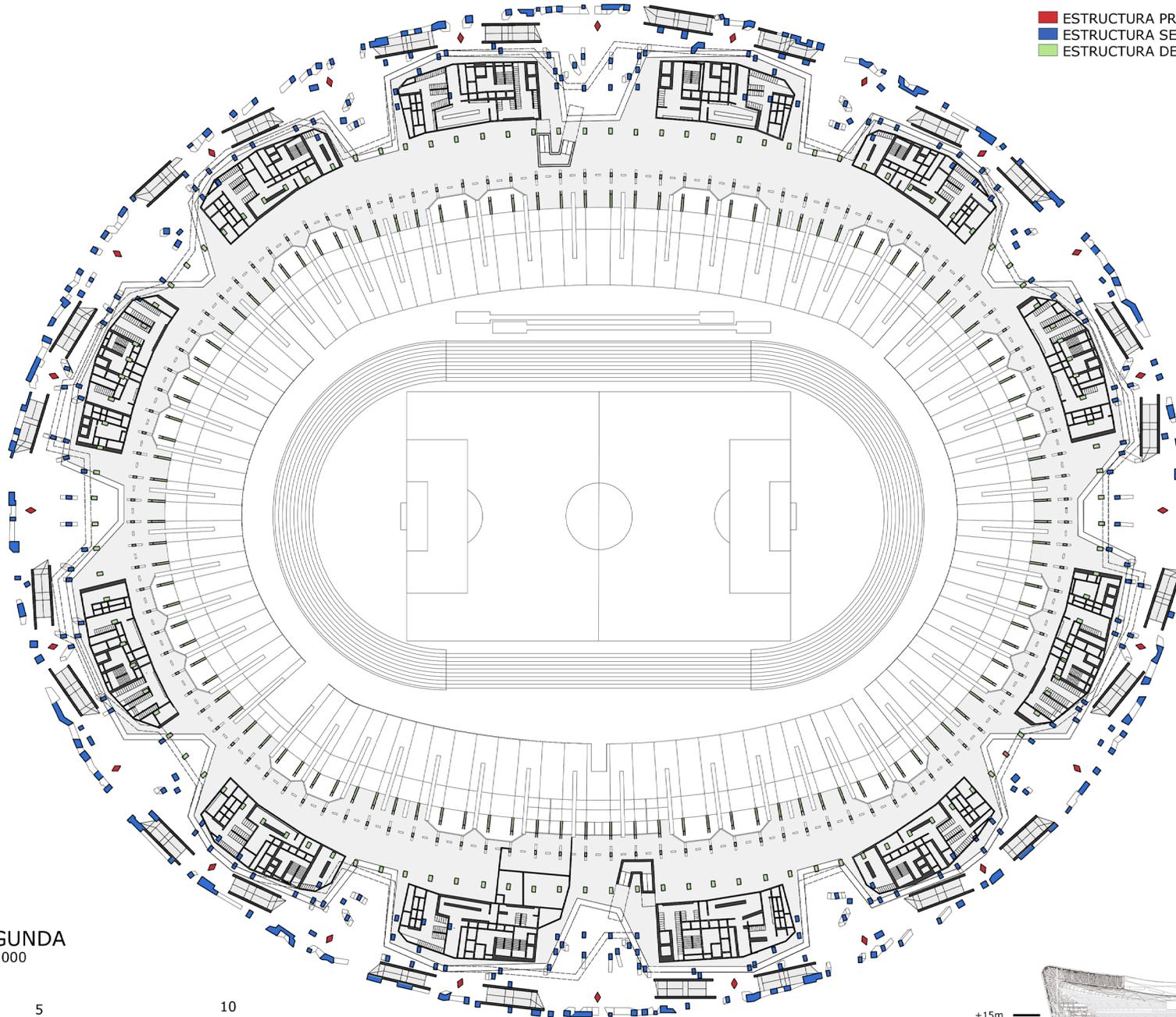


PLANTA PRIMERA  
A3 E: 1/1000

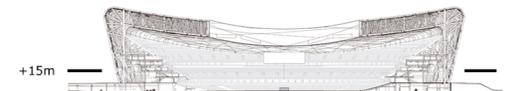




- ESTRUCTURA PRINCIPAL (ACERO)
- ESTRUCTURA SECUNDARIA (ACERO)
- ESTRUCTURA DEL GRADERÍO (HORMIGÓN)

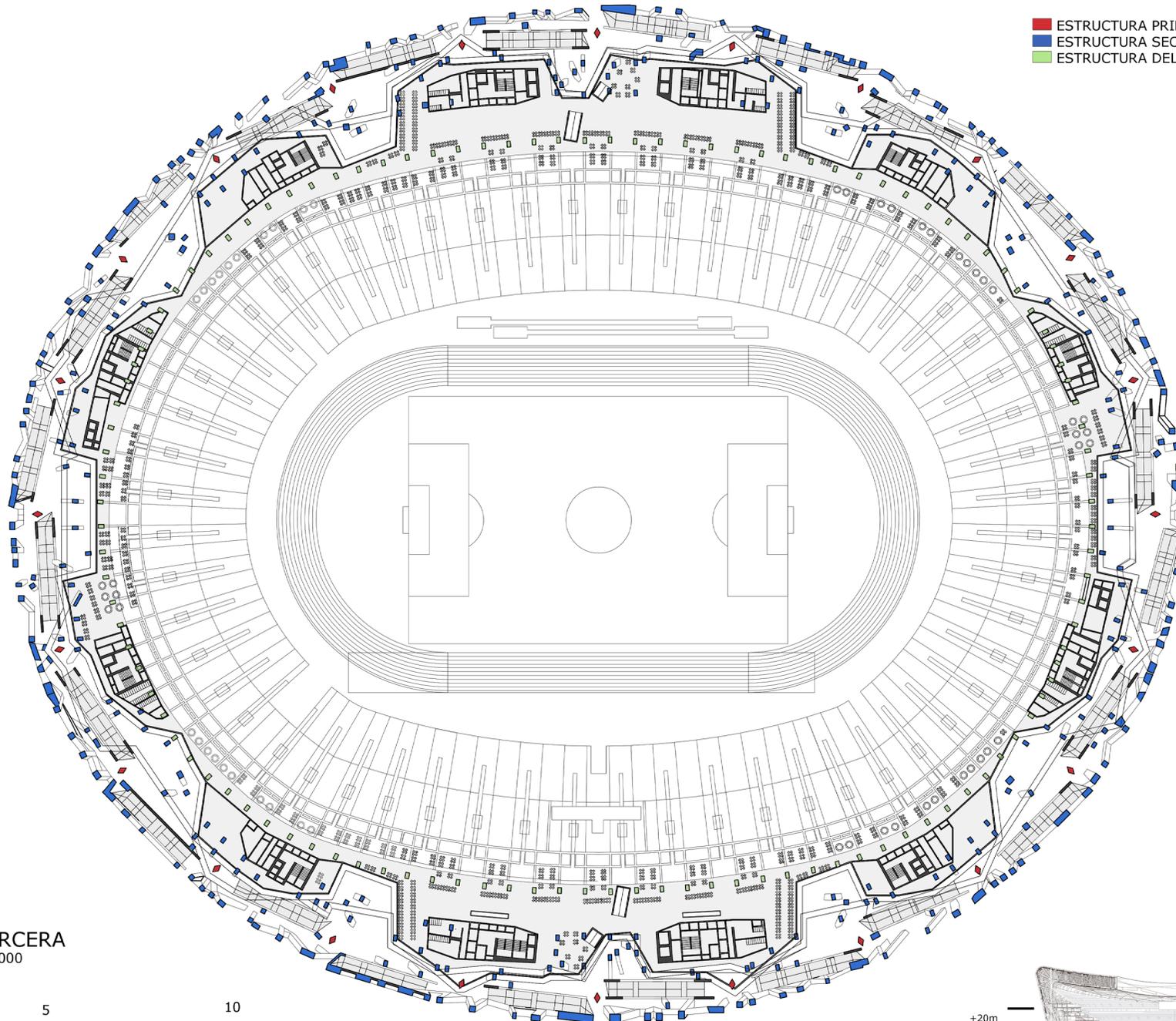


PLANTA SEGUNDA  
A3 E: 1/1000

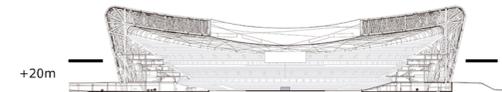




- ESTRUCTURA PRINCIPAL (ACERO)
- ESTRUCTURA SECUNDARIA (ACERO)
- ESTRUCTURA DEL GRADERÍO (HORMIGÓN)

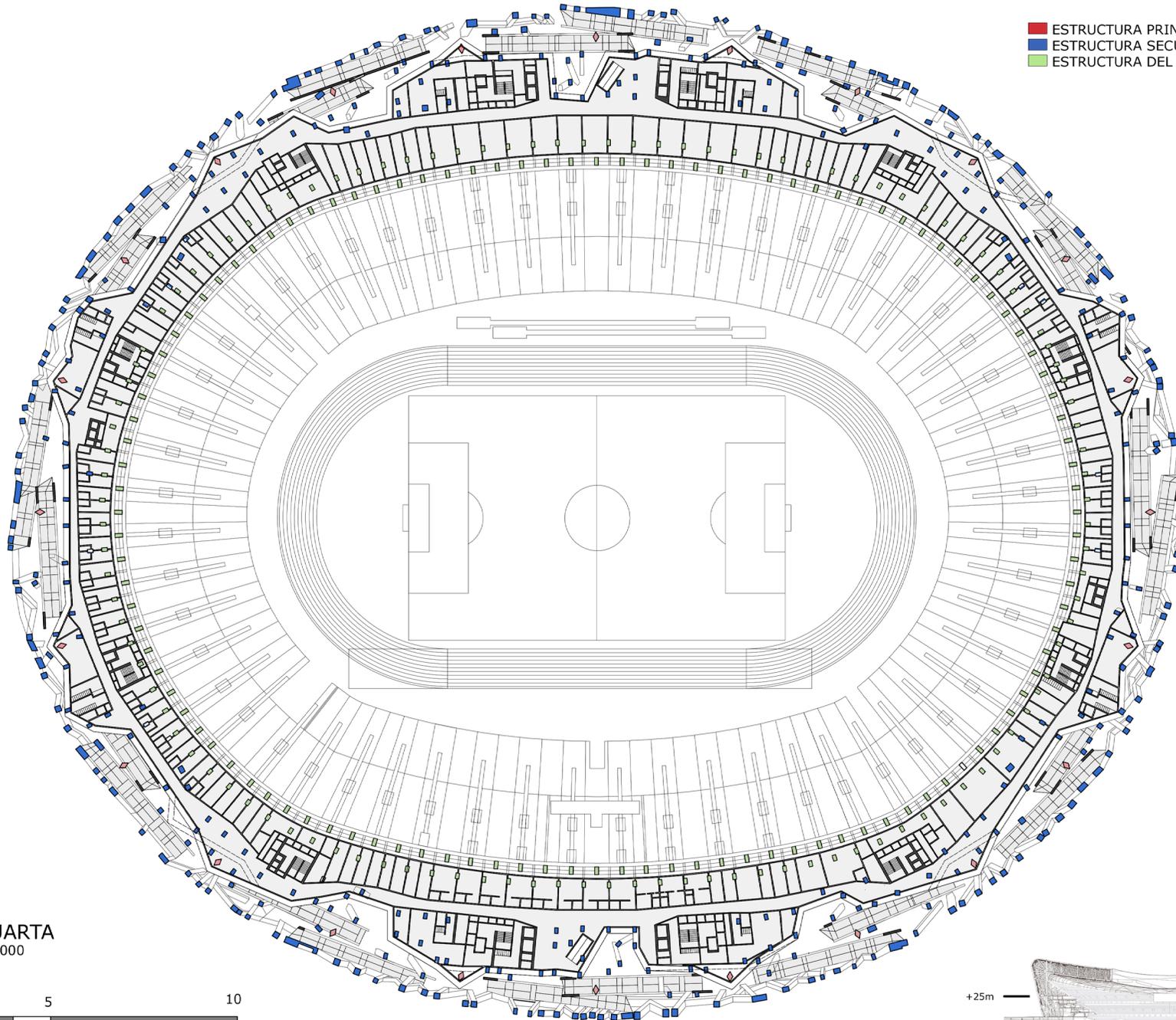


PLANTA TERCERA  
A3 E: 1/1000



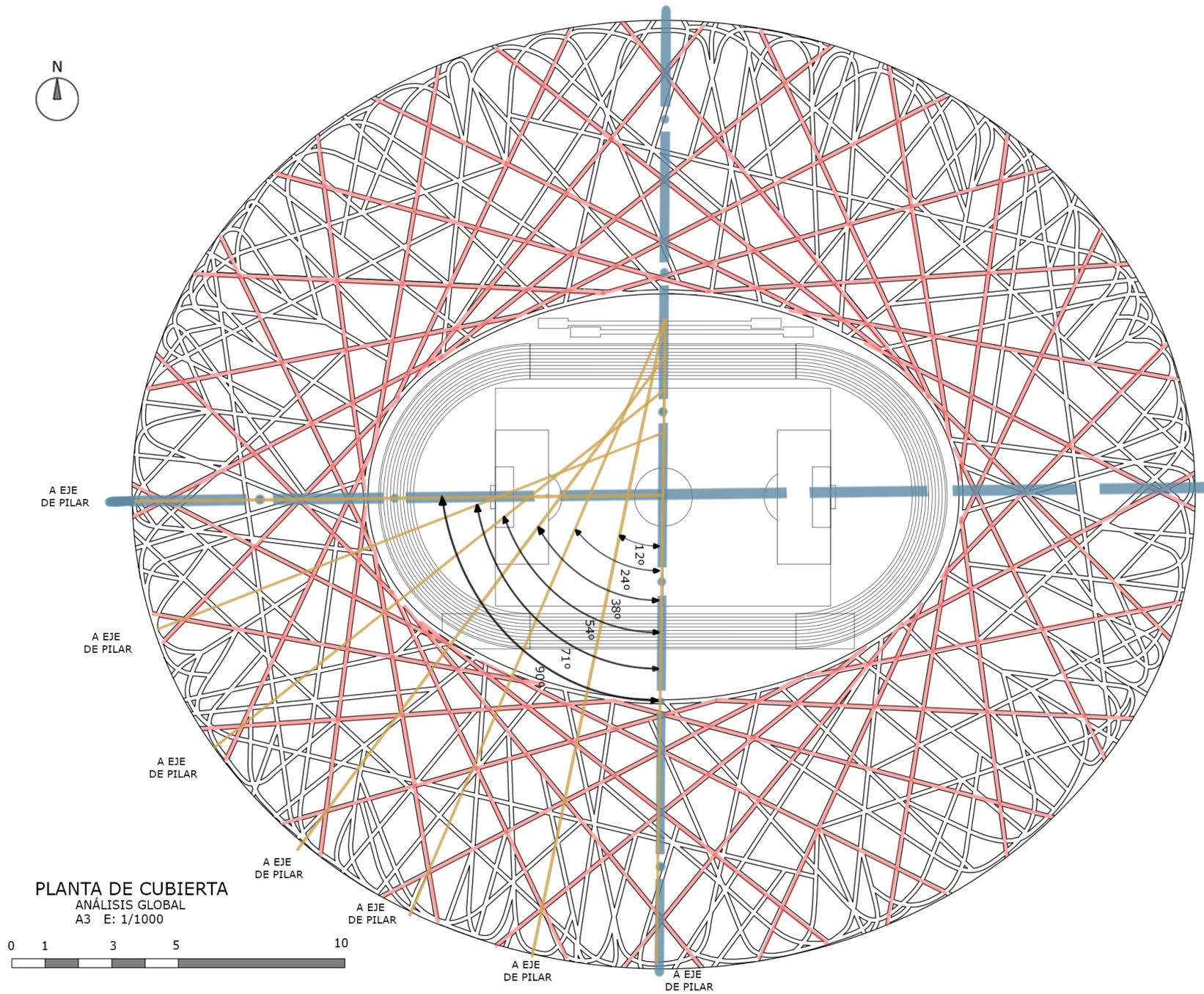


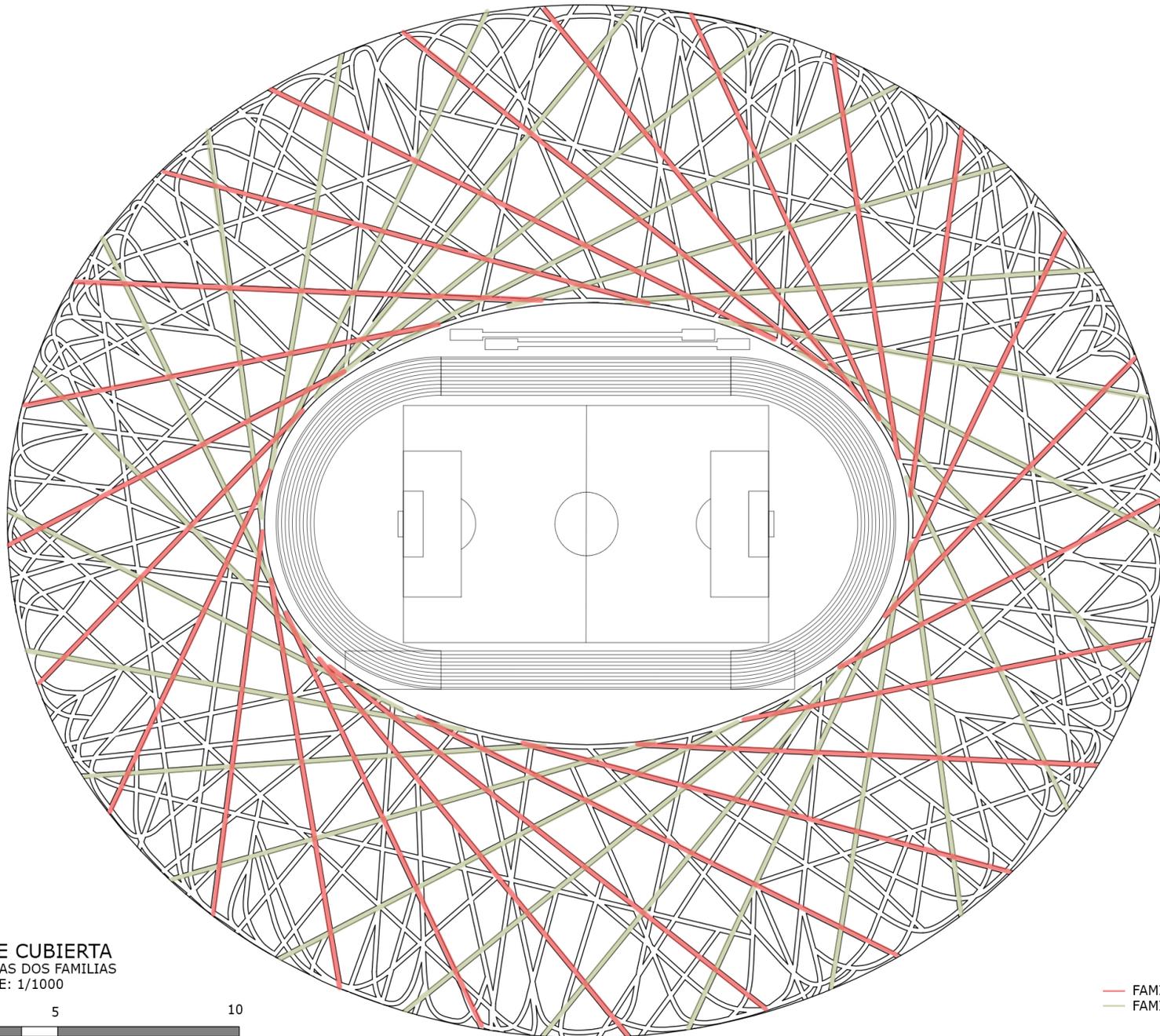
- ESTRUCTURA PRINCIPAL (ACERO)
- ESTRUCTURA SECUNDARIA (ACERO)
- ESTRUCTURA DEL GRADERÍO (HORMIGÓN)



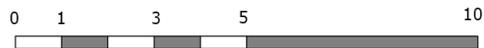
PLANTA CUARTA  
A3 E: 1/1000



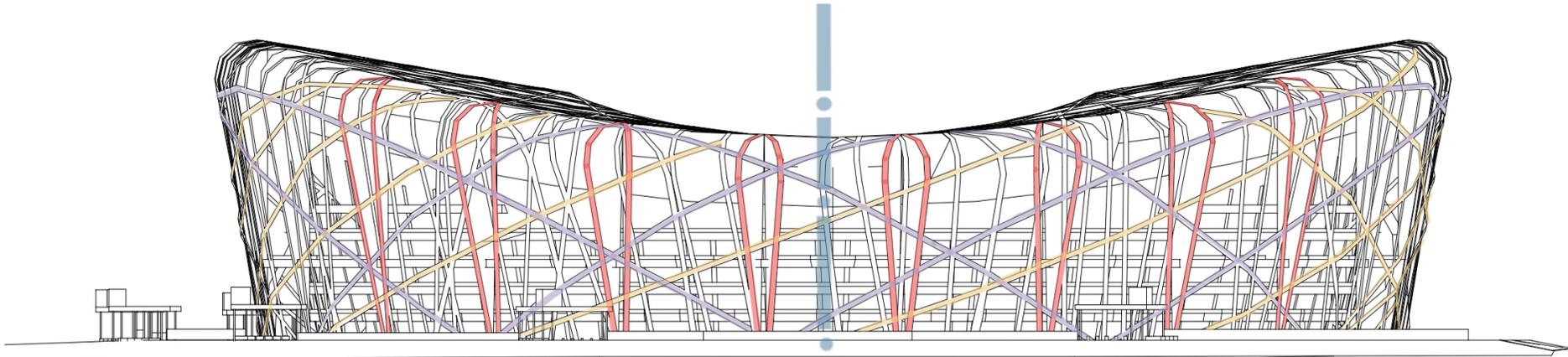




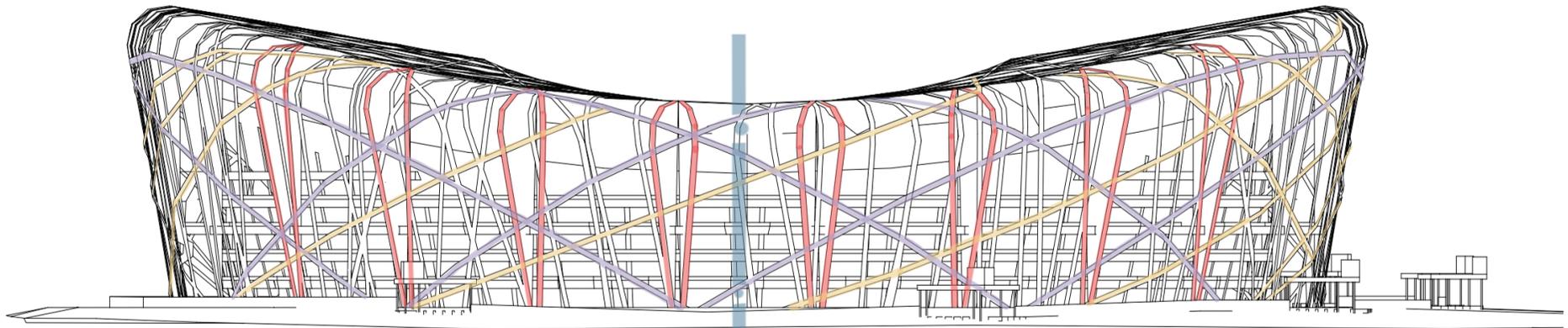
PLANTA DE CUBIERTA  
ANÁLISIS DE LAS DOS FAMILIAS  
A3 E: 1/1000



- FAMILIA 1
- FAMILIA 2



ALZADO SUR

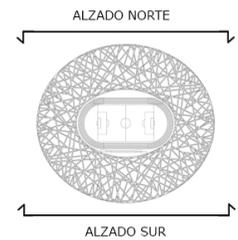


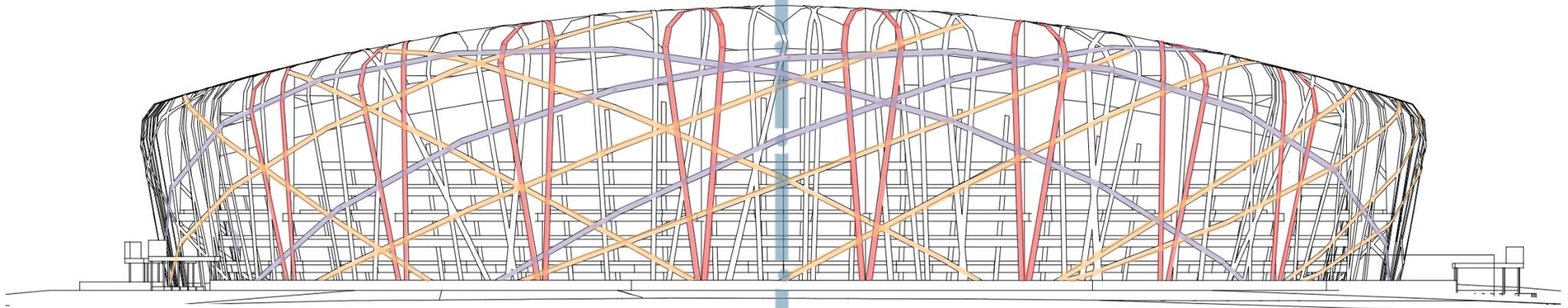
ALZADO NORTE

A3 E: 1/1000

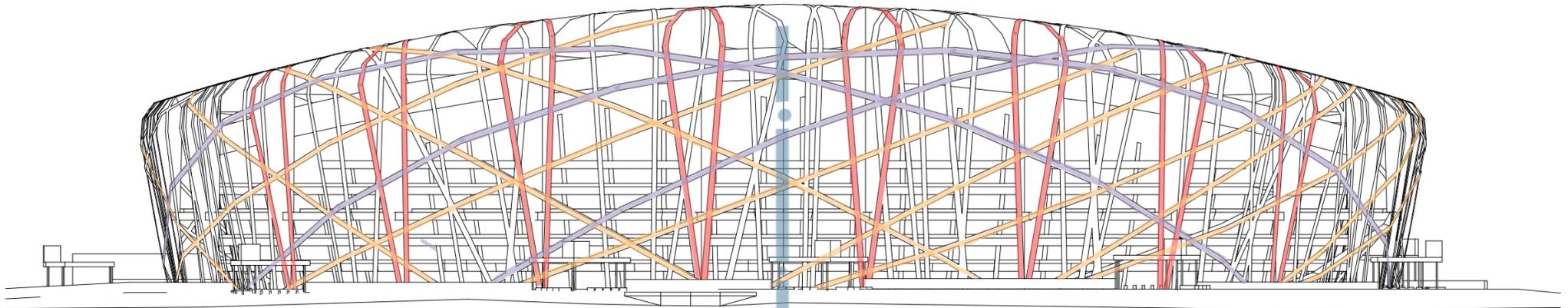


- ESTRUCTURA PRINCIPAL VERTICAL
- ARRIOSTRAMIENTO DE DIRECTRIZ COMPLETA
- ARRIOSTRAMIENTO DE DIRECTRIZ PARTIDA





ALZADO ESTE

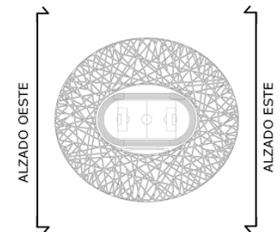


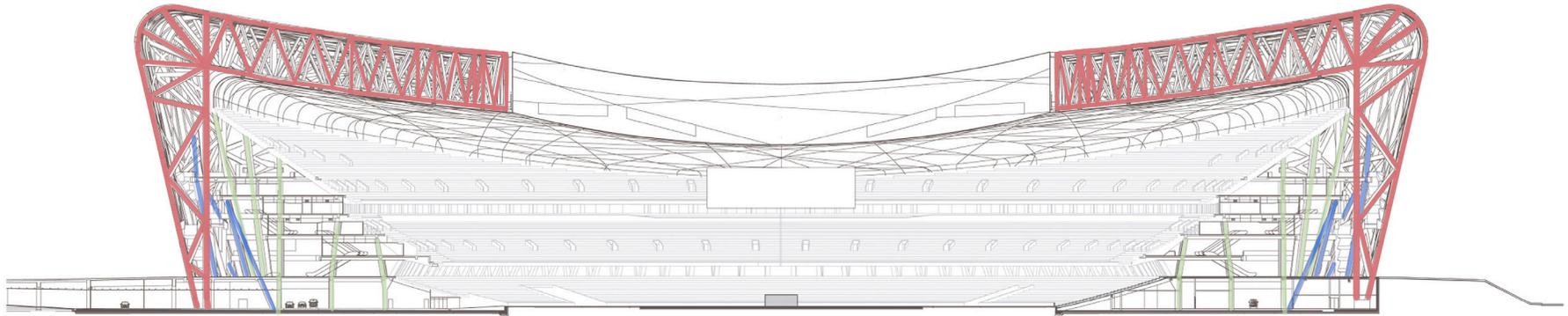
ALZADO OESTE

A3 E: 1/1000

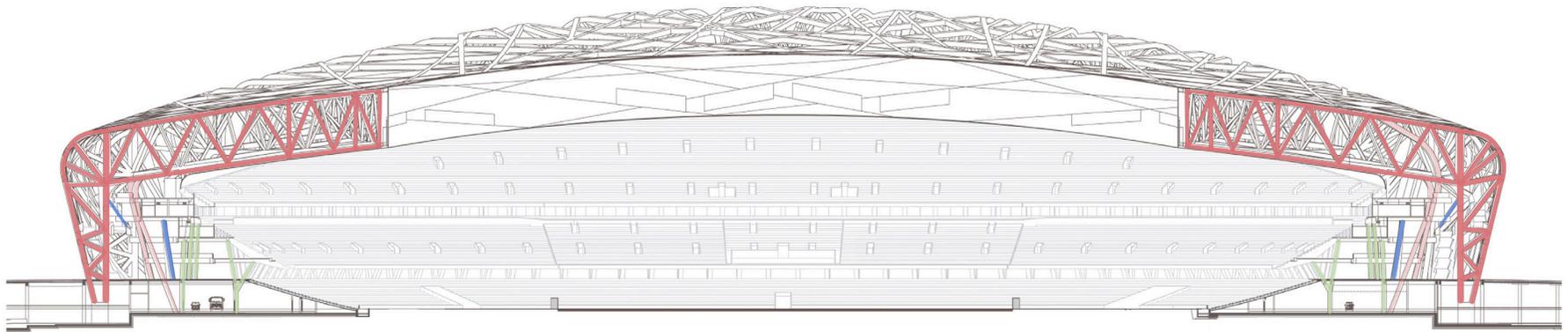


- ESTRUCTURA PRINCIPAL VERTICAL
- ARRIOSTRAMIENTO DE DIRECTRIZ COMPLETA
- ARRIOSTRAMIENTO DE DIRECTRIZ PARTIDA





SECCIÓN TRANSVERSAL AA'

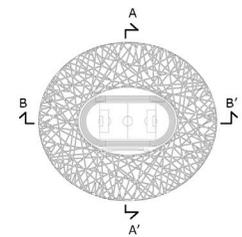


SECCIÓN LONGITUDINAL BB'

A3 E: 1/1000



- ESTRUCTURA PRINCIPAL (ACERO)
- ESTRUCTURA SECUNDARIA (ACERO)
- ESTRUCTURA DEL GRADERÍO (HORMIGÓN)



### 5.3. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO

Para comenzar el estudio del estadio Nacional de Beijing primero hay que analizar su documentación gráfica.

En primer lugar, se analizan las plantas de las cuales se han elegido las más representativas que serían las 5 primeras, comenzando por la planta baja, y la cubierta.

Trabajando con estas plantas podemos clasificar la estructura claramente en tres partes diferenciadas (FIG.115).

- La estructura principal (azul), que se trata de 24 pilares dobles que se disponen a lo largo de todo el perímetro del estadio.
- La estructura del graderío de hormigón (verde), que se sitúa en varias elipses de focos iguales que van aumentando su tamaño a medida que el graderío va ascendiendo.
- La estructura secundaria (roja), que son una serie de vigas inclinadas que se encuentran en todo el perímetro del estadio y que sirven como arriostramientos a la vez que configuran la imagen del estadio.

La cubierta ha sido clave para poder entender la configuración del estadio, llegando a divisar la disposición de la estructura principal y la dirección y colocación de las cerchas (dos) que salen de cada pilar, diferenciando entre estructura principal y arriostramientos.

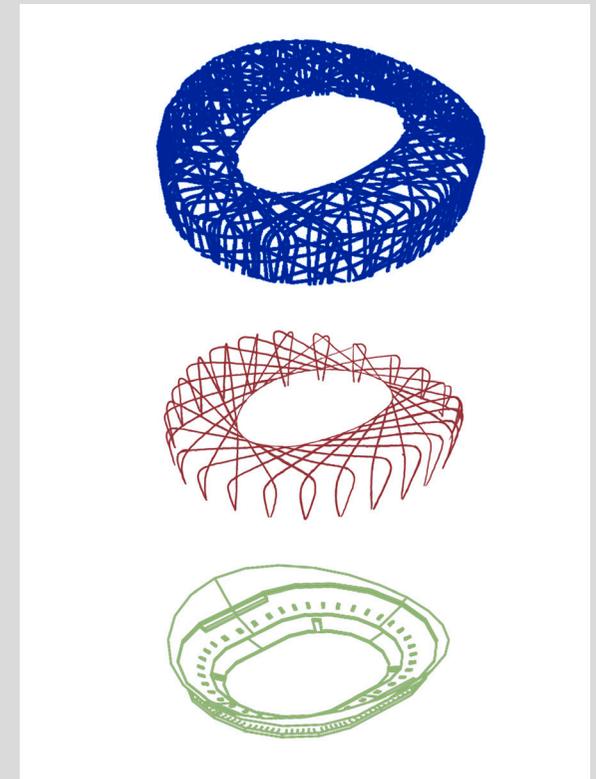


FIG.115. Esquema de las tres diferentes estructuras

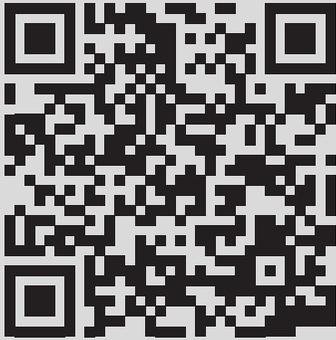


FIG. 116. QR vídeo montaje estructura

Lo siguiente en analizar son los alzados, que de primeras parece que tienen una disposición caótica y sin ningún sentido llegando a parecer una maraña de vigas y pilares. Tras analizarlos detenidamente se ve una clara configuración en la que podemos señalar que todas las vigas, que son arriostramientos, en definitiva, siempre llegan al suelo con un ángulo de 30 grados. Además, podemos diferenciar dos tipos dentro de ellas, las que pasan de un alzado a otro, es decir que tienen directriz completa, y las que simplemente arriostran una de las piezas de la estructura principal, las que tienen directriz partida.

Lo último en analizar son las secciones, longitudinal y transversal, diferentes entre ellas. En las secciones podemos observar que hay dos tipologías de cerchas diferentes, dependiendo de en cuál de las secciones esté, pero que su funcionamiento es el mismo, la única diferencia es que una tiene tendencia ascendente y la otra descendente, debido a la configuración de la cubierta en forma de toroide.

En las secciones también se ve claramente la disposición de los diferentes tipos de estructuras a lo largo del estadio.

Para entender la geometría estructural del edificio es fundamental conocer el sistema de montaje; por octavas móviles. Que puede sintetizarse en el vídeo anexo (FIG.116. QR - Duración 5:06 min)

### 5.3.1. ESQUEMA ESTRUCTURAL

Este esquema estructural (FIG.118) muestra la evolución desde la disposición más sencilla de la estructura hasta su última forma, mucho más compleja.

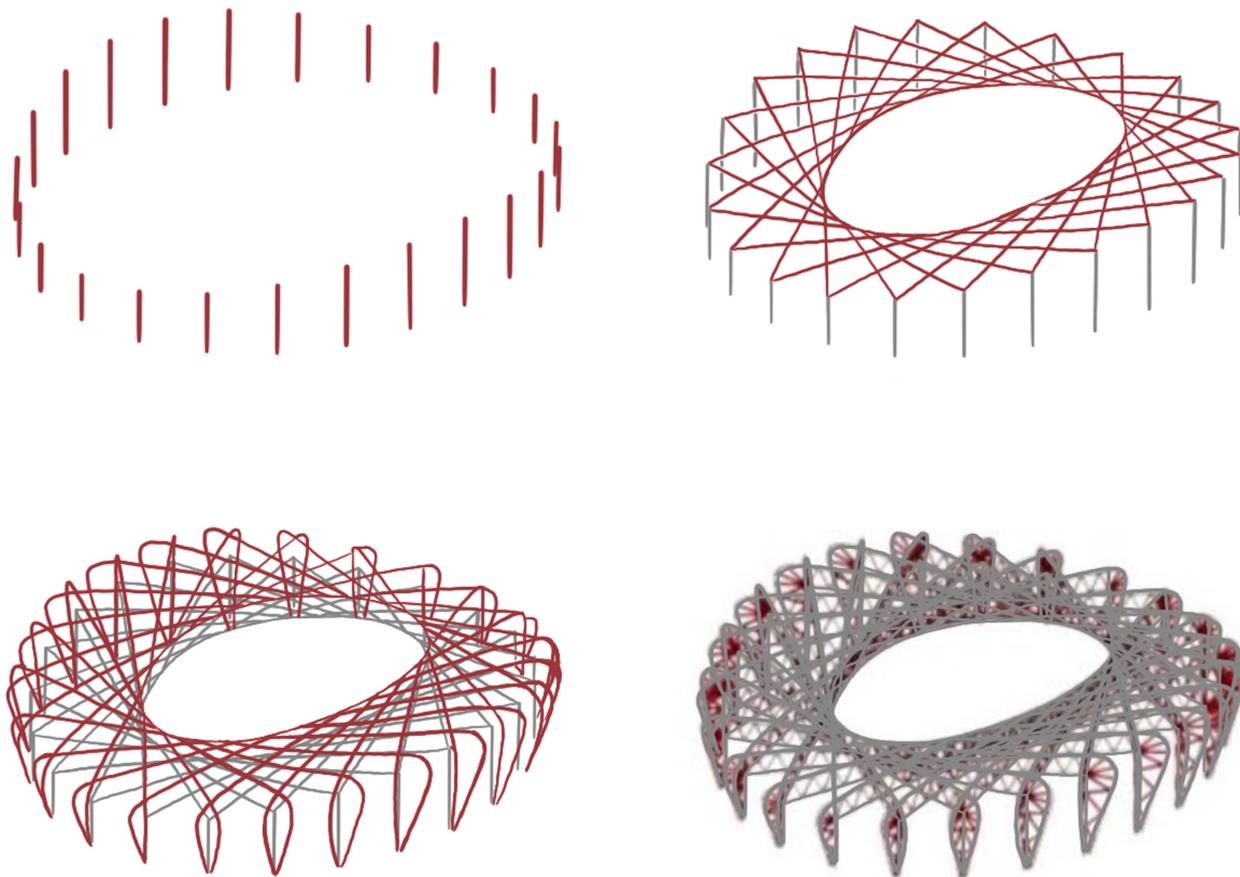


FIG. 118. Esquema estructural

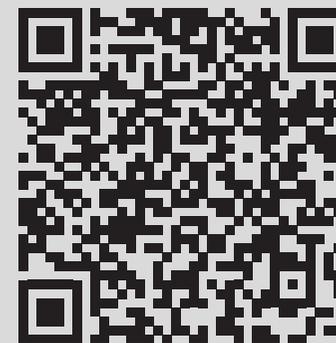


FIG. 117. QR vídeo recorrido interior del estadio

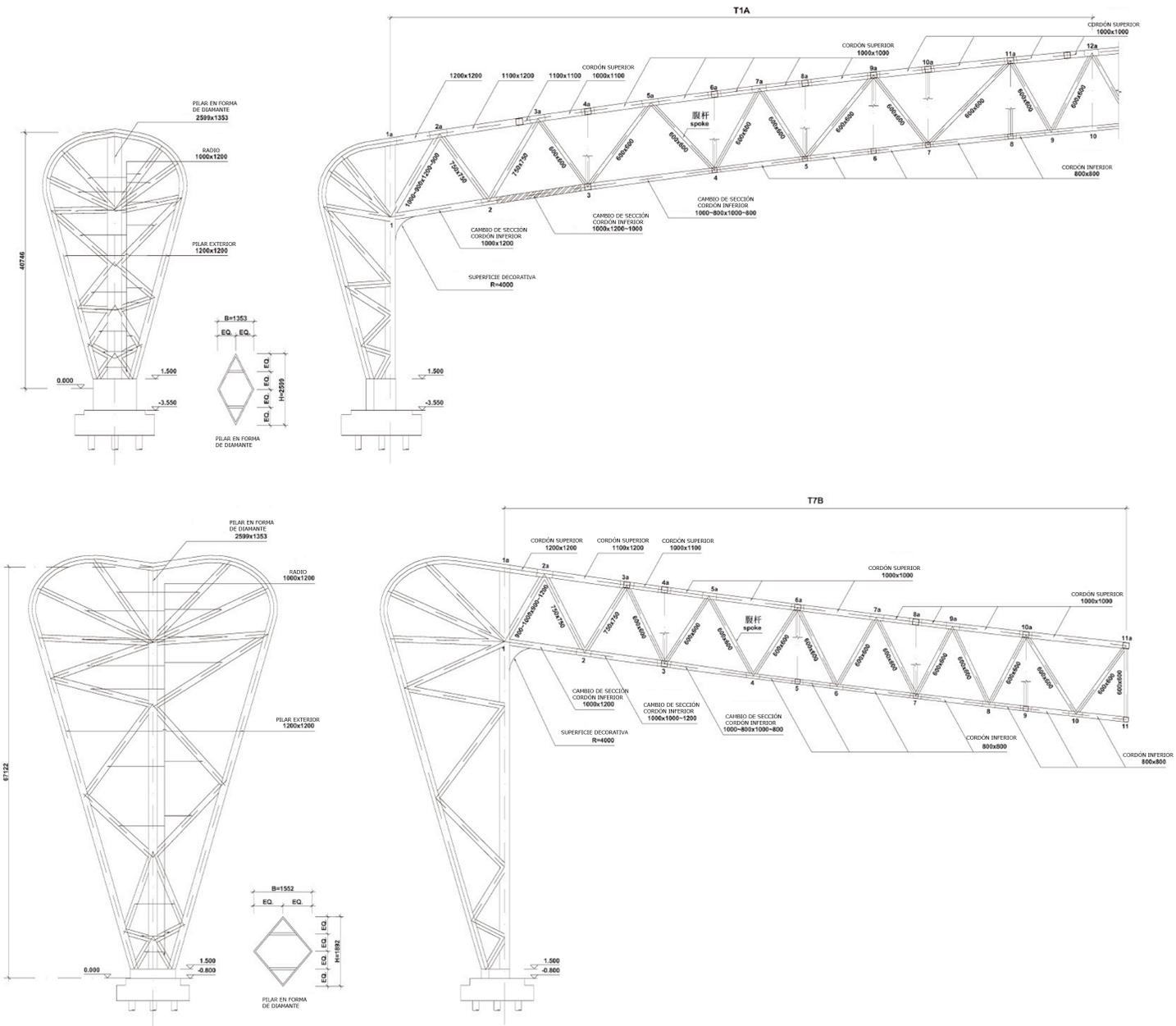


#### **5.4. DESPIECE**

Tras realizar un análisis general de las diferentes estructuras que forman el estadio, se realiza un estudio más concreto de la estructura principal.

Como hemos visto anteriormente, la estructura principal está formada por 24 pares de pilar-cercha, entre los cuales podemos diferenciar dos tipos dependiendo de la curvatura de la cubierta. Los elementos de los dos tipos son los mismos, en definitiva, lo único que cambia es su inclinación y la disposición de las diagonales.

Diferenciamos dos tipos de pilares, dependiendo del tipo de cercha que corresponda. Podemos ver también, que en la parte de la cercha, tanto el cordón superior como el inferior van variando su sección.



DESPIECE

A3 E: 1/250

### **5.5. Comparativa con las tipologías escogidas previamente**

Para poder analizar adecuadamente el estadio se realizan una serie de esquemas estructurales de diferentes tipologías a las que podría pertenecer para de esta forma poder confirmar si corresponde o no a alguna de ellas.

La idea es comparar la similitud o diferencia de los distintos modelos con el estadio, partiendo de las tipologías analizadas anteriormente:

5.5.1. Tipología pórticos (A)

5.5.2. Tipología en ménsula (B)

5.5.3. Tipología con cables (C)

5.5.4. Tipología tensada (D)

5.5.5. Tipología de piel

En esta tabla se puede ver que la elección del sistema estructural y el material depende en parte de las luces que necesitamos cubrir, porque hay sistemas que se adaptan mejor a luces pequeñas y otros a luces de mayor tamaño. En general las estructuras construidas con acero suelen permitir rangos de luces más grandes, pero también depende de las dimensiones del edificio que necesitemos resolver. Hay varios rangos de luces que van desde los 6 a los 80 m, que se podrían cubrir con cerchas planas, pasando por luces de entre 15 y 100 m que se resuelven con cerchas planas combinadas, seguido de las mallas espaciales que pueden cubrir luces de hasta 100 m y llegando hasta las cerchas curvas que resolverían las luces de entre 20 y 200m.

Es tradicional que en los prontuarios se agrupasen las diferentes tipologías en función de sus modelos, variando en función de su similitud geométrica, su similitud estructural y la proporción de sus elementos, como podemos ver en el libro de Engel, H. "Sistemas de estructuras".

Por lo tanto, en este caso se ha utilizado esta tabla como base para realizar una serie de esquemas comparativos entre modelos estructurales.

Sistema estructural / Sistema de estruturas		Material principal	Materia prima	Luz en metros / Vão em metros																
				0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	150	200	300	400	500
Cerchas planas 2.1 Trellças planas		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			8	15	30	40											
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			10	20	50	60											
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			10	12	25	35											
Cerchas planas combinadas 2.2 Trellças planas combinadas		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			15	20	40	60											
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			8	12	25	30											
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			10	20	80	80											
Cerchas curvas 2.3 Trellças curvas		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			8	12	25	30											
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			10	20	80	80											
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			20	40	60	200											
Mallas espaciales 2.4 Trellças espaciais		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			8	15	60	60											
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			6	25	100	120											
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			15	20	40	70											

### 5.5.1. TIPOLOGÍA DE PÓRTICOS (A)

En primer lugar, se trata de identificar si el estadio pertenece a la tipología porticada. En un principio este estadio fue clasificado en esta tipología, como se puede ver en la primera parte.

A simple vista se aprecian 24 parejas de "pórticos" pero tras analizar la geometría constructiva con más calma se ve que no se trata de pórticos usuales ya parece que las cerchas no pasan de un lado a otro, se cortan y se apoyan unas en otras (FIG.119). Se trata de una estructura hiperestática de la cual no podemos saber que carga recibe cada pareja concretamente. Como ejemplo para comparar de una estructura de pórticos tenemos el estadio ZSCLV de Zúrich (FIG.120)

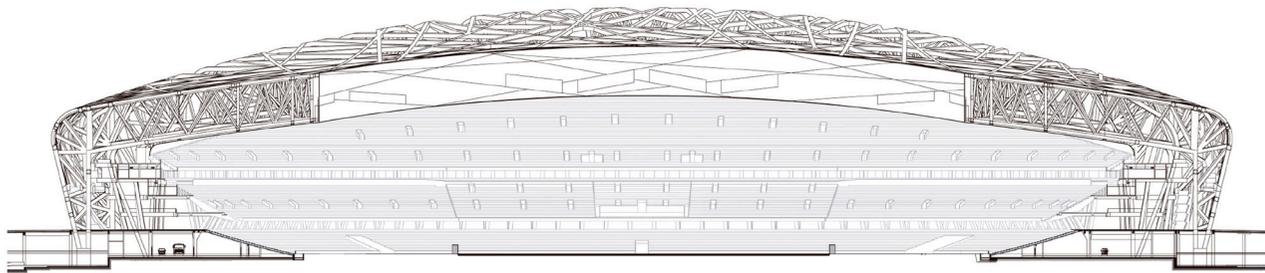


FIG.119. Sección longitudinal del estadio nacional de Beijing

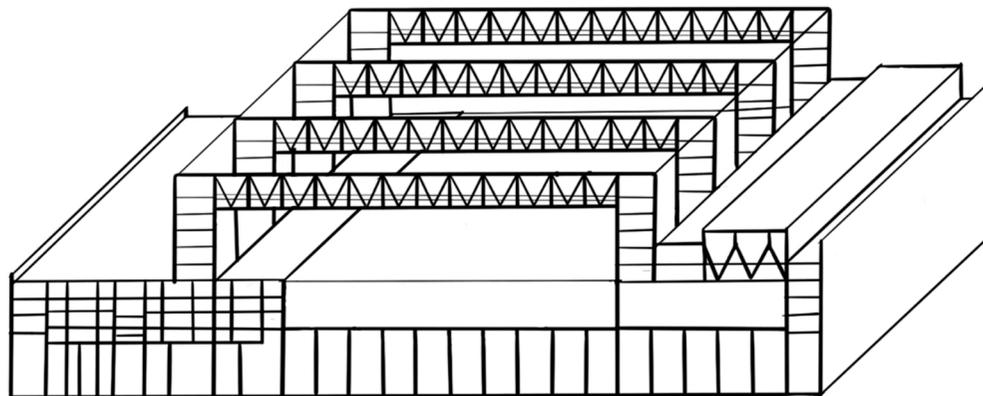
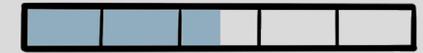


FIG.120. Esquema estructural del estadio ZSCLV

SIMILITUD GEOMÉTRICA

0% 100%



SIMILITUD ESTRUCTURAL

0% 100%



PROPORCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

0% 100%



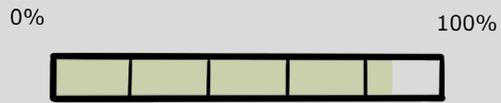
### 5.5.2. TIPOLOGÍA EN MÉNSULA (B)

La siguiente tipología, en la que se procede a estudiar si pudiese encajar, es la tipología en ménsula dado que, si nos fijamos en la sección, puede parecer que se trata de un voladizo.

Después de estudiar con detenimiento las secciones (FIG.121) vemos que esta opción no se aproxima lo suficiente al modelo estructural de la tipología en ménsula, ya que la sección de la cercha es insuficiente y no corresponde con la configuración de los elementos en voladizo, puesto que tiene mayor sección en la parte en "vuelo" que en la parte de "pilar".

Comparando el caso de estudio con el ejemplo (FIG.122) observamos que por forma podría encajar en esta tipología, pero que en el caso del ejemplo la estructura está sujeta en dos puntos a una subestructura y en nuestro caso no es así.

SIMILITUD GEOMÉTRICA



SIMILITUD ESTRUCTURAL



PROPORCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

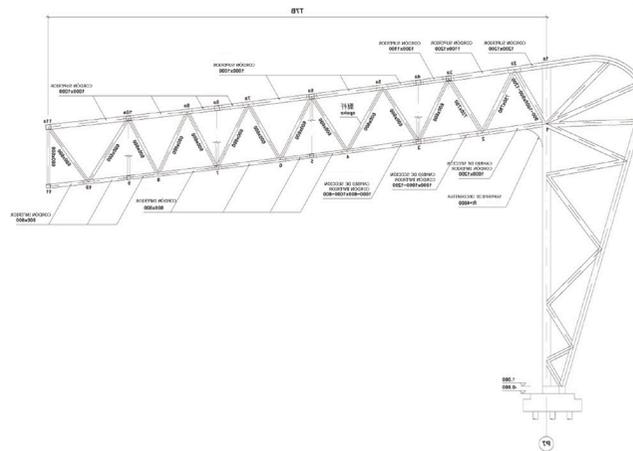


FIG. 121. Sección cercha estadio nacional de Beijing

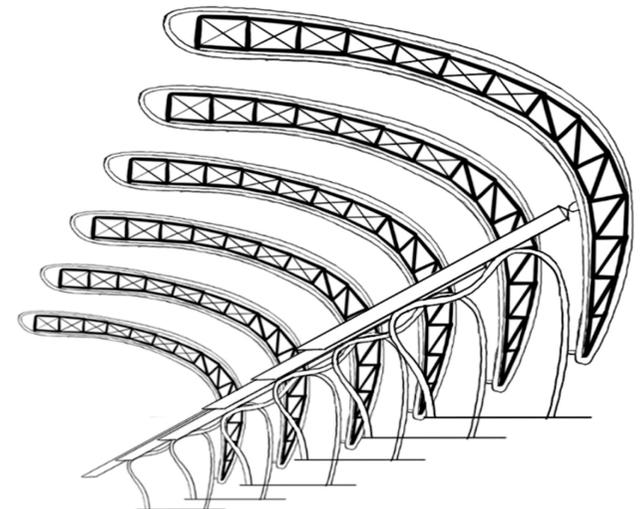


FIG.122. Esquema estructural del estadio central de Kaohsiung

### 5.5.3. TIPOLOGÍA CON CABLES (C)

La siguiente tipología estructural a la que podría pertenecer el estadio sería la opción de estructura con cables, que unirían la cubierta de un lado a otro.

Utilizando como ejemplo de esta tipología el estadio municipal de Braga (FIG.123), vemos que, dejando a un lado la geometría general, cuya semejanza es casi nula, la similitud estructural también es bastante baja ya que en el caso de ejemplo podemos ver cables que cruzan de un lado al otro del vacío central y que unen la cubierta, mientras que en este caso no sucede(FIG.124).

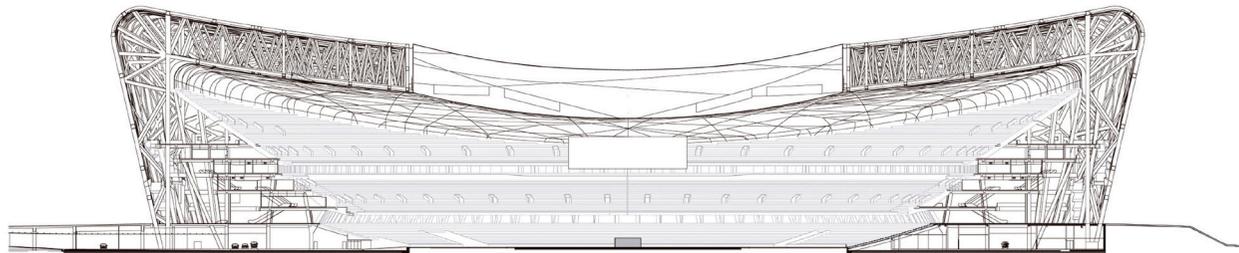


FIG.124. Sección transversal del estadio nacional de Beijing

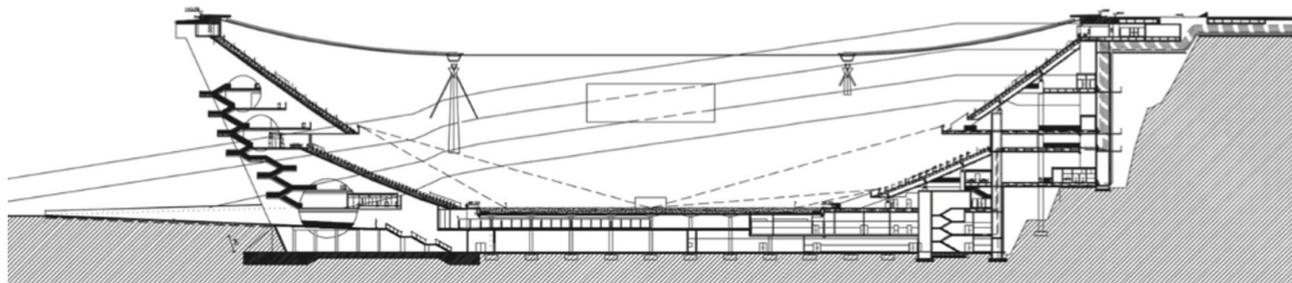


FIG.123. Sección transversal del estadio municipal de Braga

SIMILITUD GEOMÉTRICA

0% 100%



SIMILITUD ESTRUCTURAL

0% 100%



PROPORCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

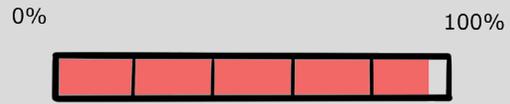
0% 100%



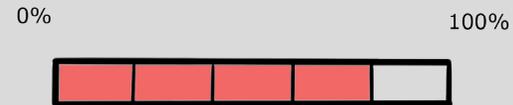
### 5.5.4. TIPOLOGÍA TENSADA (D)

Tras ver que las anteriores hipótesis no se aproximan lo suficiente al modelo estructural del estadio, se vuelven a analizar todos los datos y se supone que el sistema estructural se basa en un anillo central a tracción que es el que permite la estabilidad del conjunto (FIG.125). Por otro lado, dentro de los estadios estudiados podemos destacar el Estadio Comerzbank Arena (FIG.126) y el estadio Olímpico de Kiev (FIG.127). Estos dos estadios son dos claros ejemplos de la tipología tensada pero diferentes entre sí. Pero en este caso, tampoco es lo correcto, ya que la estructura no tiene tensores si no por pórticos, por lo que en este caso no es necesario un anillo exterior a compresión como en los ejemplos.

SIMILITUD GEOMÉTRICA



SIMILITUD ESTRUCTURAL



PROPORCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

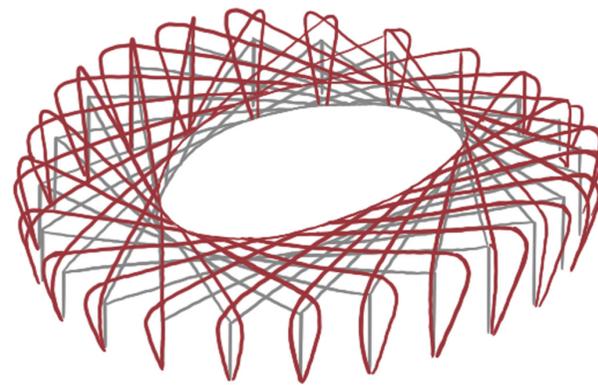


FIG.125. Esquema estructural del estadio nacional de Beijing

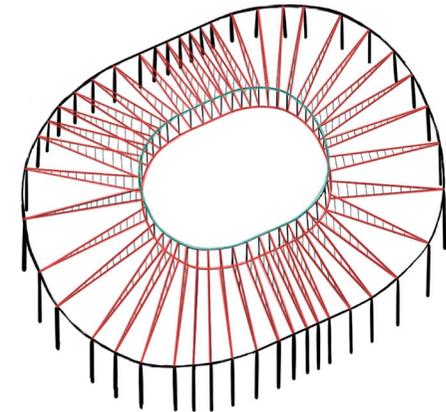


FIG.126. Esquema estructural del estadio Comerzbank Arena

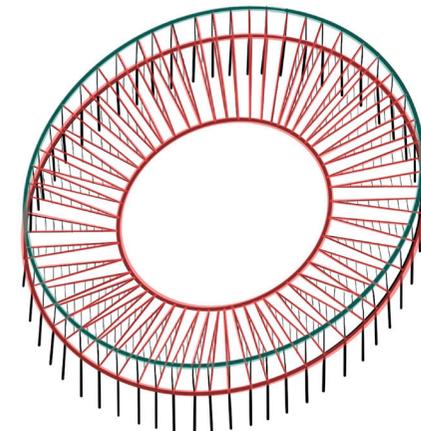


FIG.127. Esquema estructural del estadio olímpico de Kiev

### 5.5.5. TIPOLOGÍA DE MEMBRANA (E)

Se trata de buscar un modelo estructural que se asemeje más al del estadio que las tipologías anteriores. Por lo que se llega a la conclusión de que lo que en realidad sucede es que se genera una malla o piel entre todos los elementos estructurales, se soportan unos a otros y trabajan como un único elemento sin importar que la forma sea un toroide (FIG.128).

Sin embargo, su peculiar forma de montaje obliga a la estructura a resolver distintos modelos más sencillos hasta conformar su forma final, de ahí su aparente similitud con los modelos analizados.

Su construcción se comienza utilizando una estructura auxiliar y después los elementos se van manteniendo unos a otros, de manera que se genera una estructura autoportante.

Este tipo de estructura es muy complicada de calcular, sería necesario un software especializado (de alto precio) y unos meses para aprender a utilizarlo y después realizar el cálculo. Tradicionalmente los arquitectos han destacado sobre los ingenieros por ofrecer estructuras más intuitivas, a costa de perder varios decimales en el cálculo. La utilidad frente a la precisión.

Se utilizará este mismo enfoque ante el problema del cálculo de la estructura.

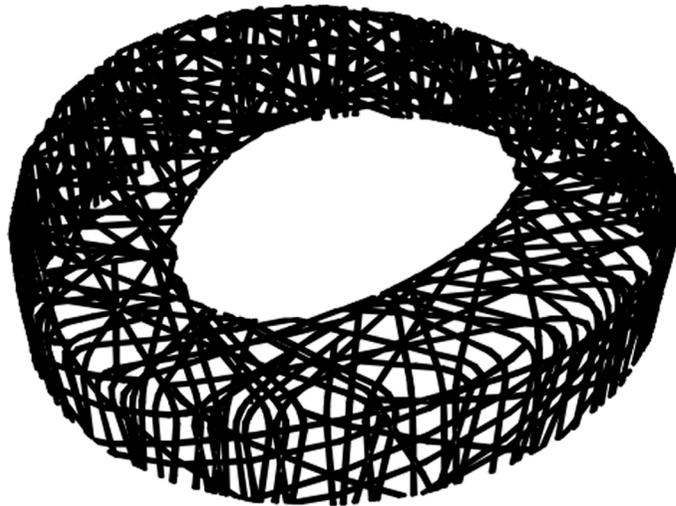


FIG.128. Esquema de la piel del estadio nacional de Beijing

## 5.6. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA:

Tras la comparación con los tipologías anteriores y ante la imposibilidad teórica de calcular, con alta precisión mediante FEM (Finite Element Model), el sistema estructural tal y como es en realidad, se decide intentar hacer una aproximación al modelo estructural.

Se trata de buscar un modelo estructural capaz de generar un hueco de gran tamaño en el centro de una edificación, por lo que se proponen los siguientes casos, ordenados de mayor a menor afinidad con el modelo estructural del estadio olímpico de Beijing.

Tras realizar comparaciones con varios estadios del punto anterior, que son claros ejemplos de la tipología estructural a la que representan, podemos alcanzar varios resultados.

En primer lugar, el estadio no pertenece puramente a la tipología de pórticos ya que no tiene pórticos propiamente dichos, da la impresión de que no pasan de un lado al otro del estadio o que si lo hacen se curvan ligeramente.

En segundo lugar, el estadio tampoco encaja en la tipología en ménsula, ya que las características de sus cerchas no concuerdan con las necesarias para construir un voladizo, se sección es más estrecha en la zona de pilar que en la de cercha.

En el caso de la tipología de cables, se ve a simple vista que no hay una serie de cables que crucen el estadio de un lado a otro, por lo que esta tipología tampoco se aproxima al modelo del estadio.

La cuarta tipología con la que se compara parece dar resultados diferentes a los casos anteriores. En este caso el estadio parece responder a las características necesarias para poder ser clasificado dentro de la tipología tensada. Se puede apreciar un anillo central a tracción que en último lugar es el que sujeta toda la estructura, pero tampoco puede ser clasificado dentro de esta tipología ya que no tiene tensores, si no que tiene celosías y por este hecho tampoco tiene anillo exterior a compresión, ya que no le hace falta.

En definitiva, lo que sucede es que se trata de una malla, una piel, que trabaja como si fuese un único elemento.

Debido a la complejidad de este sistema estructural, se procede a realizar un análisis y una simplificación para tratar de explicar como se podría realizar una aproximación de cálculo (aunque no se llevará a cabo por resultar inabarcable en la realización de este trabajo).

### A) ESTRUCTURA TENSADA

El siguiente caso de aproximación se realiza con la estructura tensada.

Las estructuras tensadas funcionan todas de la misma forma aunque pueda variar la colocación de sus elementos (FIG. 129 y FIG. 130). Son dos catenarias que tienen el mismo funcionamiento y un anillo exterior muy rígido. La catenaria inferior es convexa y soporta las cargas verticales, trabaja siempre, mientras que la superior es cóncava y soporta las cargas del viento y solo entra en carga cuando la carga del viento es superior al peso propio, no trabajan a la vez.

En este caso el modelo analizado no se adapta por completo al modelo de una estructura tensada puesto que en la estructura del estadio no hay tensores, ni anillo exterior.

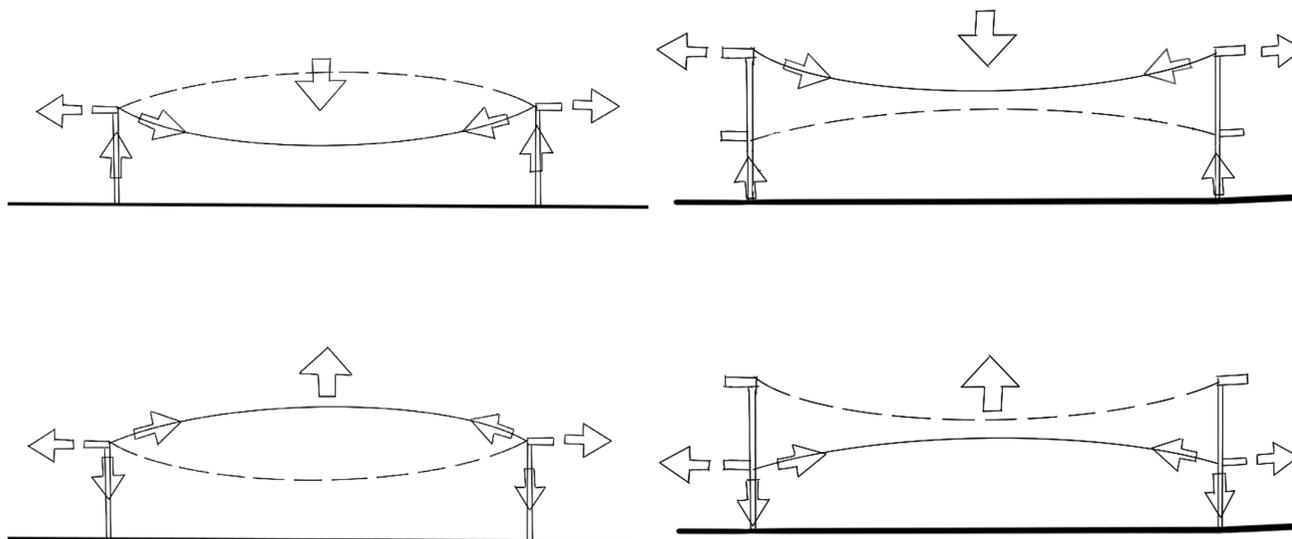


FIG.131. Mecanismo portante de estabilización cuando el cable de estabilización está sobre el cable portante

FIG.132. Mecanismo portante de estabilización cuando el cable de estabilización está bajo el cable portante

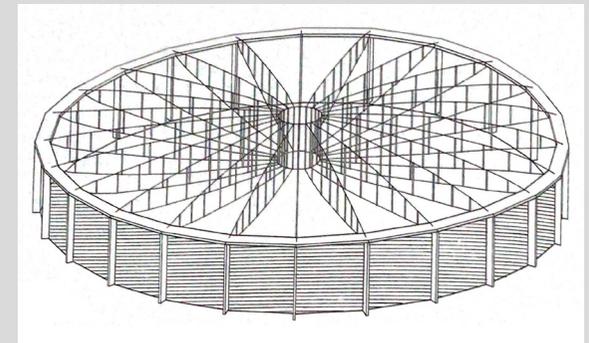


FIG.129. Esquema de estructura tensada con el cable de estabilización sobre el cable portante

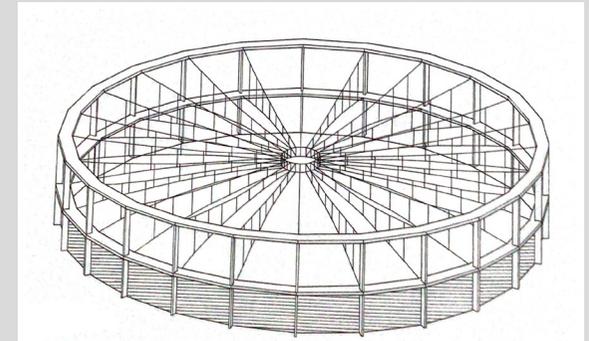
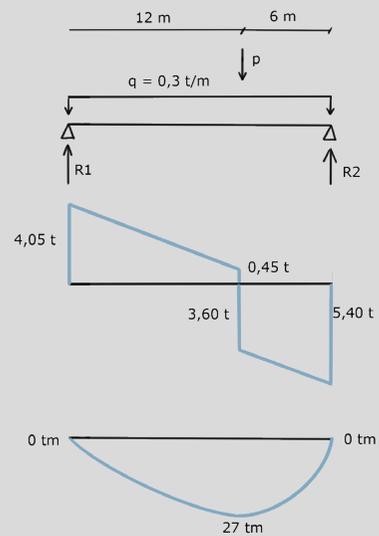


FIG.130. Esquema de estructura tensada con el cable de estabilización bajo el cable portante.



$q = 0,1 \cdot 3 = 0,3 \text{ t/m}$   
 $R2 = 0,1 \cdot 3 \cdot 18 = 5,40 \text{ t}$   
 $5,40 = (0,3 \cdot 18 / 2) + (p \cdot 12 / 18) \rightarrow p = 4,05 \text{ t} = R1$   
 $M_{max} = 5,4 \cdot 6 - ((0,3 \cdot 6^2) / 2) = 32,4 - 5,4 = 27 \text{ tm}$

FIG.134. Diagrama de cortantes y momentos del ejemplo

### B) PIEZAS EMBROCHALADAS

Para la siguiente simplificación se suponen piezas embrochadas, una viga apoyada-apoyada, ya que sus elementos tienen bastante semejanza con los utilizados en este caso.

Se tomará como base de partida un ejemplo que consta de cuatro patas (FIG.133), pero que en definitiva trabaja de igual forma, es una serie de piezas embrochadas alrededor de un punto. Se trata de una viga biapoyada con una carga puntual y otra repartida (FIG.134).

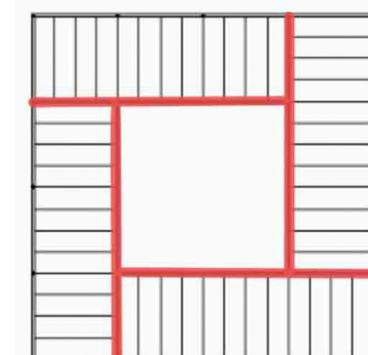
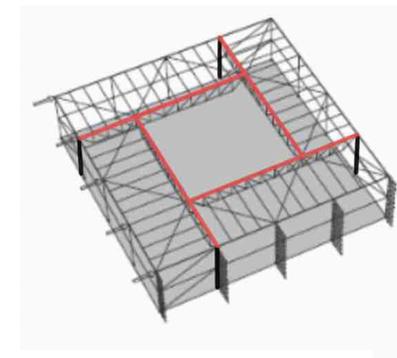
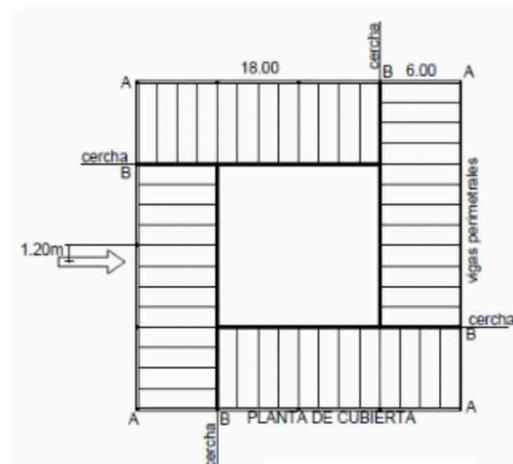


FIG.133. Ejemplo de sistema estructural

Una vez que se ha visto como funciona el ejemplo, se procede a realizar una aproximación sobre nuestro estadio. Para ello realizamos un análisis gráfico, en el que se ven ligeras diferencias con respecto al caso del ejemplo. En este caso vemos que hay dos familias estructurales en lugar de una (FIG.135).

Estas dos familias de piezas embrochadas están unidas en un anillo a tracción que se coloca en el centro de la edificación y que en definitiva es el que permite, aparentemente, la estabilidad global.

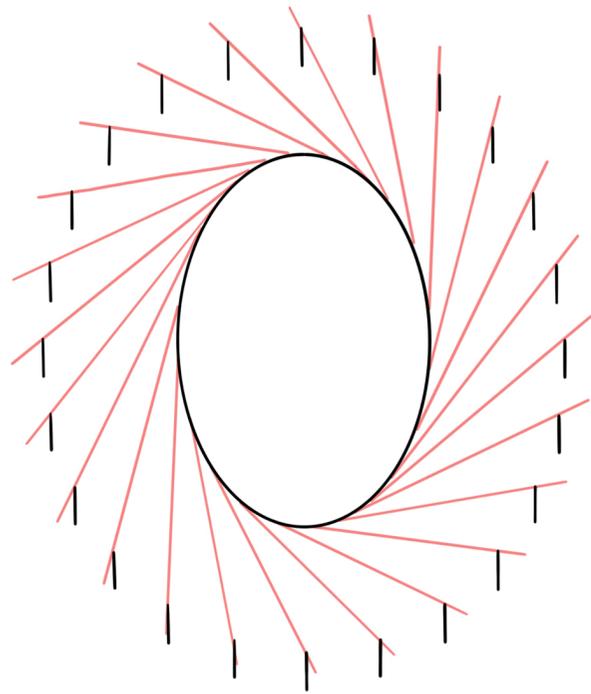


FIG.136. Esquema de la familia estructural 1 (sentido horario)

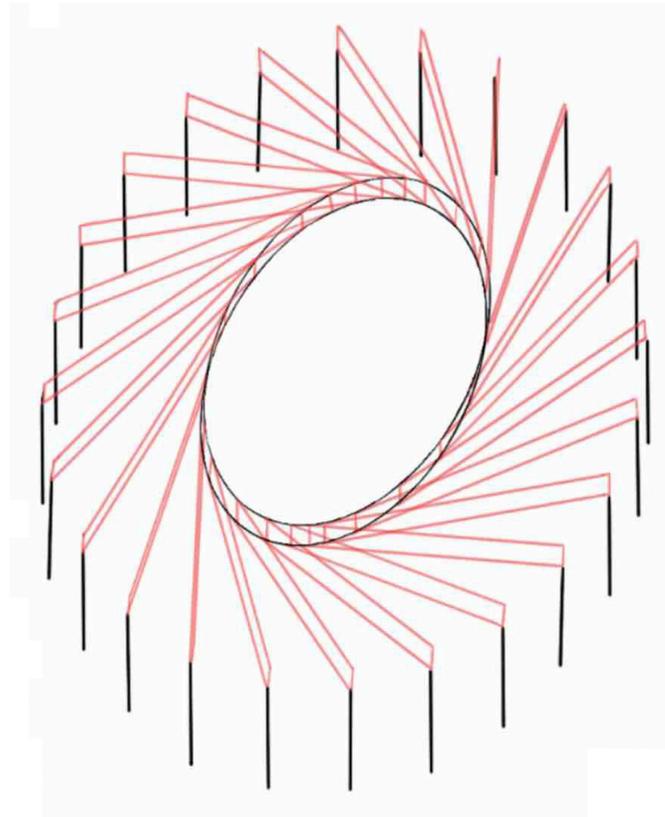


FIG.137. Axonometría de la simplificación del esquema estructural del estadio de Beijing (familia 1)

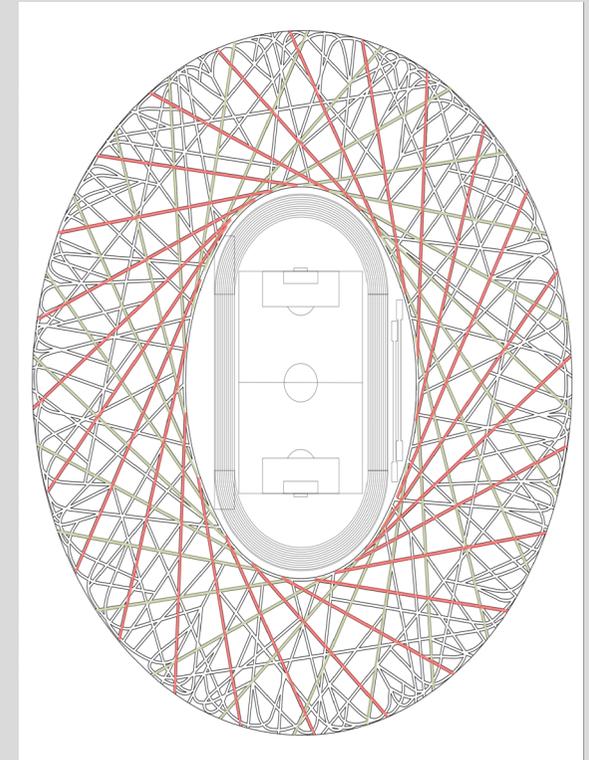


FIG.135. Planta de cubierta con las dos familias diferenciadas

Además, se detecta la misma geometría en el sentido opuesto. Esta dualidad reduce las cargas de cada familia a la mitad; aunque su cometido es bien distinto; esta dualidad otorga una mayor estabilidad global a la estructura.

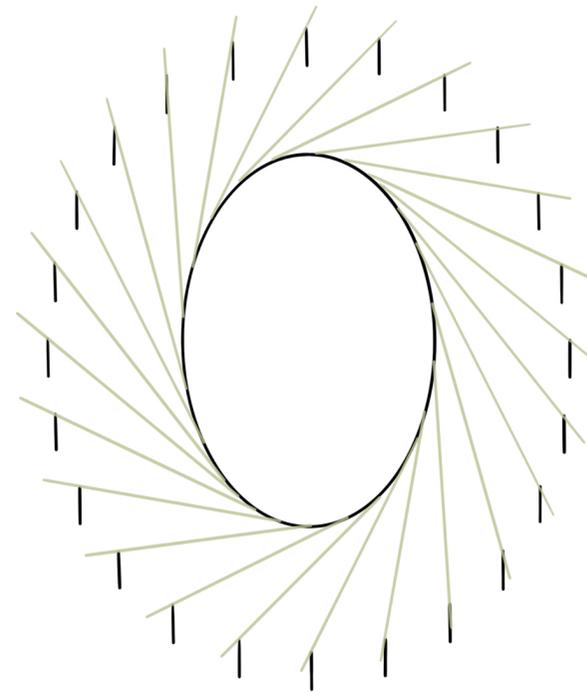


FIG.138. Esquema de la familia estructural 2 (sentido antihorario)

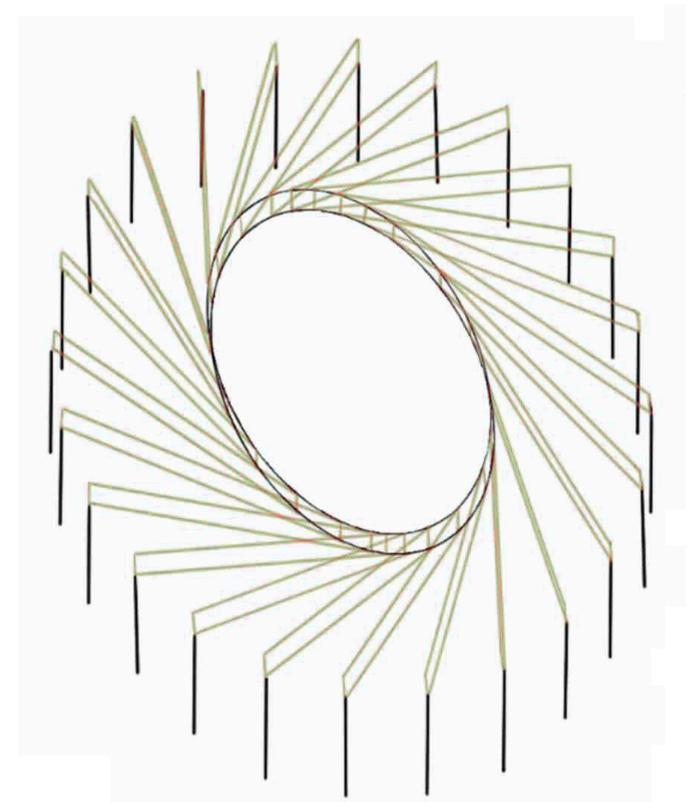


FIG.139. Axonometría de la simplificación del esquema estructural del estadio de Beijing (familia 2)

La utilización de estos dos ordenes permiten responder al problema de la rotación, que se puede producir en este tipo de estructuras.

Al colocar las dos familias, cada una en una dirección, se evita la rotación y la posibilidad de que la estructura colapse debido a ello. El anillo en este caso sustenta a dos familias de "pórticos" y es para evitar el giro, ya que si solo se colocase una de las familias sucedería lo mismo que en la Plaza de las Ventas de Madrid (FIG.141) construida en 2014, que la cubierta colapsó debido a un pandeo global por rotación (FIG.142).

La rotación inicial "baja" la curvatura de la estructura, aumentando la compresión y amplificando los fenómenos de pandeo.

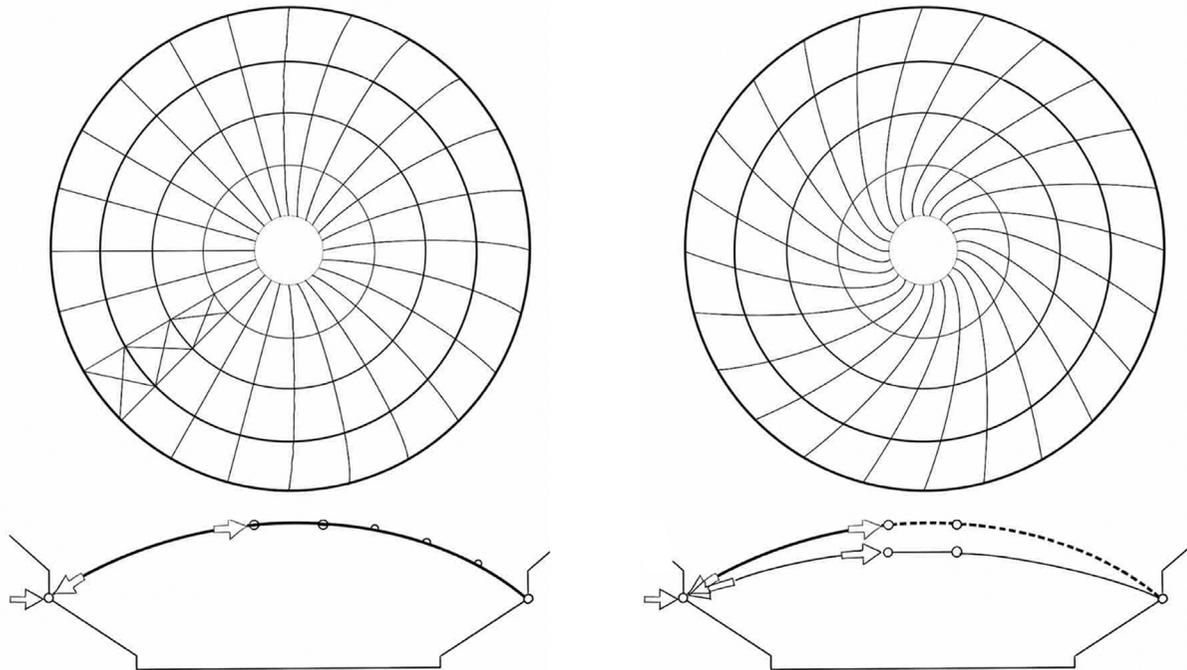


FIG.142. Estructura de cubierta de la Plaza de las Ventas



FIG.140. Fotografía interior de la Plaza de las Ventas



FIG.141. Fotografía exterior de la Plaza de las Ventas

## C) ESTRUCTURA PORTICADA CON ANILLO CENTRAL

En este caso para intentar hacer la simplificación se supone una estructura porticada, con un anillo interior (FIG.143).

Como se ha visto anteriormente, el estadio tiene un anillo central que parece sustituir el cordón interrumpido de las celosías (también se sustituye el cordón a compresión). Si analizamos el diagrama de momentos (FIG.144) la compresión y la tracción en ese punto son casi nulas. Si solo nos basásemos en esto, el estadio podría perfectamente pertenecer a la tipología, pero si nos fijamos bien en los ejemplos de la tipología se ve que a parte del anillo interior (o central) tiene que soportar las tracciones y compresiones de la celosía cortada. Con las dimensiones de este estadio la variación de cargas, por pequeña que sea, sometería a este anillo a esfuerzos muy altos; necesitando un anillo de una entidad superior a la actual.

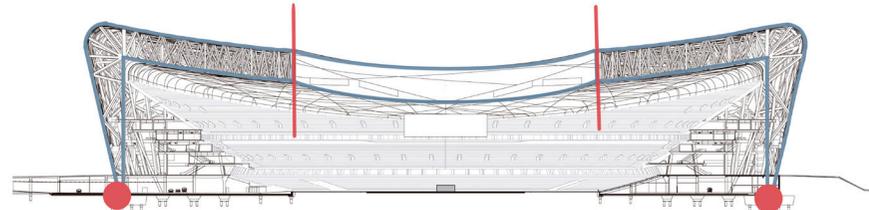


FIG. 143. Esquema de uno de los pórticos con anillo central y momentos nulos o casi nulos

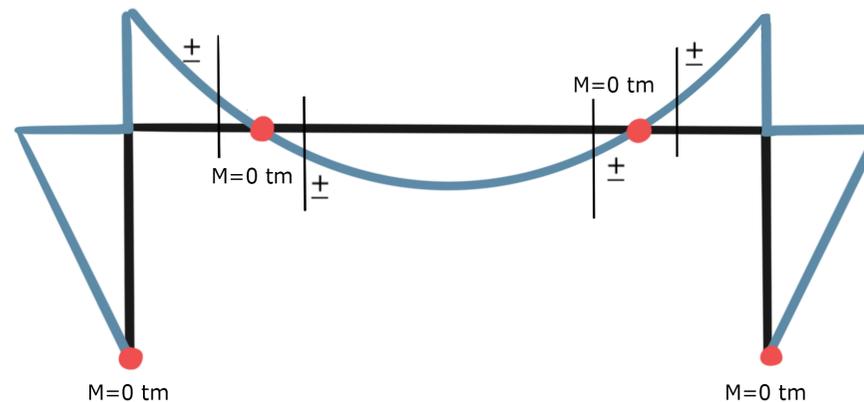


FIG.144. Diagrama de momentos de uno de los pórticos con anillo central

Tomamos como ejemplo el Corro de Aluches de León (FIG.145) construido en 2010, podemos ver, a menor escala, la entidad de este tipo de anillos. En este ejemplo no se crea un vacío si no que simplemente se sustituye el cordón inferior a tracción de las cerchas por un anillo a tracción (FIG.147). Mientras que los cordones superiores, a compresión, se alargan todos hasta unirse en un mismo punto (FIG.148). En este caso se trata de una estructura triangulada, para evitar la deformación que se produciría si quitamos todas las barras de las celosías, ya que se convertiría en un rectángulo, fácilmente deformable. Este edificio podría ser tomado como una simplificación del estadio Commerbank Arena.

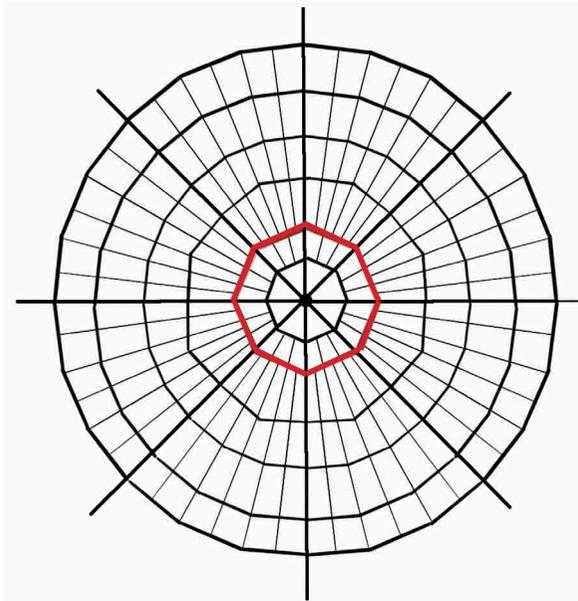


FIG.148. Planta del Corro de Aluches

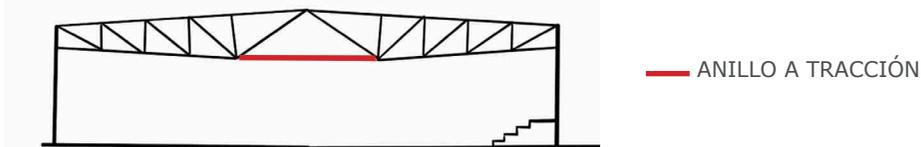


FIG.147. Sección del Corro de Aluches



FIG.145. Fotografía interior del Corro de Aluches



FIG.146. Fotografía interior del Corro de Aluches

## D) PÓRTICO EN CONTINUIDAD CON GEOMETRÍA VARIABLE

Otra simplificación más próxima al posible comportamiento de la estructura sería que suponer que la estructura se basa en pórticos en continuidad. Estos pórticos deberían ser rectos, pero no lo son, se van curvando ligeramente en la proximidad de la elipse (FIG.149). En definitiva, la solución más simple y la más acertada de todas las que se han probado es la existencia de pórticos biarticulados en dos direcciones (FIG.150).

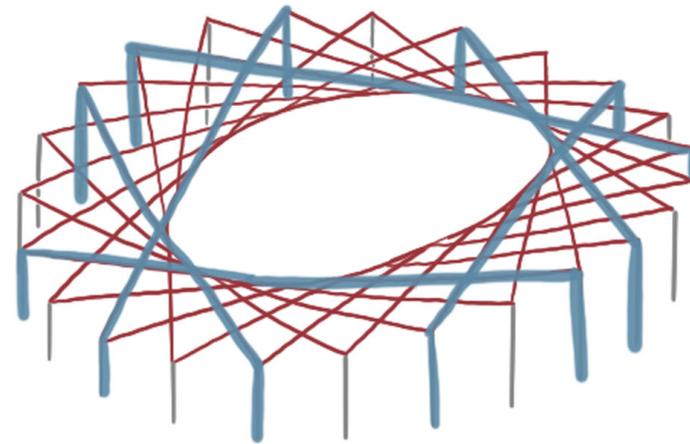


FIG. 149. Esquema de pórticos

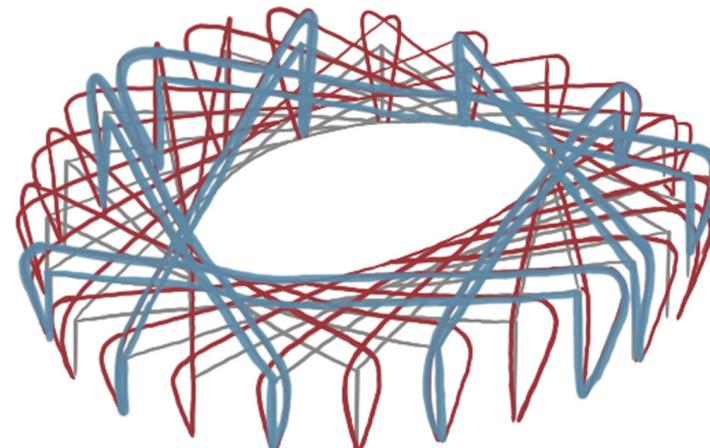


FIG. 150. Esquema de pórticos (II)

Si observamos con detenimiento la planta de cubierta en la que están marcadas las dos familias de pórticos podemos ver que las dos familias en definitiva componen una única dirección de la estructura (línea azul). Esto sucede uniendo los puntos donde varias parejas de pórticos (uno de cada familia) se juntan, como vemos en la figura siguiente (FIG.151).

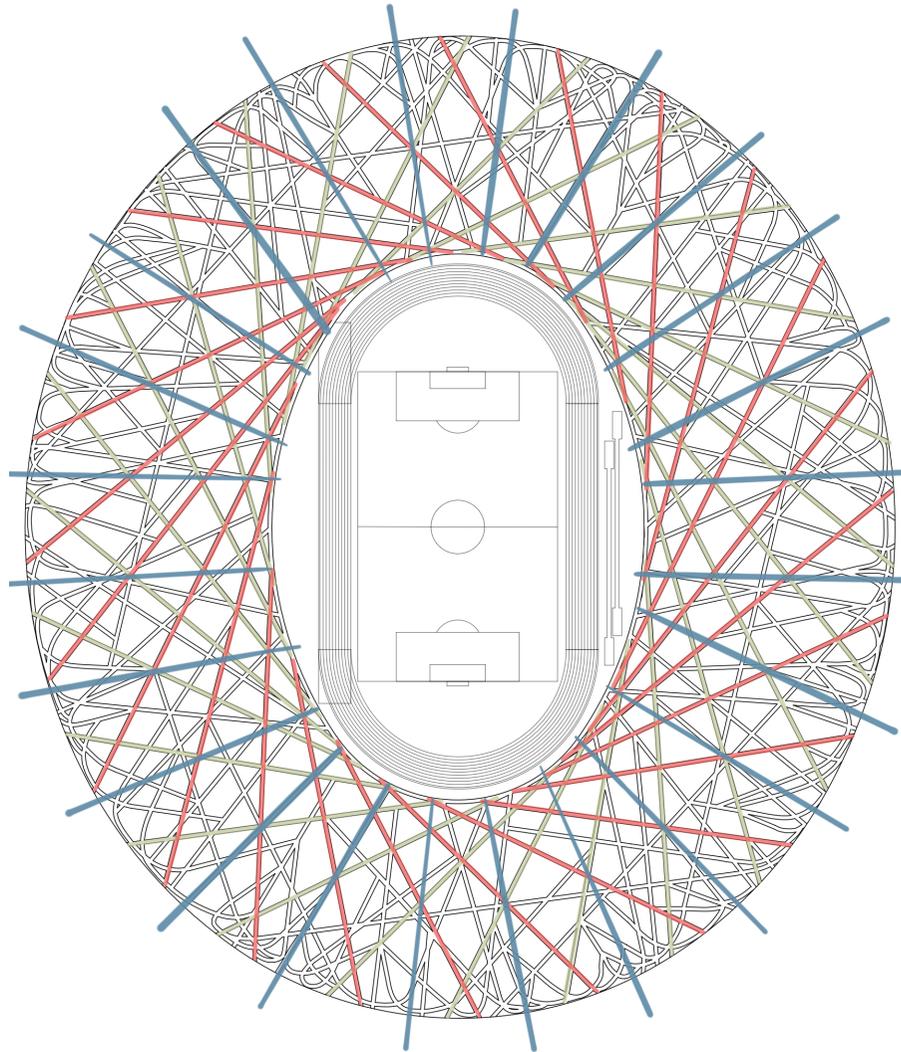


FIG. 151. Esquema de la dirección estructural generada por las dos familias

#### D) CÁSCARA O MALLA:

La solución anterior podría ser la más sencilla, pero dado que hay tantas piezas a mayores de la estructura de pórticos, en realidad, la estructura termina trabajando como una membrana. Durante el montaje puede llegar a funcionar con estos distintos modelos estructurales pero una vez que se construye por completo trabaja como un solo elemento, como una malla (FIG.152).

Casi con seguridad se puede afirmar que toda la estructura está atada en todas las direcciones, todos sus nudos están atados al menos en tres direcciones. Esto se debe a la gran magnitud de terremotos que tiene que resistir la estructura; ya que Beijing es una zona de gran actividad sísmica. Según el proyecto, este edificio está diseñado para soportar terremotos de grado 8 de magnitud en la escala Richter.

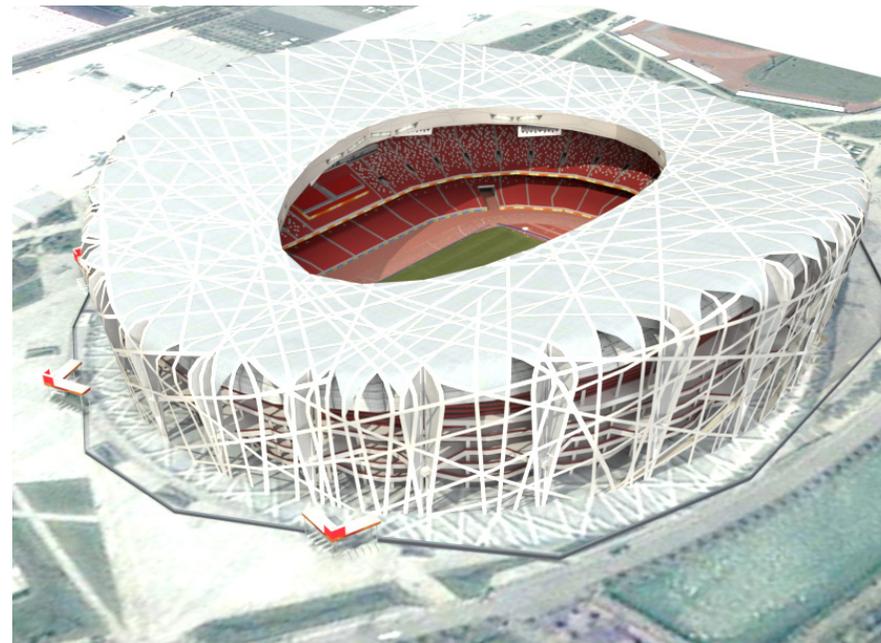


FIG. 152. Render estadio olímpico de Beijing

## 6. CONCLUSIONES

Tras realizar el estudio del estadio olímpico de Beijing, se ha llegado a una serie de conclusiones como síntesis de este trabajo.

Aunque en un principio su geometría parecía totalmente aleatoria al estudiarla del estadio se han podido diferenciar tres estructuras jerarquizadas. En primer lugar, un conjunto de 24 parejas de pórticos como estructura principal (acero), en segundo lugar una serie de vigas inclinadas que funcionan como arriostramientos (acero) y que a la vez generan la imagen del edificio, y por último, independiente de las anteriores, la estructura del graderío (hormigón).

Posteriormente, tras analizar la cubierta, se han podido distinguir dos familias de pórticos claramente distintas y al hacer lo mismo con los alzados, se pueden apreciar dos ordenes también diferenciados en las vigas de arriostramiento (estructura secundaria), unas de ellas con directriz completa y otras con directriz partida.

En relación con las secciones podemos ver que hay dos tipos de pórticos claramente diferenciados dependiendo de si la sección es transversal o longitudinal, debido a la forma de toroide de la cubierta.

Después de extraer toda la geometría del edificio, se ha tratado de esclarecer a que tipología estructural de las analizadas anteriormente pertenecía esta compleja estructura. Llegando a la conclusión de que aunque tiene cierto parecido con varias de ellas, debido a su peculiar forma de montaje que obliga a la estructura a resolver distintos modelos más sencillos hasta configurar su forma final, no pertenece a ninguna, o al menos no estrictamente ya que en el caso de la tipología porticada si que se podría llegar a incluir.

Dado que no se ajustaba a las características de ninguna de las tipologías analizadas se ha tratado de buscar modelos estructurales sencillos que fuesen capaces de generar un hueco de estas dimensiones.

El primero de los casos era la sustitución del cordón inferior de la cercha por un anillo a tracción, pero no se aproxima lo suficiente al modelo del estadio ya que no llega a generar un vacío como tal.

En segundo lugar se prueba con una estructura tensada, pero los resultados tampoco son lo suficientemente parecidos al modelo estructural del estadio, ya que en este caso, aunque si que hay hueco, lo que no hay son tensores en el estadio.

Después se estudia la hipótesis de que fuese una estructura embrochalada, pero tampoco es el caso, ya que debido al problema de la rotación en este caso harían falta dos familias estructurales y la estructura embrochalada solo funciona con una.

La siguiente de las aproximaciones probadas es el caso de que fuese una estructura porticada con un anillo interior a tracción, ya que observando la sección es lo que parece y durante el desarrollo de este trabajo he pensado que este era el caso, hasta que tras estudiar con detenimientos el esquema estructural pude llegar a la conclusión de que, en realidad, lo que sucedía es que se trataba de una estructura de pórticos continuos con una geometría variable. Estos pórticos van de un lado al otro del estadio, pero al llegar a la elipse central se desvían ligeramente.

Por ultimo, en mi opinión la verdadera forma en la que trabaja este modelo estructural está justificada por su peculiar forma de montaje que obliga a la estructura a resolver distintos modelos más sencillos hasta configurar su forma final. Esto se debe a que la estructura está arriostrada por completo, en todas las direcciones, cada uno de sus nudos lo está al menos en tres direcciones para evitar el movimiento y que el edificio se convierta en una jaula perfectamente capaz de soportar un terremoto grado 8 de magnitud en la escala de Richter, superior a las demandas de la norma china para esta región bastante sensible al sismo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS Y REVISTAS

- Balland, L., Schepping, A., & Lill, J. (Eds.). (2020). Herzog & De Meuron 2002–2004 (Vol. 5). Birkhäuser.
- Engel, H. (2001). Sistemas de estructuras. Gustavo Gili.
- Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2007). Estadios. AV Proyectos, 23, 8–9.
- Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2008). Pekín Olímpico. Arquitectura Viva, 118-119, 82–101.
- Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2016a). España 2016. AV Monografías, 183-184, 74–83.
- Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2016b). Herzog & de Meuron. AV Monografías, 191-192, 148–159.
- Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2018). España 2018. AV Monografías, 203-204, 58–65.
- Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2019). Kengo Kuma 2014–2019. AV Monografías, 218-219, 18–23.
- Güell, X. (Ed.). (1989). Catálogos de Arquitectura Contemporánea. Herzog & de Meuron. Gustavo Gili.
- Levene, R., & Márquez Cecilia, F. (Eds.). (2019). N 201 Caruso St John 2013–2019. El Croquis, 201, 148–159.
- Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2005). Eduardo Souto de Moura 1995–2005. El Croquis, 124, 160–187.
- Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2006). N 129/130 Herzog & De Meuron 2002–2006. El Croquis, 129/130, 272–299.
- Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2009). N 147 Toyo Ito 2005–2009. El Croquis, 147, 136–157.
- Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2013). N 166 Caruso St John 1993–2013. El Croquis, 166, 260–265.

- Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2019). N 202 Bernardo Bader 2009–2019. *El Croquis*, 202, 226–229.
- Márquez Mezquita, F., & Levene, R. (Eds.). (2010). Herzog & de Meuron 2005–2010. *El croquis*, 152-153, 126–146.
- Pareja Abia, J. (2020). *La arquitectura de los estadios: Análisis estructural de los estadios deportivos*. E.T.S. Arquitectura de Madrid, España.
- Rice, P. (1994). *Un ingeniero imagina*. Ellipsis London Ltd.
- Ursprung, P. (Ed.). (2002). *Herzog & De Meuron Natural History*. Lars Müller Publishers.

## WEBS CONSULTADAS

- Allianz Arena - Ficha, Fotos y Planos. (s. f.). WikiArquitectura. Recuperado 15 de abril de 2021, de <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/allianz-arena/>
- ArchDaily. (2017, 14 agosto). Este timelapse revela cómo se levantó la cubierta del Wanda Metropolitano en Madrid. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/wanda-metropolitano>
- ArchDaily. (2019, 11 mayo). Empresa de Carlos Slim remodelará «Estadio Santiago Bernabéu» del Real Madrid. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/estadio-santiago-bernabeu>
- Arqa Editorial. (2019, 21 mayo). Estadio de AL Janoub Al Wakrah, Qatar -. ARQA. <https://arqa.com/arquitectura/al-janoub-stadium-and-precinct-al-wakrah-qatar.html>
- Arquine. (2015, 26 mayo). Nuevo Estadio de Burdeos | Arquine. Arquine | arquitectura, diseño y ciudad desde México. <https://www.arquine.com/nuevo-estadio-de-burdeos/>
- Arquine. (2019, 27 mayo). Estadio Al Janoub de Zaha Hadid | Arquine. Arquine | arquitectura, diseño y ciudad desde México. <https://www.arquine.com/estadio-al-janoub-zaha-hadid-architects/>
- Arup Associates. (2018, 8 marzo). Estadio Nacional de Singapur diseñado por Arup Associates. arquired. <https://www.arquired.com.mx/arq/arquitectura/estadio-nacional-singapur-arup-associates/>
- Beijing 2008, diez años después. Spanish.Chinatoday.Com. Recuperado 17 de junio de 2021, de [http://spanish.chinatoday.com.cn/2018/ty/201809/t20180904\\_800140377.html](http://spanish.chinatoday.com.cn/2018/ty/201809/t20180904_800140377.html)
- Biografía del arquitecto: Herzog & de Meuron. (s. f.). Floornature.com. Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://www.floornature.es/herzog-de-meuron-78/>
- CADG. (s. f.). www.cadg.com. Recuperado 17 de junio de 2021, de <https://cadg.com.cn/en/works/549>
- Caruso St John Architects. (2013, 16 marzo). AFASIAARCHZINE.COM. <https://afasiaarchzine.com/2013/03/caruso-st-john-architects-12/>
- Construarte, R. (2018, 24 enero). El estadio olímpico de Beijing, un hito arquitectónico. Construarte, C.A. <http://www.construarte.com.ve/estadio-olimpico-beijing-hito-arquitectonico/>

- Cortes de Lira, Ana. «Los megaeventos y sus consecuencias urbanas. Posibles perspectivas hacia las futuras experiencias brasileñas». Arxiu d'Etnografia de Catalunya, [en línea], 2012, Núm. 12, p. 9-32, <https://raco.cat/index.php/AEC/article/view/270311> [Consulta: 17-04-2021].
- Delaqua, V. (2021, 26 enero). Estadio Jornalista Mário Filho – Maracanã / Fernandes Arquitetos Associados. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-314314/estadio-jornalista-mario-filho-nil-maracana-fernandes-arquitetos-associados>
- Durántez, C. (s. f.). Olimpiadas Modernas. [www.estudiosolimpicos.es](http://www.estudiosolimpicos.es). Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://estudiosolimpicos.es/index.php/olimpismo/historia-olimpica/olimpiadas-modernas?start=20>
- EcuRed. (s. f.). Estadio Commerzbank-Arena - EcuRed. [www.ecured.cu](http://www.ecured.cu). Recuperado 25 de abril de 2021, de [https://www.ecured.cu/Estadio\\_Commerzbank-Arena](https://www.ecured.cu/Estadio_Commerzbank-Arena)
- El nacimiento de los juegos olímpicos modernos. (s. f.). Google Arts & Culture. Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://artsandculture.google.com/story/3QLC3k4aaa78Kg?hl=es>
- Estadio Municipal de Braga - Ficha, Fotos y Planos. (2020, 15 octubre). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/estadio-municipal-de-braga/>
- Estadio Nacional de Singapur | Arquitectura en acero. (s. f.). [www.arquitecturaenacero.org](http://www.arquitecturaenacero.org). Recuperado 15 de abril de 2021, de <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-singapur>
- Estadio Nacional de Varsovia | Arquitectura en acero. (s. f.). [www.arquitecturaenacero.org](http://www.arquitecturaenacero.org). Recuperado 26 de abril de 2021, de <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-varsovia>
- Estadio Nacional de Varsovia – Varsovia. (2014, 6 diciembre). Templos del fútbol. <https://templosdelfutbol.com/2014/12/06/estadio-nacional-de-varsovia-varsovia/>
- Estadio olímpico de Pekín - Ficha, Fotos y Planos. (2020, 15 octubre). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/estadio-olimpico-de-pekín/>
- Estadio olímpico de Pekín. (s. f.). Prezi.Com. Recuperado 10 de mayo de 2021, de <https://prezi.com/8vsirrnbnvi4a/estadio-olimpico-de-pekín/?frame=c11e8034590b1a7d72f89447afc07e7bd6298a13>

- Estadio Rey Fahd. (2021). lugaresquever.com. <https://lugaresquever.com/wiki/estadio-rey-fahd?spmchkbj=spmprvbj3wnd>
- Estructuras. (2009, 1 mayo). YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=j6s8n25WVos>
- Guggenheim Bilbao - Ficha, Fotos y Planos. (2020, 21 octubre). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/guggenheim-bilbao>
- Gutiérrez, J. A. A. (2016, 7 febrero). Nuevo Estadio San Mamés, Bilbao MODERNIZANDO UN VIEJO MITO. PDF Free Download. <https://docplayer.es/amp/14299236-Nuevo-estadio-san-mames-bilbao-modernizando-un-viejo-mito.html>
- Hernández, D. (2019, 24 octubre). Estructura de cubierta del Estadio Maracanã / schlaich bergmann und partner. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-369505/estructura-de-cubierta-del-estadio-maracana-schlaich-bergmann-und-partner>
- Hernández, D. (2020, 16 diciembre). Estadio Matmut Atlantique / Herzog & de Meuron. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/767336/nuevo-estadio-de-burdeos-herzog-and-de-meuron>
- Hernández, D. (2021, 26 enero). Arena Fonte Nova / Schultiz Architekten + Tetra Arqitetos. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-351923/arena-fonte-nova-schultiz-architekten-plus-tetra-arqitetos>
- Herzog & de Meuron - Edificios y Proyectos. (2016, 13 octubre). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/arquitecto/herzog-de-meuron-2/>
- <https://www.fundeu.es/recomendacion/sede-y-subsedes-de-los-juegos-olimpicos-de-pekin-grafia-correcta-322/#author>. (2015, 13 agosto). sede y subsedes de los juegos olímpicos de Pekín | Fundéu. Fundéu | Fundación del español urgente. <https://www.fundeu.es/recomendacion/sede-y-subsedes-de-los-juegos-olimpicos-de-pekin-grafia-correcta-322/>
- Kaohsiung Stadium - Ficha, Fotos y Planos. (2020, 20 octubre). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/kaohsiung-stadium/>
- L35 Arquitectos, S.A.P. (2021). Estadio Santiago Bernabéu. www.l35.com. <https://www.l35.com/proyectos/estadio-santiago-bernabeu.html>

- Maneval, V. (2020, 9 noviembre). Les plus beaux Stades du Monde et ses Concepts. Bubble-Mania. <http://www.bubblemania.fr/es/bulle-les-plus-beaux-stades-du-monde/#Le%20stade%20national%20de%20P%C3%A9kin>
- Martínez, F. (2020, 19 julio). La política y los Juegos Olímpicos. PAGINA12. <https://www.pagina12.com.ar/279397-la-politica-y-los-juegos-olimpicos>
- Ministerio de Diseño. (2019, 12 mayo). Ove Arup: el ingeniero de los imposibles. <https://www.xn--ministeriodediseo-uxb.com/actualidad/ove-arup-el-ingeniero-de-los-imposibles/>
- Nuevo Estadio Nacional de Tokio | Wikipedia | manualdatecnologia.com. (2020). <https://manualdatecnologia.com>. <https://manualdatecnologia.com/pages/estadios-de-pista-y-campoen-jap-n/nuevo-estadio-nacional-de-tokio.html>
- Pastorelli, G. (2017, 14 septiembre). Estadio Municipal de Braga / Eduardo Souto de Moura. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-92862/estado-municipal-de-braga-eduardo-souto-de-moura>
- Pintor, Y. P. (2020, 3 febrero). Los mejores estadios olímpicos del mundo. Mejor con Salud. <https://mejorconsalud.as.com/fitness/deportes/mas/mejores-estadios-olimpicos-mundo/>
- R. (2013, 18 marzo). Los Juegos de China. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/internacional/20080701/54264579919/los-juegos-de-china.html>
- Robledo, F. (s. f.). JJOO Eckart Woertz (Coord.). Scribd. Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://es.scribd.com/document/361606717/JJOO-Eckart-Woertz-Coord>
- Saieh, N. (2020, 29 octubre). Estadio olímpico de Kiev / gmp Architekten. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/903566/estadio-olimpico-de-kiev-gmp-architekten>
- Sánchez, D. (2019, 24 octubre). Estadio De Futbol De Lasesarre / NO.MAD. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-310227/estadio-de-futbol-de-lasesarre-no-mad>
- Soccer City Stadium - Ficha, Fotos y Planos. (2020, 29 octubre). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/soccer-city-stadium/>
- Spain - Arup. (s. f.). [www.arup.com](http://www.arup.com). Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://www.arup.com/es-es/offices/spain/madrid>

- Stadion Slaski. (s. f.). [www.estadios.org](http://www.estadios.org/polonia/3323/stadion-slaski/). Recuperado 17 de abril de 2021, de <http://www.estadios.org/polonia/3323/stadion-slaski/>
- Such, M. (2016, 8 agosto). De Río a Pekín, 10 estadios olímpicos que merece la pena visitar. Diario del Viajero. <https://www.diariodelviajero.com/turismo-deportivo/de-rio-a-pekín-10-estadios-olimpicos-que-merece-la-pena-visitar>
- Tapia, D. (2021, 16 marzo). Estadio Tottenham Hotspur / Populous. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/954385/estadio-tottenham-hotspur-populous>
- □. (s. f.). Beijing 2008, diez años después. Spanish.Chinatoday.Com. Recuperado 17 de junio de 2021, de [http://spanish.chinatoday.com.cn/2018/ty/201809/t20180904\\_800140377.html](http://spanish.chinatoday.com.cn/2018/ty/201809/t20180904_800140377.html)

## 9. LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 01. FUENTE: <https://www.rogiervanderheide.com/beijing-olympic-stadium-birds-nest-lighting-design/>
- FIGURA 02. FUENTE: <https://www.rogiervanderheide.com/beijing-olympic-stadium-birds-nest-lighting-design/>
- FIGURA 03. FUENTE: <https://arquiterrassa.wordpress.com/arquimundo/e-h/estadio-olimpico-el-nido-pekín/estado-olimpico-nido-beijing/>
- FIGURA 04. FUENTE: <https://www.olympodeportivo.com/>
- FIGURA 05.
  - 5.1. FUENTE: <https://besthqwallpapers.com/>
  - 5.2. FUENTE: <https://educacionfisicaculturafisica.blogspot.com/>
  - 5.3. FUENTE: <https://educacionfisicaculturafisica.blogspot.com/>
  - 5.4. FUENTE: <https://www.futbolprimera.es/>
  - 5.5. FUENTE: <https://wikimapia.org/>
  - 5.6. FUENTE: <https://www.fifa.com/es>
  - 5.7. FUENTE: <https://arquitecturayempresa.es/>
  - 5.8. FUENTE: <https://sportsmatik.com/>
  - 5.9. FUENTE: <https://qpasa.com/>
  - 5.10. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/>
- FIGURA 06. FUENTE: <https://www.elindependiente.com/>
- FIGURA 07. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl>
- FIGURA 08. FUENTE: <https://www.eltiempo.com/>
- FIGURA 09. FUENTE: <https://www.alamy.com/>
- FIGURA 10. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/>

- FIGURA 11. FUENTE: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Main\\_Page](https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)
- FIGURA 12. FUENTE: <https://3.bp.blogspot.com/>
- FIGURA 13. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/>
- FIGURA 14. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/>
- FIGURA 15. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/>
- FIGURA 16. FUENTE: <https://spa.architecturaldesignschool.com/spotlight-herzog-de-meuron-69282>
- FIGURA 17. FUENTE: <https://www.muyhistoria.es/>
- FIGURA 18. FUENTE: <https://academiadediseno.com/>
- FIGURA 19. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl>
- FIGURA 20. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/>
- FIGURA 21. FUENTE: <https://www.guggenheim-bilbao.eus/>
- FIGURA 22. FUENTE: <http://moleskinearquitectonico.blogspot.com/2010/04/f-gehry-museo-guggenheim-bilbao.html>
- FIGURA 23. FUENTE: Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2008). Pekín Olímpico. *Arquitectura Viva*, 118-119, 82-101.
- FIGURA 24. FUENTE: Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2008). Pekín Olímpico. *Arquitectura Viva*, 118-119, 82-101.
- FIGURA 25. FUENTE: Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2008). Pekín Olímpico. *Arquitectura Viva*, 118-119, 82-101.
- FIGURA 26. FUENTE: Fernández-Galiano, L. (Ed.). (2008). Pekín Olímpico. *Arquitectura Viva*, 118-119, 82-101.
- FIGURA 27. FUENTE: <https://afasiaarchzine.com/2013/03/caruso-st-john-architects-12/>
- FIGURA 28. FUENTE: <https://afasiaarchzine.com/2013/03/caruso-st-john-architects-12/>
- FIGURA 29. FUENTE: Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2013). N 166 Caruso St John 1993-2013. *El Croquis*, 166, 260-265.
- FIGURA 30. FUENTE: Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2013). N 166 Caruso St John 1993-2013. *El Croquis*, 166, 260-265.
- FIGURA 31. FUENTE: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-singapur>

- FIGURA 32. FUENTE: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-singapur>
- FIGURA 33. FUENTE: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-singapur>
- FIGURA 34. FUENTE: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-singapur>
- FIGURA 35. FUENTE: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-singapur>
- FIGURA 36. FUENTE: <https://es.fifa.com/worldcup/destination/stadiums/stadium/5025998/>
- FIGURA 37. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/obras/estadio-al-janoub-en-al-wakrah>
- FIGURA 38. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/obras/estadio-al-janoub-en-al-wakrah>
- FIGURA 39. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/obras/estadio-al-janoub-en-al-wakrah>
- FIGURA 40. FUENTE: <https://www.realmadrid.com/estadio-bernabeu>
- FIGURA 41. FUENTE: <https://www.cubiertasdiansa.com/nuevas-cubiertas-en-los-estadios/>
- FIGURA 42. FUENTE: <https://www.realmadrid.com/estadio-bernabeu>
- FIGURA 43. FUENTE: <https://www.realmadrid.com/estadio-bernabeu>
- FIGURA 44. FUENTE: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/soccer-city-stadium/>
- FIGURA 45. FUENTE: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/soccer-city-stadium/>
- FIGURA 46. FUENTE: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/soccer-city-stadium/>
- FIGURA 47. FUENTE: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/soccer-city-stadium/>
- FIGURA 48. FUENTE: Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2006). N 129/130 Herzog & De Meuron 2002–2006. *El Croquis*, 129/130, 272–299.
- FIGURA 49. FUENTE: Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2006). N 129/130 Herzog & De Meuron 2002–2006. *El Croquis*, 129/130, 272–299.
- FIGURA 50. FUENTE: Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2006). N 129/130 Herzog & De Meuron 2002–2006. *El Croquis*, 129/130, 272–299.

- FIGURA 51. FUENTE: Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2006). N 129/130 Herzog & De Meuron 2002–2006. El Croquis, 129/130, 272–299.
- FIGURA 52. FUENTE: Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2009). N 147 Toyo Ito 2005–2009. El Croquis, 147, 136–157.
- FIGURA 53. FUENTE: Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2009). N 147 Toyo Ito 2005–2009. El Croquis, 147, 136–157.
- FIGURA 54. FUENTE: Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2009). N 147 Toyo Ito 2005–2009. El Croquis, 147, 136–157.
- FIGURA 55. FUENTE: Márquez Cecilia, F., & Levene, R. (Eds.). (2009). N 147 Toyo Ito 2005–2009. El Croquis, 147, 136–157.
- FIGURA 56. FUENTE: <https://docplayer.es/amp/14299236-Nuevo-estadio-san-mames-bilbao-modernizando-un-viejo-mito.html>
- FIGURA 57. FUENTE: <https://docplayer.es/amp/14299236-Nuevo-estadio-san-mames-bilbao-modernizando-un-viejo-mito.html>
- FIGURA 58. FUENTE: <https://docplayer.es/amp/14299236-Nuevo-estadio-san-mames-bilbao-modernizando-un-viejo-mito.html>
- FIGURA 59. FUENTE: <https://docplayer.es/amp/14299236-Nuevo-estadio-san-mames-bilbao-modernizando-un-viejo-mito.html>
- FIGURA 60. FUENTE: <https://www.arquine.com/nuevo-estadio-de-burdeos/>
- FIGURA 61. FUENTE: <https://www.arquine.com/nuevo-estadio-de-burdeos/>
- FIGURA 62. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/obras/estadio-bordeaux-atlantique-proyecto>
- FIGURA 63. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/obras/estadio-bordeaux-atlantique-proyecto>
- FIGURA 64. FUENTE: <https://www.elcomercio.com/deportes/estadio-juegos-olimpicos-tokio-construccion.html>
- FIGURA 65. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/801590/estadio-olimpico-de-kengo-kuma-para-tokio-2020-comienza-su-construccion>
- FIGURA 66. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/801590/estadio-olimpico-de-kengo-kuma-para-tokio-2020-comienza-su-construccion>
- FIGURA 67. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/801590/estadio-olimpico-de-kengo-kuma-para-tokio-2020-comienza-su-construccion>

- FIGURA 68. FUENTE: <https://templosdelfutbol.com/portugal/braga-estadio-municipal/>
- FIGURA 69. FUENTE: <https://templosdelfutbol.com/portugal/braga-estadio-municipal/>
- FIGURA 70. FUENTE: <https://polipapers.upv.es/index.php/enblanco/article/view/6895>
- FIGURA 71. FUENTE: <https://polipapers.upv.es/index.php/enblanco/article/view/6895>
- FIGURA 72. FUENTE: <http://www.arquitecturapanamericana.com/estadio-maracana/>
- FIGURA 73. FUENTE: <http://www.arquitecturapanamericana.com/estadio-maracana/>
- FIGURA 74. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-314314/estadio-jornalista-mario-filho-nil-maracana-fernandes-arquitetos-associados>
- FIGURA 75. FUENTE: <http://www.arquitecturapanamericana.com/estadio-maracana/>
- FIGURA 76. FUENTE: [https://es.wikipedia.org/wiki/Estadio\\_Rey\\_Fahd](https://es.wikipedia.org/wiki/Estadio_Rey_Fahd)
- FIGURA 77. FUENTE: [https://es.wikipedia.org/wiki/Estadio\\_Rey\\_Fahd](https://es.wikipedia.org/wiki/Estadio_Rey_Fahd)
- FIGURA 78. FUENTE: <https://www.behance.net/gallery/22809933/King-Fahd-Stadium>
- FIGURA 79. FUENTE: [https://es.wikipedia.org/wiki/Estadio\\_Rey\\_Fahd](https://es.wikipedia.org/wiki/Estadio_Rey_Fahd)
- FIGURA 80. FUENTE: <https://templosdelfutbol.com/2015/11/12/commerzbank-arena-frankfurt/>
- FIGURA 81. FUENTE: <https://templosdelfutbol.com/2015/11/12/commerzbank-arena-frankfurt/>
- FIGURA 82. FUENTE: <https://www.bundesliga.com/es/bundesliga/noticias/commerzbank-arena-estadio-eintracht-frankfurt-francfort-alemania-5951>
- FIGURA 83. FUENTE: <https://www.bundesliga.com/es/bundesliga/noticias/commerzbank-arena-estadio-eintracht-frankfurt-francfort-alemania-5951>
- FIGURA 84. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/903566/estadio-olimpico-de-kiev-gmp-architekten>
- FIGURA 85. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/903566/estadio-olimpico-de-kiev-gmp-architekten>
- FIGURA 86. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/903566/estadio-olimpico-de-kiev-gmp-architekten>
- FIGURA 87. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/903566/estadio-olimpico-de-kiev-gmp-architekten>
- FIGURA 88. FUENTE: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacio->

nal-de-varsovia

- FIGURA 89. FUENTE: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-varsovia>
- FIGURA 90. FUENTE: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-varsovia>
- FIGURA 91. FUENTE: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-varsovia>
- FIGURA 92. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-351923/arena-fonte-nova-schulitz-architekten-plus-tetra-arquitectos>
- FIGURA 93. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-351923/arena-fonte-nova-schulitz-architekten-plus-tetra-arquitectos>
- FIGURA 94. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-351923/arena-fonte-nova-schulitz-architekten-plus-tetra-arquitectos>
- FIGURA 95. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-351923/arena-fonte-nova-schulitz-architekten-plus-tetra-arquitectos>
- FIGURA 96. FUENTE: <https://loestadiosdelmundo.wordpress.com/2013/06/23/estadio-slaski-55-211-espectadores-chorzow/>
- FIGURA 97. FUENTE: <https://loestadiosdelmundo.wordpress.com/2013/06/23/estadio-slaski-55-211-espectadores-chorzow/>
- FIGURA 98. FUENTE: <https://loestadiosdelmundo.wordpress.com/2013/06/23/estadio-slaski-55-211-espectadores-chorzow/>
- FIGURA 99. FUENTE: <https://loestadiosdelmundo.wordpress.com/2013/06/23/estadio-slaski-55-211-espectadores-chorzow/>
- FIGURA 100. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/wanda-metropolitano>
- FIGURA 101. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/wanda-metropolitano>
- FIGURA 102. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/wanda-metropolitano>
- FIGURA 103. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/wanda-metropolitano>
- FIGURA 104. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/954385/estadio-tottenham-hotspur-populous>

- FIGURA 105. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/954385/estadio-tottenham-hotspur-populous>
- FIGURA 106. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/954385/estadio-tottenham-hotspur-populous>
- FIGURA 107. FUENTE: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/954385/estadio-tottenham-hotspur-populous>
- FIGURA 108. FUENTE: <http://www.fadu.edu.uy/>
- FIGURA 109. FUENTE: <https://www.paredro.com/incomunal-diseno-del-estadio-nacional-de-beijing/>
- FIGURA 110. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/>
- FIGURA 111. FUENTE: <https://www.paredro.com/incomunal-diseno-del-estadio-nacional-de-beijing/>
- FIGURA 112. FUENTE: <https://arquitecturaviva.com/>
- FIGURA 113. FUENTE: <https://prezi.com/8vsirrnbi4a/estadio-olimpico-de-pekín/>
- FIGURA 114. FUENTE: <https://prezi.com/8vsirrnbi4a/estadio-olimpico-de-pekín/>
- FIGURA 115. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 116. FUENTE: QR enlazado a <https://www.youtube.com/watch?v=j6s8n25WVos>
- FIGURA 117. FUENTE: QR enlazado a modelo de elaboración propia. [https://drive.google.com/drive/u/0/folder-s/1kY7533mhN-8osyXcooi0SZnWZ\\_uuXBs0](https://drive.google.com/drive/u/0/folder-s/1kY7533mhN-8osyXcooi0SZnWZ_uuXBs0)
- FIGURA 118. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 119. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 120. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 121. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 122. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 123. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 124. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 125. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 126. FUENTE: Elaboración propia

- FIGURA 127. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 128. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 129. FUENTE: Engel, H. (2001). Sistemas de estructuras. Gustavo Gili.
- FIGURA 130. FUENTE: Engel, H. (2001). Sistemas de estructuras. Gustavo Gili.
- FIGURA 131. FUENTE: Engel, H. (2001). Sistemas de estructuras. Gustavo Gili.
- FIGURA 132. FUENTE: Engel, H. (2001). Sistemas de estructuras. Gustavo Gili.
- FIGURA 133. FUENTE: Julián Alonso Monje. Presentación para la asignatura de estructuras III. ETSAVA
- FIGURA 134. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 135. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 136. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 137. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 138. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 139. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 140. FUENTE: Julián Alonso Monje. Presentación para la asignatura de estructuras III. ETSAVA
- FIGURA 141. FUENTE: Julián Alonso Monje. Presentación para la asignatura de estructuras III. ETSAVA
- FIGURA 142. FUENTE: Julián Alonso Monje. Presentación para la asignatura de estructuras III. ETSAVA
- FIGURA 143. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 144. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 145. FUENTE: Julián Alonso Monje. Presentación para la asignatura de estructuras III. ETSAVA
- FIGURA 146. FUENTE: Julián Alonso Monje. Presentación para la asignatura de estructuras III. ETSAVA
- FIGURA 147. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 148. FUENTE: Elaboración propia

- FIGURA 149. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 150. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 151. FUENTE: Elaboración propia
- FIGURA 152. FUENTE: Elaboración propia
- DOCUMENTACIÓN GRÁFICA (pag. 59-68,74). FUENTE: Elaboración propia





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID



---

**Universidad de Valladolid**