



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Análisis constructivo de edificaciones deportivas

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: Ruiz Guillem, Sara

Tutor/a: Cubel Arjona, Francisco José

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

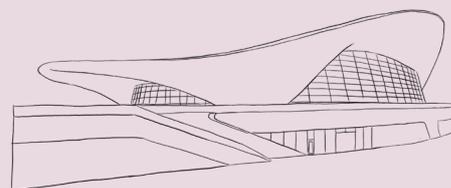
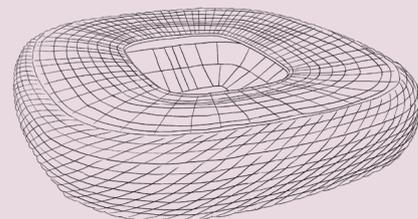
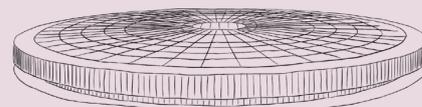
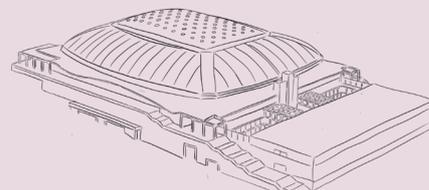
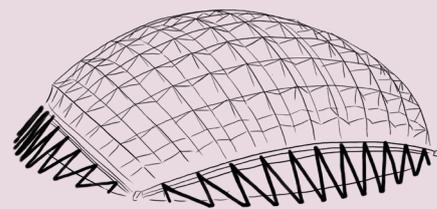
Análisis **constructivo** de edificaciones deportivas



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA



Autora: Sara Ruiz Guillem

Tutor: Francisco José Cubel Arjona

Trabajo Final de Grado

Curso 2021/2022

Índice

1. Objetivos y metodología	7
2. Inicios de la arquitectura deportiva	8
3. Presentación de casos	10
3.1 Palacio de los Deportes. Félix Candela	10
3.2 Palau Sant Jordi. Arata Isozaki	10
3.3 Velódromo olímpico. Dominique Perrault	11
3.4 Allianz Arena. Herzog & de Meuron	11
3.5 Centro Acuático Londres 2012. Zaha Hadid	12
4. Análisis arquitectónico	13
4.1 Datos previos del proyecto	13
4.2 Descripción gráfica	13
4.3 Imagen	19
5. Análisis constructivo	24
5.1 Estructura	24
5.2 Materialidad	30
5.3 Sostenibilidad / Eficiencia energética	34
5.4 Impacto económico	38
6. Detalles constructivos	42
7. Conclusiones	47
8. Bibliografía	49
Anexo. Índice imágenes	55
Anexo gráfico. Detalles	58

Resumen

El deporte ha sido siempre de gran importancia en la sociedad y en los últimos años sus construcciones están teniendo mucho más interés que a lo que estábamos acostumbradas. Hoy en día, las edificaciones deportivas compiten por ser las más notables del mundo, lo que nos lleva a poder ver construcciones de lo más ingeniosas y llamativas. Pero no siempre vale una simple construcción, ya que ahora mismo también es importante que estas nuevas edificaciones permitan la posibilidad de adaptación a más usos del que estaban pensados y que todo lo que conlleva su construcción tenga cierto respeto ambiental.

El TFG consiste en el análisis de diversas edificaciones deportivas para poder conocer la evolución que han tenido los diferentes sistemas constructivos. Para conseguirlo se analizarán pabellones deportivos y estadios, haciendo especial hincapié en la construcción de su envolvente. Se hará un análisis constructivo teniendo en cuenta diferentes variables y se aportarán detalles constructivos de fachadas y/o cubiertas. El objetivo de dicho trabajo es poder extraer conclusiones sobre cómo se ha afrontado la construcción de algunos inmuebles de grandes dimensiones, si con ella se han visto envueltos otros aspectos que puedan influenciar a la sociedad, a la economía o al medioambiente y cuáles han sido los cambios, en los anteriores casos, dependiendo de la época de construcción.

Palabras clave

Construcción, cubierta, deporte, detalle constructivo, fachada

Resum

L'esport ha sigut sempre de gran importància en la societat i en els últims anys les seues construccions estan tenint molt més interès que al que estàvem acostumades. Hui dia, les edificacions esportives competeixen per ser les més notables del món, la qual cosa ens porta a poder veure construccions d'allò més enginyoses i cridaneres. Però no sempre val una simple construcció, ja que ara mateix també és important que aquestes noves edificacions permeten la possibilitat d'adaptació a més usos del que estaven pensats i que tot el que comporta la seua construcció tinga cert respecte ambiental.

El TFG consisteix en l'anàlisi de diverses edificacions esportives per a poder conèixer l'evolució que han tingut els diferents sistemes constructius. Per a aconseguir-ho s'analitzaran pavellons esportius i estadis, posant l'accent principalment en la construcció del seu envoltant. Es farà una anàlisi constructiva tenint en compte diferents variables i s'aportaran detalls constructius de façanes i/o cobertes.

L'objectiu d'aquest treball és poder extraure conclusions sobre com s'ha afrontat la construcció d'alguns immobles de grans dimensions, si amb ella s'han vist embotlicats altres aspectes que puguen influenciar a la societat, a l'economia o al medi ambient i quins han sigut els canvis, en els anteriors casos, depenent de l'època de construcció.

Paraules clau

Construcció, coberta, esport, detall constructiu, façana

Abstract

Sport has always been of great importance in society and in recent years its constructions are having much more interest than what we were used to. Today, sports buildings compete to be the most remarkable in the world, which leads us to be able to see the most ingenious and striking constructions. But a simple construction is not always enough, since nowadays it is also important that these new buildings allow the possibility of adapting to more uses than they were intended and that everything involved in their construction has a certain environmental respect.

The TFG consists of the analysis of different sports buildings in order to know the evolution of the different construction systems. To achieve this, sports pavilions and stadiums will be analyzed, with special emphasis on the construction of their envelope. A constructive analysis will be made taking into account different variables and construction details of facades and/or roofs will be provided.

The aim of this work is to be able to draw conclusions on how the construction of some large buildings has been faced, if other aspects that may influence society, the economy or the environment have been involved and what have been the changes, in the previous cases, depending on the time of construction.

Keywords

Construction, roof, sports, construction detail, façade

“La arquitectura es una cuestión de equilibrios entre condicionantes”

Arata Isozaki

1. Objetivos y metodología

En estos últimos años las instalaciones deportivas han sido infraestructuras significantes para las ciudades. Esto principalmente se da porque, aunque su construcción supone una gran inversión, las ciudades que las albergan consiguen beneficios a largo plazo e incluso en muchos casos se revalora el barrio o zona de la ciudad. Estas grandes construcciones deportivas generan impactos sobre el territorio en que se construyen, pero el punto importante es que estos impactos son diferentes dependiendo del tipo de construcción, la ejecución y la modalidad deportiva que se practica.

El objetivo del trabajo es estudiar cinco casos concretos de edificaciones deportivas en las que su construcción ha generado interés, bien sea por el método constructivo que se utiliza en el edificio o por como la construcción ha sido significativa en la implantación. El estudio de los casos se realizará con una recogida de datos mediante un estudio arquitectónico y un estudio constructivo con diferentes variables.

En primer lugar, se presentarán los cinco casos de estudio con una breve introducción sobre ellos y destacando los aspectos más importantes que me han llevado a seleccionarlos para el estudio.

Posteriormente, se realizará un estudio arquitectónico que se dividirá en dos partes. Primero se hará una tabla con los aspectos fundamentales de cada proyecto como son el año de construcción o la localización entre otros. Y para terminar el punto se completará la información con una descripción gráfica de los casos, que se hará mediante planos e imágenes de interés.

El trabajo contará también con un estudio constructivo. Aquí se tendrán en cuenta aspectos más puntuales como el tipo de estructura, los materiales donde diferenciará entre los estructurales y los que intervienen en el diseño de la piel/envolvente del edificio, la sostenibilidad y eficiencia energética del edificio tanto en su construcción como a un largo plazo, el impacto económico a nivel urbano y social y la imagen, donde se tendrá en cuenta como la implantación y construcción conviven con el entorno y que tendrá una relación directa con la piel/envolvente. Toda la información recogida en estos puntos será de fuentes documentales de calidad que se recogerán más tarde en la bibliografía.

Para terminar la investigación, estudiaremos los detalles constructivos de más interés de los diferentes casos y de esta manera ver las soluciones que se han adoptado para realizar y acabar estas edificaciones de grandes luces. Finalmente, el trabajo se completará con unas conclusiones acerca de lo que ha supuesto toda la investigación y hablaremos de los puntos más importantes y destacables del estudio.

2. Inicios de la arquitectura deportiva

Para poder hablar de los inicios de la arquitectura deportiva nos debemos trasladar a la Antigua Grecia, principalmente porque fue esta civilización una de las primeras fuentes que albergó construcciones dedicadas exclusivamente al deporte.

Además, como menciona Ulrich Sinn en el libro *Das antike Olympia. Götter, Spiel und Kunst*, hubo muchos autores importantes que realizaron escritos sobre el deporte que se llevó a cabo allí.

Uno de ellos fue Pausanias, un historiador griego del siglo 110 d.C., que escribió sobre la ciudad de Olimpia y sus edificios.

También cuenta Sinn que las instalaciones deportivas

de la ciudad eran el estadio, el hipódromo, el gimnasio y la palestra. Aunque del hipódromo no se conserva ningún resto arqueológico, pero sí que hay datos sobre el estadio que era una explanada rectangular de arena con 192,25 metros de longitud. Fue entonces en el año 776 a.C. cuando el rey de Elis decide celebrar los primeros Juegos Olímpicos (JJOO).

Siguiendo los pasos de la Antigua Grecia no podemos olvidarnos de la civilización romana. Donde se construyó el Coliseo y aunque su función principal no era el deporte como tal, si se consideraba un estadio para peleas entre gladiadores y fieras, conforme narra Alfonso Mañas en el libro *Gladiadores: El gran espectáculo de Roma*. De hecho, Mañas en el libro defiende los puntos necesarios que sirven para entender estas luchas como deporte.

Además, con el paso del tiempo estas actividades deportivas fueron en aumento y eso dio paso a otra clara evolución en la arquitectura deportiva que tuvo lugar en la época del Renacimiento y la Edad Media. Fue en estos momentos cuando se realizaban actividades deportivas al aire libre como eran las justas y los torneos. Su ejecución era en las calles o en las plazas, por lo que no precisaban de edificaciones propias, pero sí que se disponían carpas o gradas provisionales, conocido ahora como arquitectura efímera, para el público. Es más, para poder llevar a cabo estos eventos, los recintos que se construían recibían el nombre de palenque. Incluso en estos momentos, se tenían muy en cuenta las condiciones ligadas a los torneos, como eran el orden económico, social y cultural, que influían en la realización de dichas actividades deportivas (Salvador, 2004).

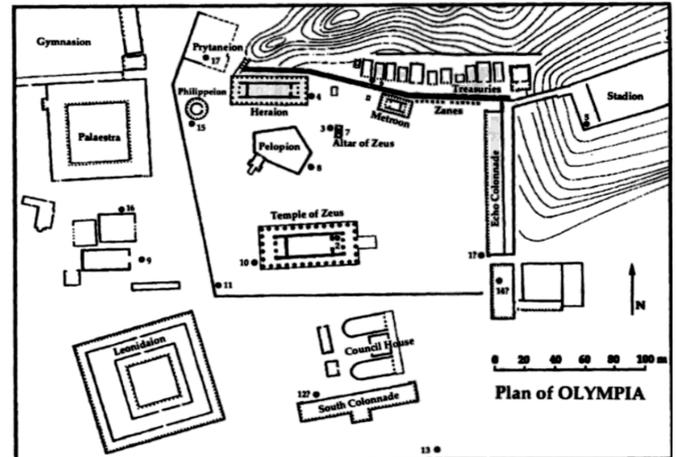


Ilustración 1: Plano de Olimpia según las descripciones de Pausanias.
Fuente: Libro Pausanias: *Travel and Memory in Roman Greece*.



Ilustración 2: Vista aérea Coliseo Romano (1776).
Fuente: G.B. Piranesi.

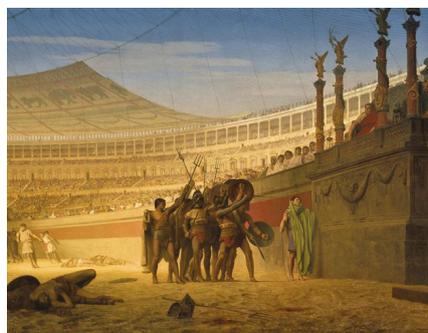


Ilustración 3: Representación de las luchas en el Coliseo.
Fuente: Libro Gladiadores: *El gran espectáculo de Roma*.

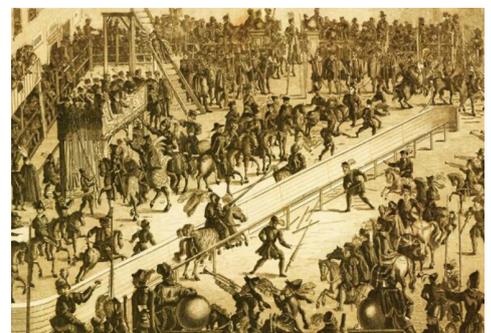


Ilustración 4: Antigua imagen de un torneo medieval (siglo XVI).
Fuente: Alamy. Publicado en *Systematischer Bilder-Atlas*.

A partir del siglo XVI se empezaron a ver construcciones en los palacios reales que servían para competiciones como la esgrima o el tiro con arco, pero, es cierto que, solo se trataba de salones utilizados para esos medios y no de edificaciones exclusivas para ese fin.

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX empezaron a ser tendencia las construcciones de mayor envergadura. Una de las razones principales fue la vuelta de los JJOO de Atenas en 1896, pero también porque se empezaron a ver las primeras competiciones a nivel internacional de distintas disciplinas deportivas.

A raíz de esto, tanto Estados Unidos como Europa, realizaron las primeras construcciones de gran envergadura como fue el estadio de Los Ángeles en 1927, conocido como Los Angeles Memorial Coliseum (Epting, 2002), o el estadio de Berlín en 1936, hoy en día rehabilitado (Galiano, 1985). Además, se veía que eran claros ejemplos del modelo de la arquitectura clásica, pero alejándose de sus criterios principales.



Ilustración 5: Los Angeles Memorial Coliseum como imagen principal en los JJOO de 1932.
Fuente: Libro *Los Angeles Memorial Coliseum*.



Ilustración 6: Estadio olímpico de Berlín durante los JJOO del 36.
Fuente: German Federal Archives.

No fue hasta finales del siglo XX, cuando empezamos a ver las obras más desarrolladas tecnológicamente, sobre todo en piscinas o gimnasios. Entonces se empezaron a utilizar cubiertas de acero con planchas transparentes que permitían el paso de la luz pero que también servían como protección contra el viento y la lluvia.

Una vez entrado el siglo XXI, el deporte ha empezado a tener una gran importancia y esto nos ha dado lugar a que las infraestructuras que se utilizan para este fin estén siendo muy relevantes en la sociedad. Gracias a esto, todos los proyectos actuales que se están llevando a cabo están dando pie a edificios de muy altas categorías en los que se están empleando a fondo todo lo que las nuevas tecnologías permiten, y con ello están consiguiendo que cada recinto que se lleva a cabo sea sorprendente e innovador. Otro punto para destacar es que en la actualidad también se está observando una clara la evolución en el confort en la estancia que se ofrece al público y en las medidas de ahorro energético que estas instalaciones puedan utilizar para hacer estos espacios más sostenibles.

3. Presentación de casos

3.1 Palacio de los Deportes. Félix Candela.

El Palacio de los Deportes de México es uno de los recintos arquitectónicos más importantes de la segunda mitad del siglo XX y hoy en día se mantiene como foro multiusos donde se realizan eventos de muchas clases. En el momento de su construcción se encontraba en esplendor la arquitectura racionalista y, además, se atribuía un alto nivel en las ciencias y las artes al diseño y a la relación entre funcionalidad y estética (López, 2020).



Ilustración 7: Palacio de los Deportes.
Fuente: Plataforma arquitectura.

Cabe destacar que el arquitecto, Félix Candela, era un experto en cubiertas y anteriormente había estudiado las ventajas y posibilidades constructivas que tenía el paraboloides hiperbólico. Con esta solución conseguía resultados tanto funcionales como estéticos para los que necesitaba apoyos mínimos y con los que cubría grandes superficies (López, 2020).

En este proyecto, donde vemos la influencia del arquitecto Pier Luigi Nervi, utiliza una gran cúpula geodésica de cobre que se levanta sobre una planta circular sobre pilares de hormigón tanto interiores como exterior en forma de V. La cúpula está compuesta con paraboloides hiperbólicos de aluminio tubular y cuenta con una subestructura de madera que se sujeta en arcos de acero (Revista arquitectura, 1968).

El principal motivo que me lleva a estudiar el caso es su cubierta, creo que se trata de un diseño diferente en la época y en el que se utilizan materiales distintos a los habituales. También me parece interesante el hecho de que las fachadas del edificio pasen a un segundo plano y se encuentran situadas detrás de los contrafuertes de hormigón que dan el acceso al recinto.

3.2 Palau Sant Jordi. Arata Isozaki.

Como podemos leer en el artículo A system called "architecture", el arquitecto Arata Isozaki busca con su arquitectura la fusión de elementos orientales y occidentales y hace un uso habitual de medios técnicos y tecnológicos que añaden a sus construcciones un grado de modernidad destacado.

Además, para el proyecto quisieron hacer una interpretación de las olas del mar mediterráneo que está tras la montaña de Montjuic y que es un símbolo de la ciudad Barcelona.



Ilustración 8: Palau Sant Jordi.
Fuente: Viquipèdia.

Para el Palau utilizó un faldón perimetral de chapa con formas alveoladas que salva apoyándolo sobre vigas de acero alveoladas colocadas con diferentes pendientes.

La estructura es uno de los puntos fuertes, pero también fue motivo de crítica por muchos profesionales y parte de la población. Esto se debió a las dudas que surgieron sobre los resultados que daría como envolvente estanca al agua.

La gran luz del espacio central del complejo se cubre con una malla espacial de tubos de acero con articulaciones y la cubierta fue montada en el suelo y levantada mediante el sistema "Pantadome" (Alonso, 2011).

A la hora de elegir este caso me ha llamado la atención el sistema que se utiliza para levantar la cubierta desde el suelo, sobre todo teniendo en cuenta que la solución final a la que lleva es propia de la arquitectura oriental y que en su momento fue motivo de críticas e incertidumbre por cómo se iba a llevar a cabo y cuál sería el resultado final.

3.3 Velódromo olímpico. Dominique Perrault.

El arquitecto francés Dominique Perrault propuso un experimento arriesgado. Quería unir la antigua construcción existente con la nueva imagen arquitectónica de la ciudad, y a su vez conseguir que la piscina y el velódromo desaparecieran de la vista. De esta manera, su intención fue darle un especial protagonismo a la plantación de manzanos que rodeaba ambas edificaciones.



Ilustración 9: Velódromo olímpico.
Fuente: Track Pisté.

El caso de estudio es el Velódromo, que está enterrado a 17 metros bajo suelo y a primera vista solo se ve el brillante disco metálico a dos aguas que forma la cubierta. La estructura es de acero radial y la disposición de las vigas recuerda a una rueda de bicicleta que sin necesidad de disponer apoyos intermedios crea una gran superficie libre y apta para cualquier deporte.

Los materiales que predominan en la construcción son el metal y el vidrio. Y en la cubierta se dispone tela metálica de acero inoxidable que crea una superficie que brilla al sol y que parecen extensiones de agua en el centro del parque (Galiano L. F., 2008).

El motivo principal que me lleva a elegir este proyecto es la implantación que tiene en el contexto urbano. La idea principal para el desarrollo de este proyecto fue conseguir que los elementos construidos pasaran desapercibidos a la vista y con la solución se minimiza el impacto ambiental del proyecto, además de que se crea un gran espacio verde para el vecindario.

3.4 Allianz Arena. Herzog & de Meuron.

Desde su inauguración en 2005 el Allianz Arena no solo se ha convertido en un hito arquitectónico, sino también en un símbolo para la ciudad de Múnich.

El estadio es un claro ejemplo de arquitectura contemporánea y fue entonces pionero porque su envolvente es una piel exterior que recoge a la infraestructura y se compone a partir de paneles romboidales. Además, esta envolvente, que es blanca durante el día, cuenta con iluminación al anochecer gracias a la fachada de paneles metálicos de Etileno-Tetra Fluoro Etileno (Orts, 2022).



Ilustración 10: Allianz Arena.
Fuente: Bayern Munich.

El despacho de arquitectos describe el proyecto a través de tres puntos centrales, que consideran que son los que definen el concepto urbano y arquitectónico del estadio.

El primero de ellos es la presencia del estadio como un cuerpo iluminado que puede cambiar su apariencia y que su situación es un terreno abierto, seguido de la llegada al mismo, que se realiza a través de una zona ajardinada y finalmente su interior, que no solo se trata del campo de fútbol, sino que también alberga comercios, restauración y aparcamientos (Allianz Arena, 2006).

Esta elección es debido principalmente a su destacada envolvente. Teniendo en cuenta también como su diseño fue entonces una evolución tecnológica y que le llevó a ser considerado uno de los estadios más particulares del mundo.

3.5 Centro Acuático Londres 2012. Zaha Hadid.

El estudio *Zaha Hadid Architects* cuenta que el diseño del Centro Acuático está inspirado en los remolinos y las geometrías complejas que produce el agua en movimiento. El conjunto lo forma una superposición de varios estratos: la piscina olímpica de competición y la de salto de trampolín, un podio y la gran cubierta alabeada (Aquatics Centre, 2011).



Ilustración 11: Centro Acuático Londres 2012.
Fuente: Diario AS.

La cubierta se genera a partir de una estructura en un arco parabólico que la dota de características singulares y en el que esa ondulación se utiliza para diferenciar los distintos volúmenes de competición. Esta se proyecta más allá de la envoltura y se extiende hacia las áreas externas creando la entrada principal de acceso al edificio. Estructuralmente, la cubierta se fija al suelo en tres puntos y el resto de la envolvente se cierra con vidrio. (AA.VV., 2012)

La elección de este caso no es únicamente por aspectos arquitectónicos, ya que uno de los motivos principales es que la arquitecta es mujer. Es frustrante ver como todos los edificios destacados son obras de hombres y creo que en este caso la implantación, el diseño pero sobre todo la construcción de la cubierta está a la altura de los casos anteriores.

4. Análisis arquitectónico

4.1 Datos previos del proyecto.

Para resumir los datos previos de cada uno de los edificios se ha hecho una tabla. Las variables elegidas han sido el autor o autora de la obra, su año de construcción, la localización y la superficie.

Como podremos observar, en la selección de los casos, se ha intentado que los años de construcción sean más o menos correlativos. De manera que a la vez que se irá haciendo el estudio constructivo de cada uno de los proyectos nos iremos dando cuenta posteriormente a poder sacar conclusiones sobre cómo han ido evolucionando las estructuras, la construcción, pero especialmente la sostenibilidad.

Proyecto	Arquitecto/a	Año	Localización	Superficie
Palacio de los Deportes	Félix Candela	1968	Ciudad de México, México	27.171 m ²
Palau Sant Jordi	Arata Isozaki	1990	Barcelona, España	17.640 m ²
Velódromo olímpico	Dominique Perrault	1999	Berlín, Alemania	29.800 m ²
Allianz Arena	Herzog & de Meuron	2005	Múnich, Alemania	66.500 m ²
Centro acuático	Zaha Hadid	2011	Londres, Reino Unido	15.950 m ²

4.2 Descripción gráfica.

En la descripción gráfica de los casos de estudio he seleccionado los planos generales de más interés de cada uno de los edificios, así como las vistas más simbólicas de estos.

Con esto se busca crear una visión más cercana y próxima a cada edificio. De esta manera nos es posible verlo junto con su entorno y nos da pistas sobre la imagen, y también sirve como aproximación hacia una visión más técnica, sobre todo respecto a la materialidad y la estructura que analizaremos posteriormente.

Palacio de los Deportes. Félix Candela.



Ilustración 12: Vista de la cubierta del Palacio de los Deportes.
Fuente: Álex González (@alecs_gtz).

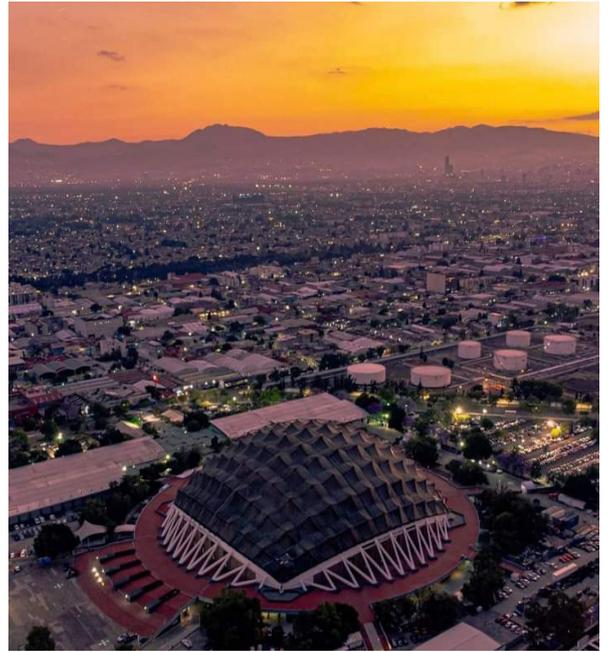
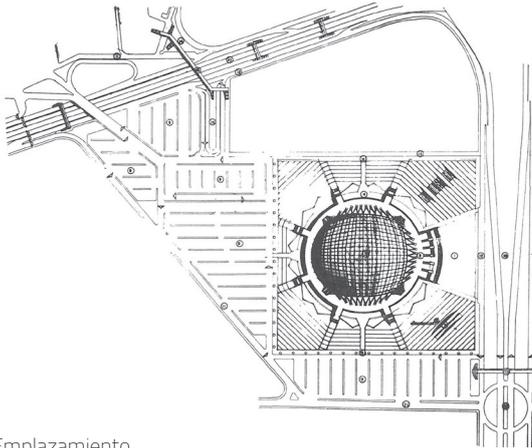
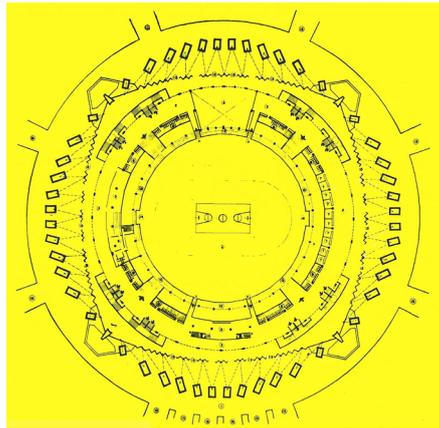


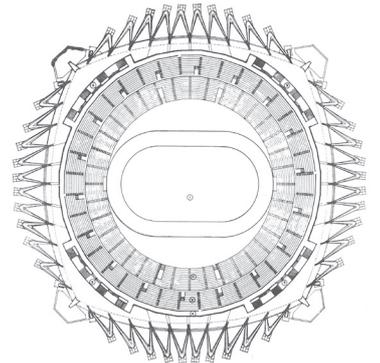
Ilustración 13: Vista aérea del Palacio de los Deportes.
Fuente: Alexis Parra (@alex_parra_dron).



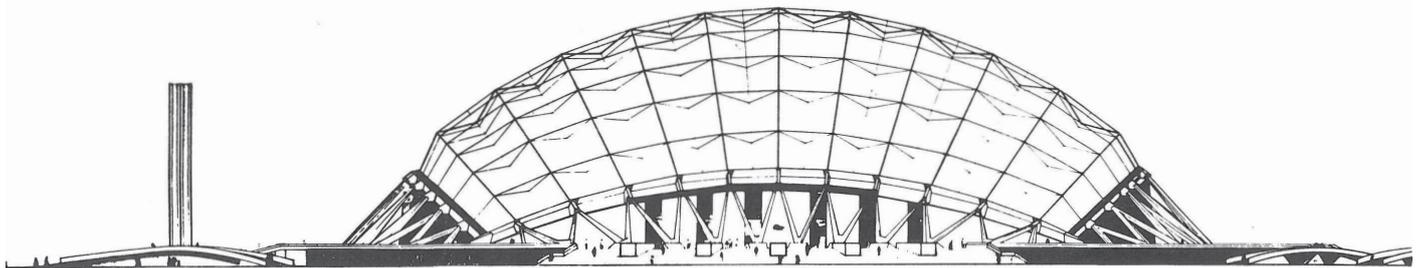
Emplazamiento
Fuente: Informes de la Construcción. Vol. 21.



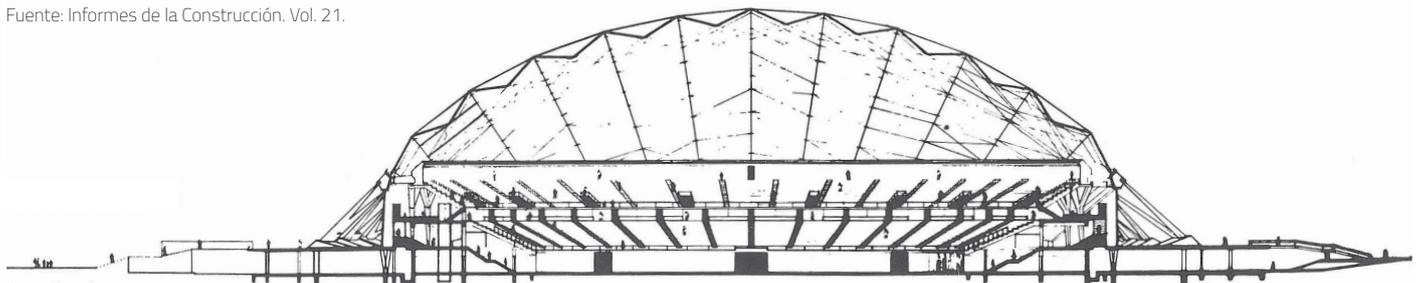
Planta acceso
Fuente: Informes de la Construcción. Vol. 21.



Planta tribunas
Fuente: Informes de la Construcción. Vol. 21.



Alzado
Fuente: Informes de la Construcción. Vol. 21.



Sección
Fuente: Informes de la Construcción. Vol. 21.

Palau Sant Jordi. Arata Isozaki.



Ilustración 14: Vista aérea del Palau Sant Jordi.
Fuente: Ajuntament de Barcelona.

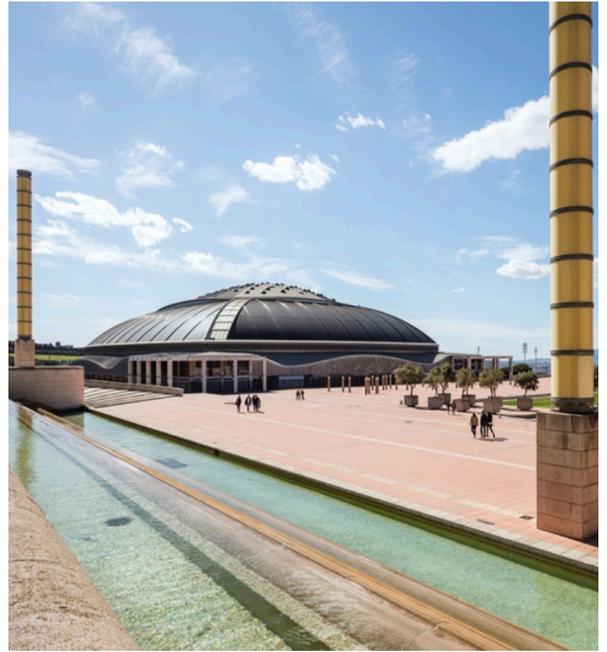
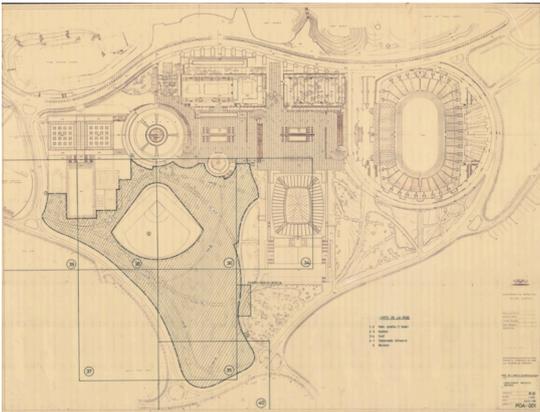
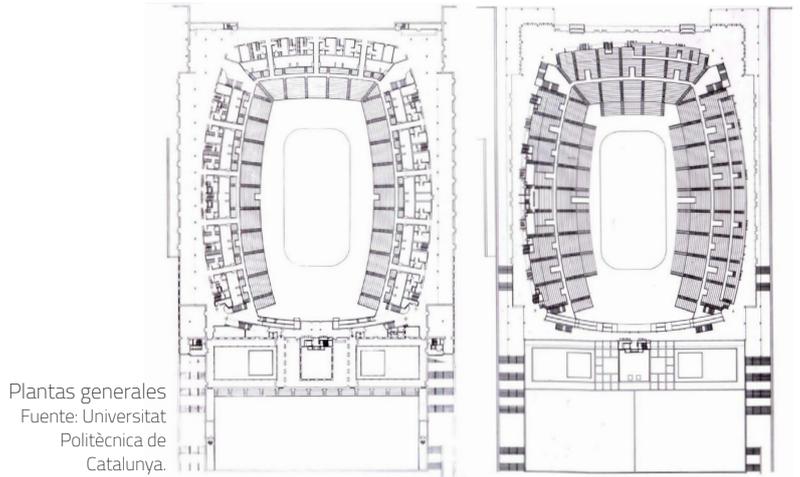


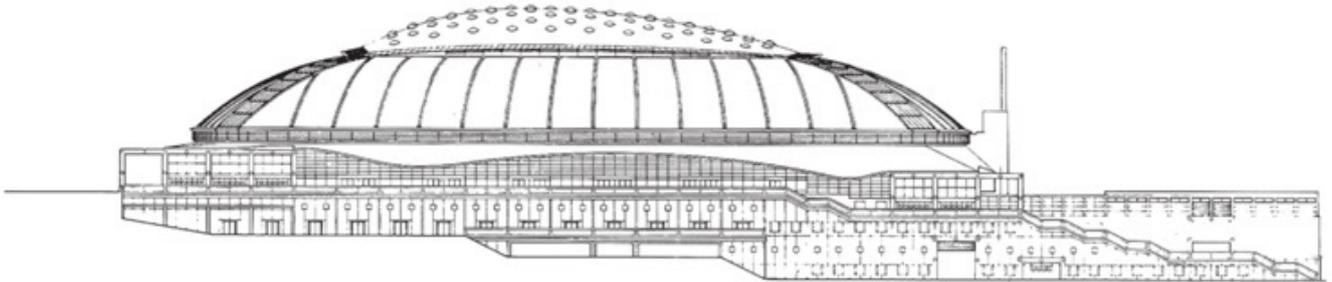
Ilustración 15: Vista exterior del alzado del Palau Sant Jordi.
Fuente: Lluís Casals (VEGAP).



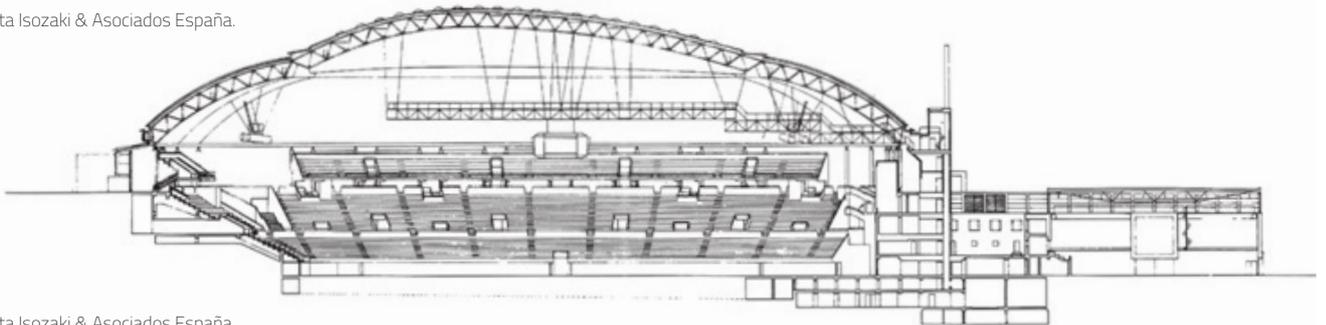
Emplazamiento
Fuente: Correa Milà Arquitectes. Arxiu històric del COAC.



Plantas generales
Fuente: Universitat
Politécnica de
Catalunya.



Alzado
Fuente: Arata Isozaki & Asociados España.



Sección
Fuente: Arata Isozaki & Asociados España.

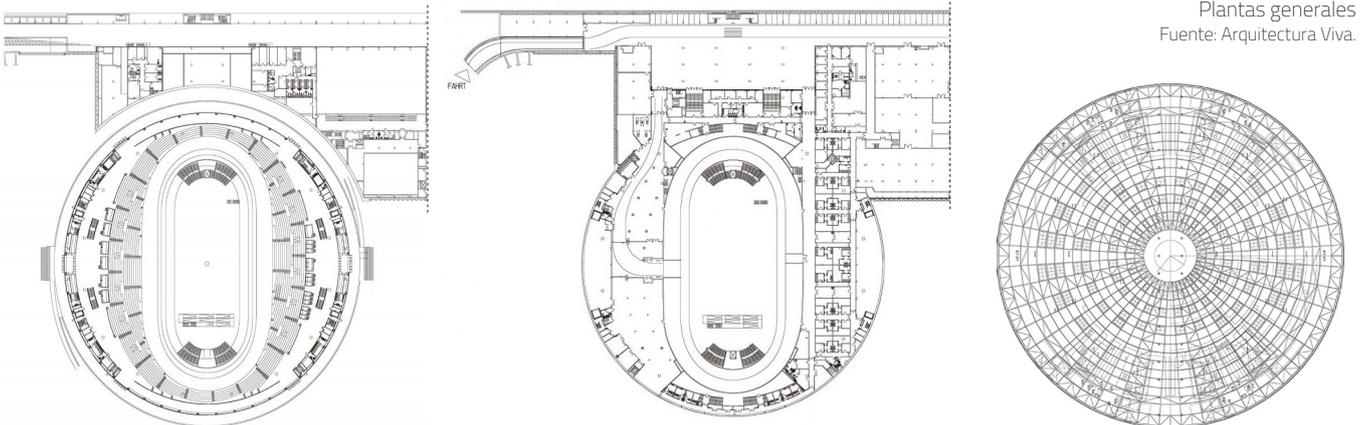
Velódromo olímpico. Dominique Perrault.



Ilustración 16: Vista interior del Velodrom.
Fuente: Arquitectura Viva.



Ilustración 17: Vista aérea del Velodrom.
Fuente: Arquitectura Viva.



Plantas generales
Fuente: Arquitectura Viva.

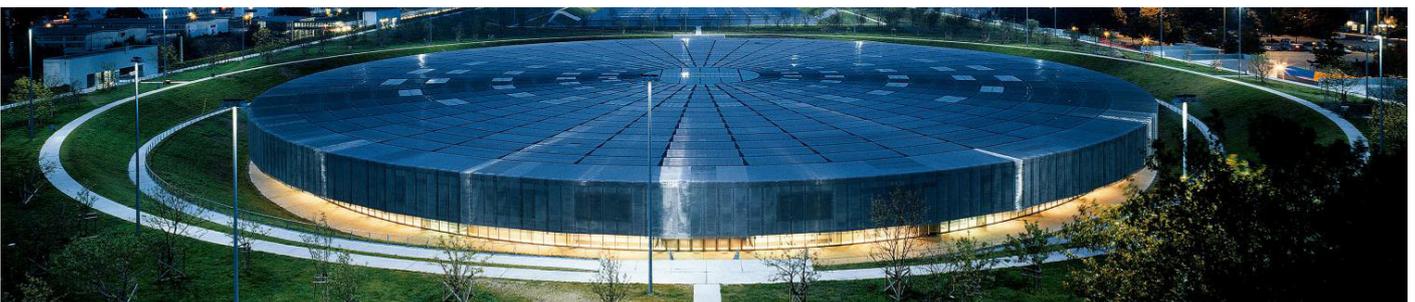
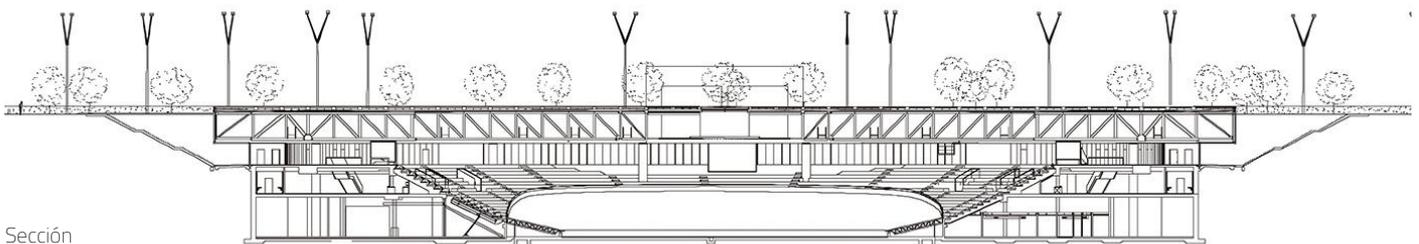


Ilustración 18: Vista exterior del Velodrom.
Fuente: Arquitectura Viva.



Sección
Fuente: Arquitectura Viva.

Allianz Arena. Herzog & de Meuron.



Ilustración 19: Vista aérea del Allianz Arena.
Fuente: Arquitectura Viva.

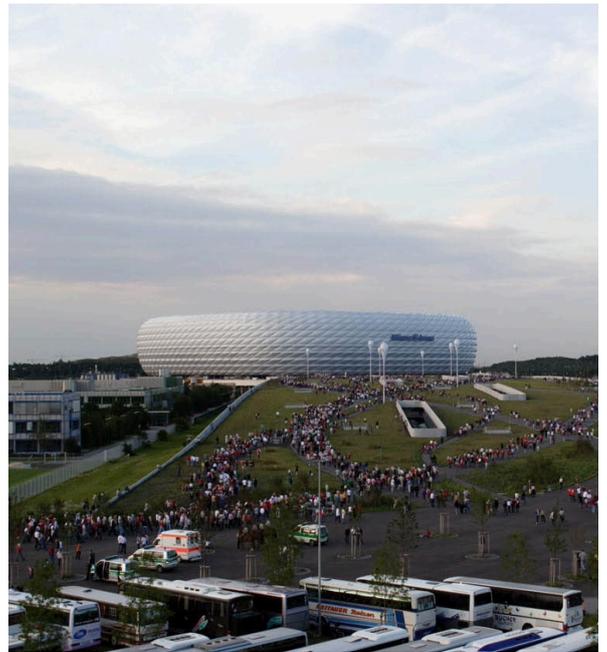
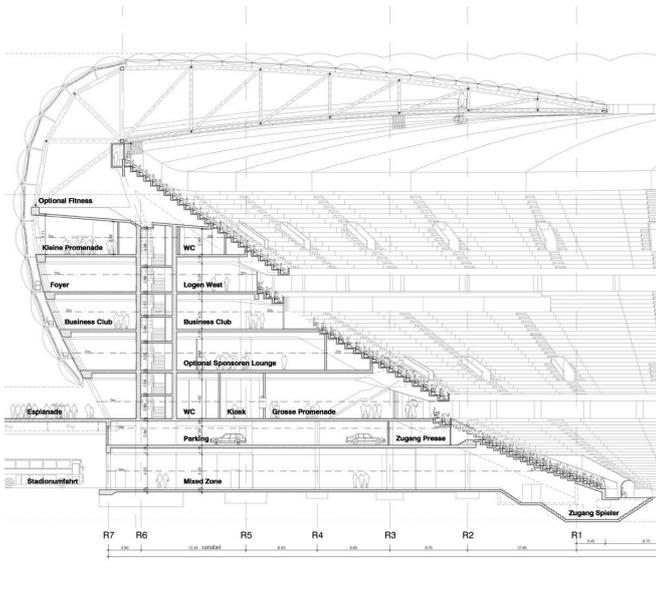


Ilustración 20: Vista general del Allianz Arena.
Fuente: Arquitectura Viva.



Sección
Fuente: WikiArquitectura.

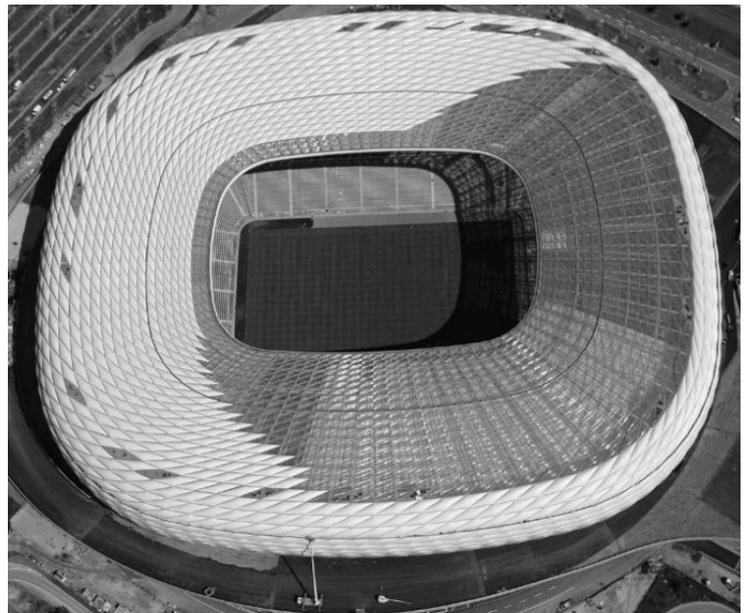


Ilustración 21: Vista de la cubierta del Allianz Arena.
Fuente: Libro *Stadium Worlds: Football, Space and the Built Environment*.

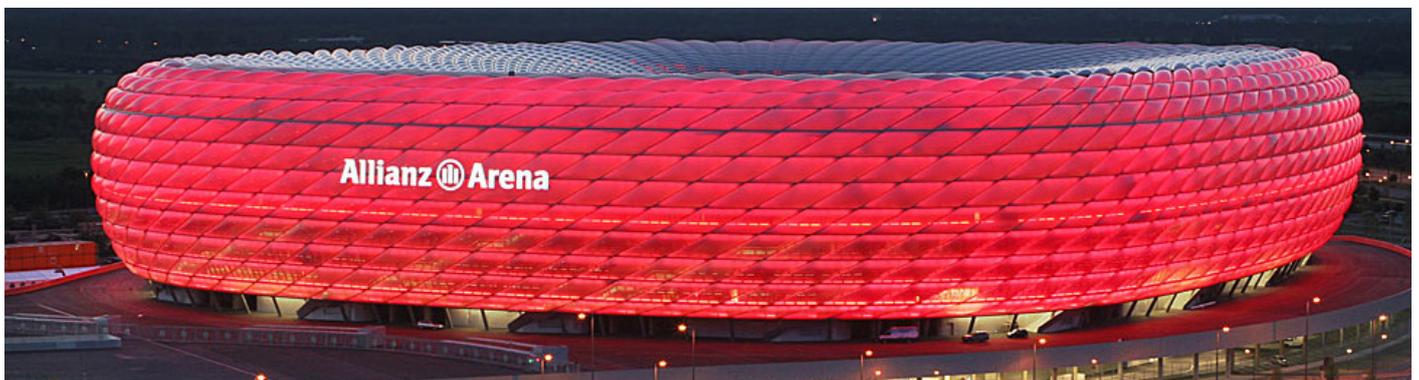


Ilustración 21: Vista exterior del alzado del Allianz Arena iluminado.
Fuente: Wolf.

Centro acuático Londres 2012. Zaha Hadid.



Ilustración 22: Vista exterior de noche del Centro acuático.
Fuente: Zaha Hadid Architects.

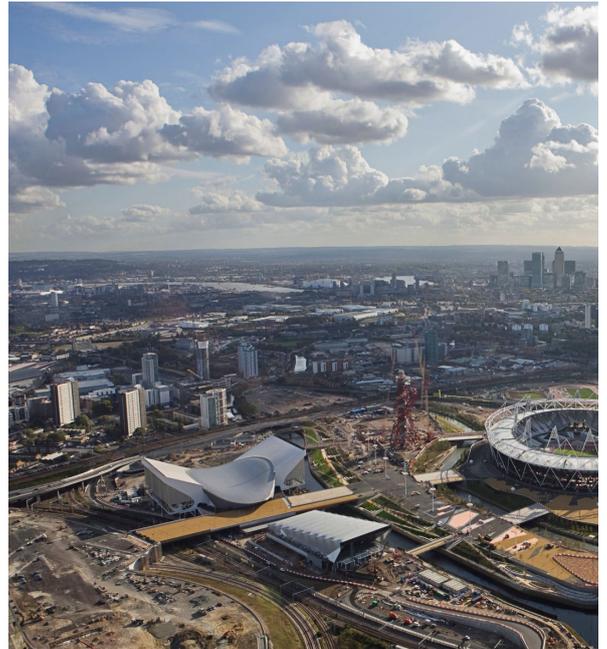
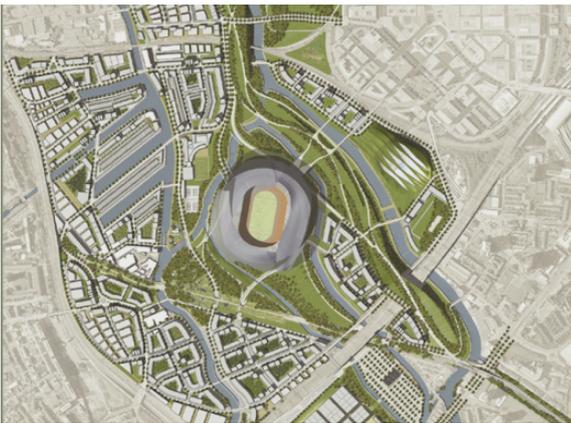
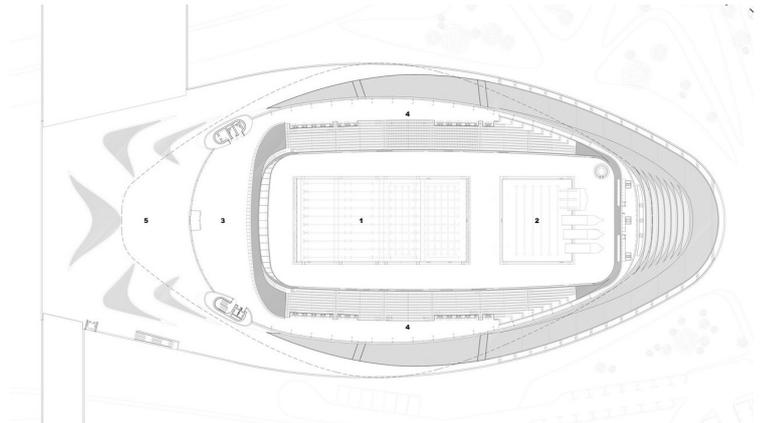


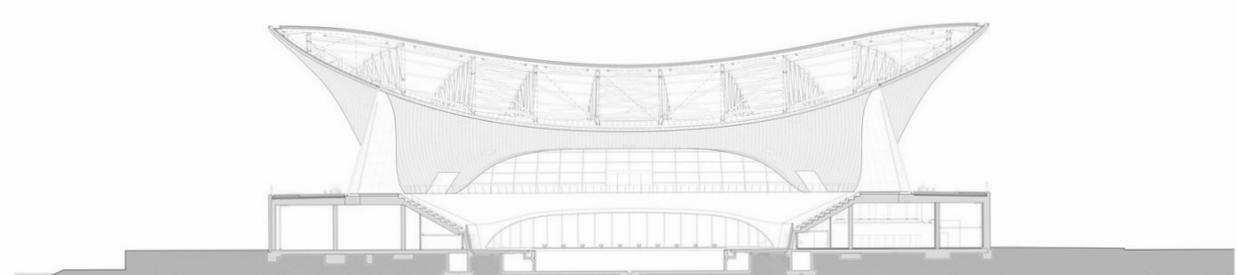
Ilustración 23: Vista aérea del Centro acuático.
Fuente: Gettyimages.



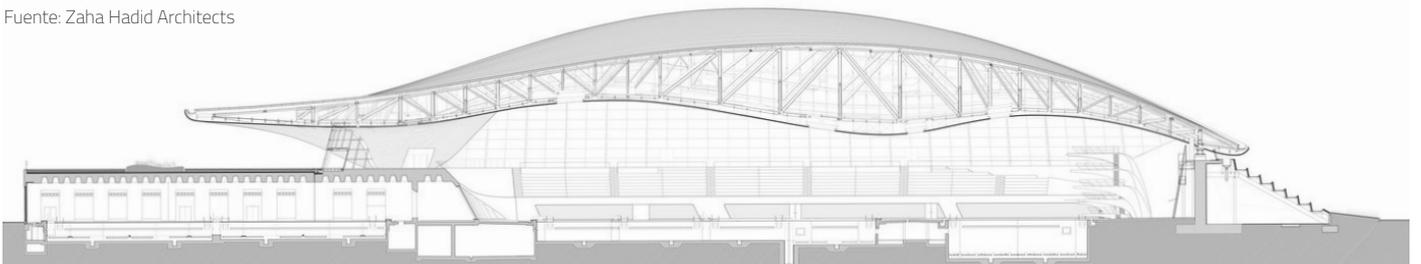
Emplazamiento
Fuente: At the helm of the public realm: *An urban design blog*



Planta zonas
Fuente: Zaha Hadid Architects



Sección transversal
Fuente: Zaha Hadid Architects



Sección longitudinal
Fuente: Zaha Hadid Architects

4.3 Imagen

En el análisis de la imagen se va a tener en cuenta cómo el inmueble se ha insertado en el emplazamiento. Es decir, si a la hora de realizar el proyecto se tuvieron en cuenta las condiciones de la situación y cómo se pretendía actuar en ella. Veremos cuáles eran las principales intenciones en cada uno de los casos y cómo se resolvieron.

Palacio de los Deportes. Félix Candela.

El Palacio de los Deportes está situado en la Magdalena Mixhuca, una zona urbana que se encuentra a escasos kilómetros del Aeropuerto siendo así un lugar ideal para la llegada de los atletas y donde está situada la ciudad deportiva (Carranza, 2010).

La parte interesante en la construcción de este complejo es que la Magdalena Mixhuca, era un antiguo pueblo nahua de la Ciudad de México, y hoy en día mantiene su identidad como comunidad, aunque les han quitado su territorio y ha dejado de ser una comunidad agricultora por el acelerado crecimiento urbano.



Ilustración 24: Ciudad deportiva Magdalena Mixhuca (CDMX).
Fuente: Mapas (Apple).

Toda la información que hay acerca de este poblado nos lleva hasta la peregrinación azteca, que según los datos de los investigadores se inició en 1111. Se sabe que esta región vivía de las posibilidades de la pesca y la caza, y era muy popular el cultivo en las chinampas¹. Sus 'calles' eran canales y el transporte por la zona se hacía con canoas por lo que era muy común la presencia de embarcaderos y de albergues, que en los alrededores de la Mixhuca se conservaron hasta mitad del siglo XX (Carranza, 2010).

En 1856 por la Ley de Desamortización de Bienes Civiles y Religiosos, que el régimen de propiedad comunal desapareció y empezó la propiedad privada cuando los habitantes de la Magdalena Mixhuca perdieron gran parte de sus tierras. A raíz de esto los canales fueron desapareciendo como vías de comunicación y dieron paso al sistema de desagüe que requería el crecimiento de la ciudad (Carranza, 2010).

Finalmente, para llegar a los que actualmente conocemos debemos saber que se proclamaron dos decretos presidenciales. El primero de ellos creó una zona urbana ejidal² y el segundo expropió al ejido 235 hectáreas, exceptuando la zona urbana ejidal, donde se proyectó la nueva Magdalena Mixhuca. Esta decisión llevó a transformar radicalmente la zona, ya que de ser totalmente rural pasó a ser urbana. Y fue así como se cambió la estructura socioeconómica del pueblo, que era uno de los más prósperos poblados chinamperos que había en esa zona de México (Carranza, 2010).

¹ La chinampa es básicamente una balsa de gran tamaño con un suelo que flota en el lago, sobre la que se cultivan numerosas hortalizas, flores y demás cultivos. Es un sistema de agricultura en humedales o zonas pantanosas (Chinampas. Unos huertos muy especiales, s.f.).

² La zona urbana ejidal es la superficie que material y jurídicamente se segrega de un ejido para destinarla al caserío, calles, plazas, edificios públicos, casa de comunidad, parques, mercados y demás servicios requeridos para el desarrollo urbano y social de un poblado (Real Academia Española, s.f.).

Parte del conjunto deportivo fue construido por el Gobierno federal y se terminó en 1964 y tiene una gran cantidad de instalaciones, entre ellas el famoso Autódromo Hermanos Rodríguez. Mas tarde en 1968 se incorporaron al conjunto nuevos inmuebles, siendo uno de ellos el Palacio de los Deportes. Por lo que la imagen de la zona ya había sido pensada con anterioridad y lo que buscaban era completar sus instalaciones para conseguir un conjunto de grandes características (Candela Outeriño, 1968).

Palau Sant Jordi. Arata Isozaki.

En 1984 se aprobaba el diseño de las instalaciones para la candidatura de Barcelona como sede olímpica.

El diseño ganador fue el de cuatro catedráticos catalanes que según el alcalde de esos momentos era el diseño que más respetaba el carácter ciudadano de Montjuïc como parque, además de ser el más asequible a la candidatura que el resto de las ideas presentadas, que eran más grandilocuentes y espectaculares.

Una de las propuestas del concurso la hizo el arquitecto Arata Isozaki y, a pesar de que no fue el proyecto ganador, se le concedió el diseño de uno de los espacios (El País, 1984) (La Vanguardia, 2020).

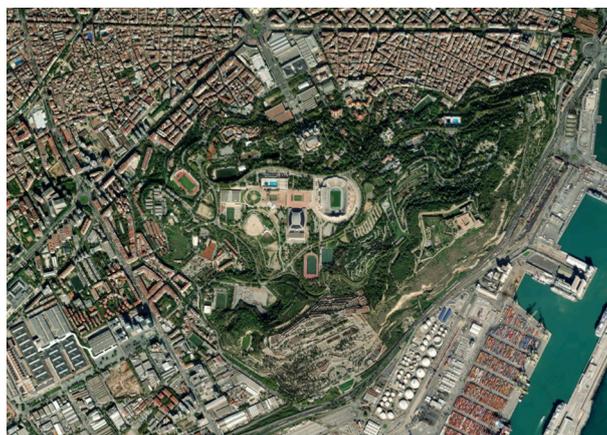


Ilustración 25: Anella Olímpica de Montjuïc (Barcelona).
Fuente: Mapas (Apple).

Una de las principales ventajas de la propuesta ganadora era la disposición abierta que se hacía del conjunto porque permitía independizar las diferentes construcciones. En la explanada olímpica se veían tres niveles con amplios espacios abiertos, que finalizaban en una plaza circular que, según creían los autores, con la terminación de los Juegos se convertiría en un gran jardín para los ciudadanos (El País, 1984) (Anella Olímpica de Montjuïc, s.f.).

El diseño ganador trajo el mayor punto de inflexión que ha tenido el urbanismo en la ciudad de Barcelona y todo fue en parte gracias a la celebración de los Juegos Olímpicos de 1992. No solo por la intervención en la Anella Olímpica de Montjuïc con la restauración de algunas de sus instalaciones, sino con la construcción del Palau Sant Jordi que acabó convirtiéndose en uno de los edificios más destacados en una ciudad que empezaba a renovarse y a mirar hacia el futuro (Patrimoni Cultural, s.f.) (Anella Olímpica de Montjuïc, s.f.) (Palau Sant Jordi, s.f.).

Con esta participación Barcelona se abrió al mar y creó para sí modernas infraestructuras que en la actualidad siguen a disposición de los vecinos de la ciudad. Siendo el Palau Sant Jordi el espacio multifuncional más utilizado hasta el momento. Es más, el legado de los Juegos no se quedó solo en estos equipamientos deportivos. Sino que se transformó un barrio entero para construir la Villa Olímpica que dio paso a una nueva zona residencial llena de vida para los ciudadanos (García, 2013).

Velódromo olímpico. Dominique Perrault.

Junto con la candidatura de los Juegos Olímpicos del 2000, otro de los principales objetivos del concurso era realizar un proyecto que pudiera reunificar las dos Alemanias que habían estado divididas por la ciudad de Berlín y que aún estaba sacudida por los efectos que tuvo la reunificación (Arquitectura Viva, 2008).

Un punto clave y positivo que tuvieron en el diseño del proyecto fue el emplazamiento, porque el terreno se encontraba en una de las entradas más significativas de la ciudad de Berlín.

Por lo que, desde un punto de vista histórico y espacial, la idea era generar un gran espacio verde que pudiera coser los dos barrios que en ese momento aún estaban marcados por el desarrollo urbanístico de la industrialización posterior a 1871 y por los bloques de viviendas de la posguerra (Arquitectura Viva, 2008) (Perrault, 1998).

El arquitecto, Dominique Perrault, cuenta que una motivación que tuvo con este inmueble era que tenía la posibilidad de diferenciarse del resto de edificios deportivos, ya que normalmente suelen destacar por estar aislados, y fue eso lo que le llevó a una idea completamente diferente.

El concepto urbano que le dio al proyecto era crear un parque de grandes dimensiones que estuviera lleno de manzanos y que fuera accesible a todos y en el centro implantar dos enormes cajas de acero inaccesibles que únicamente tuviesen relación por su proximidad (Perrault, 1998).

Para Perrault fue de gran ayuda que en la ciudad de Berlín se encontrara una manera sencilla de mezclar la naturaleza y la arquitectura, y esta mezcla de naturaleza y arquitectura es una forma de trabajo que se puede desarrollar muy bien en la ciudad (Arquitectura Viva, 2008).

El reto que tenían era encontrar una buena forma de plantear el parque, porque debía ser apropiado para la zona y era importante que se diferenciara del resto de espacios verdes que ya existían. También buscaban que esta propuesta urbanística, aunque necesitaban un poco de paciencia ya que debían esperar algo de tiempo, se integrara de manera natural en su entorno urbano y que no quedara como una pieza inusual o despreciada, sino que tuviese la oportunidad de poder convertirse en un nuevo lugar de la ciudad de Berlín que estuviera lleno de vida (Perrault, 1998).

Allianz Arena. Herzog & de Meuron.

El estadio está situado en un paisaje abierto, en el Barrio de Fröttmaning Heath. Este se encuentra a 11 kilómetros hacia el noroeste del centro de la ciudad de Múnich y se encuentra muy cerca del límite territorial de la ciudad.

Aun así, como se trata de la segunda ciudad más grande de Alemania, las opciones de transporte que se ofrecen para llegar a él son excelentes y, de las vías de acceso por carretera que llegan al estadio, una de ellas viene desde el centro de Múnich y las otras forman parte del anillo exterior de la ciudad que pasa por la zona suburbana y da acceso hacia las ciudades que están más próximas (Allianz Arena, 2006) (FC Bayern Munich, s.f.).

Este camino aparece en una gran explanada formada por terrenos ajardinados que oculta uno de los aparcamientos más grandes de Europa. En ella vemos un paisaje asfaltado bastante discreto porque se hace una referencia a las extensiones de vegetación que hay en los alrededores de Fröttmaning Heath.

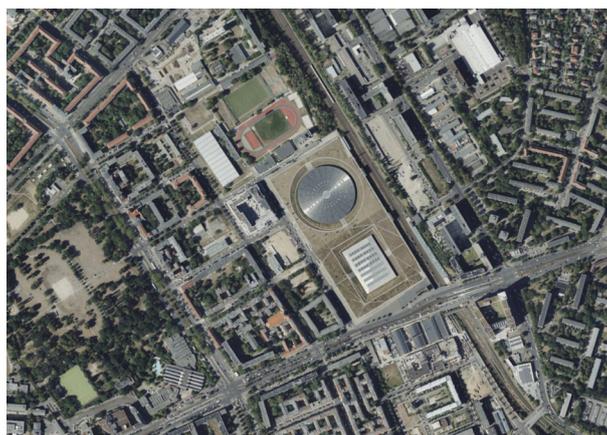


Ilustración 26: Piscina y velódromo olímpicos (Berlín).
Fuente: Mapas (Apple).

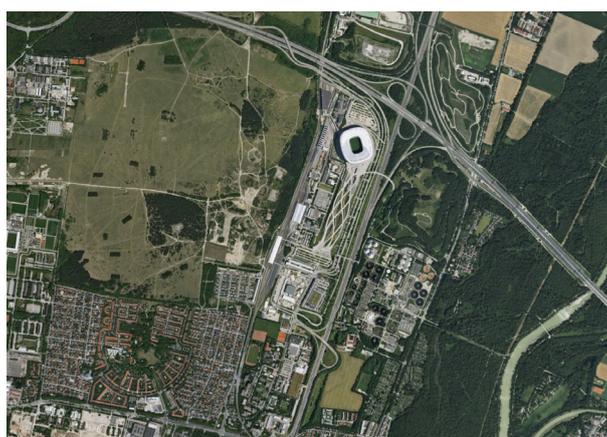


Ilustración 27: Estadio Allianz Arena (Múnich).
Fuente: Mapas (Apple).

Las zonas asfaltadas son el camino que canaliza el flujo de personas hacia el estadio, que se proyecta ante ellos como una forma grande y clara, y se trata de vías curvas porque los arquitectos pensaban que eran muy funcionales para extender a las multitudes antes y después del partido, además de que podían servir como zona de culto social (Allianz Arena, 2006) (Mack, 2008).

Ya hemos visto que en el diseño del proyecto los accesos se pensaron detenidamente y se tuvo muy en cuenta que estos podrían realizarse a pie o con vehículo, por lo que la meta que tenían era poder garantizar un buen flujo de comunicaciones que no se interrumpieran entre ellos. Para esto tuvieron que mejorar el acceso rodado y se duplicaron las carreteras de acceso al estadio y las vías del ferrocarril se prolongaron para que llegaran hasta la extensa explanada (Allianz Arena, 2006) (FC Bayern Munich, s.f.).

En cuanto a los aparcamientos, ya hemos visto que se dispusieron bajo la gran explanada y como eran plantas subterráneas, se abrieron en la explanada grandes huecos que servían de ventilación natural (Allianz Arena, 2006) (FC Bayern Munich, s.f.).

Centro acuático Londres 2012. Zaha Hadid.

El masterplan que se diseñó para Londres 2012 fue un proyecto de gran complejidad. Lo fue tanto a nivel de gobernanza y financiación en su fase previa, durante su celebración y con el plan de previsión de futuro.

Posteriormente a los Juegos se formó la Olympic Park Legacy Company, que es una organización que tomó el mando del legado olímpico que dejó la Olympic Delivery Authority, y fue entonces cuando empezó el periodo de revisión del masterplan hacia la versión postolímpica de este conjunto (Masterplan for the London 2012 Olympic and Paralympic Games and legacy, s.f.).

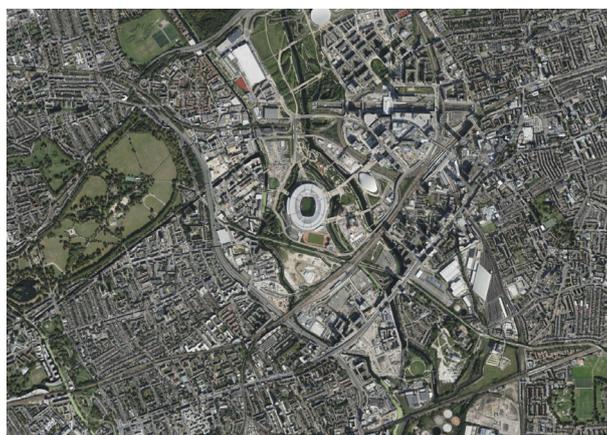


Ilustración 28: Queen Elizabeth Olympic Park (Londres).
Fuente: Mapas (Apple).

Un punto clave en el desarrollo fueron las áreas que limitaban el Parque Olímpico, porque las consideraban esenciales para poder conseguir en un futuro ese espíritu de cambio y poder llegar a alcanzar una coherencia y cohesión en el este de Londres, una zona que anteriormente no había sido de las más destacadas de la ciudad. Se trataba de una zona post industrial, con viviendas pobres y espacios subusados, y muchos canales de agua, y era también una de las zonas con mayores niveles de desempleo. El punto positivo era que se encontraba muy cerca del centro de Londres y del Canary Wharf, el centro financiero de la capital, por lo que estaba muy bien conectada. Por eso, con un buen masterplan, se podía dar una muy buena oportunidad de desarrollo (London Olympic Master Plan: Regeneración Urbana inteligente, 2012) (Masterplan for the London 2012 Olympic and Paralympic Games and legacy, s.f.).

La principal aspiración del Parque Olímpico era convertirse en un centro global de distinción internacional, crear un nuevo y próspero distrito metropolitano en Londres y ayudar en la regeneración social y económica. Siendo un lugar diferente a cualquier otro en Londres, que pueda ofrecer lo mejor en servicios deportivos y culturales en lugares y parques de nivel mundial, y que al mismo tiempo cree lugares para vivir que estén conectados con las diversas y vitales comunidades del este de Londres (London Olympic Master Plan: Regeneración Urbana inteligente, 2012) (Masterplan for the London 2012 Olympic and Paralympic Games and legacy, s.f.).

Todo esto recoge que lo más importante ha sido lo que ha venido tras los Juegos. En ese momento empezó una etapa de cambio, que tenía como límite el 2020, donde se tenían que transformar los espacios para convertirlos en instalaciones para la ciudad y había que crear buenos espacios comerciales.

Posterior a eso y en estos momentos, la ciudad se encuentra en el Legacy Plan, que será cuando se termine todo lo que quedará para la sociedad y que, en teoría, tendrá su final en 2030 (London Olympic Master Plan: Regeneración Urbana inteligente, 2012).

En el caso de Zaha Hadid, que diseñó el centro acuático, lo hizo directamente pensando en su versión postolímpica, y durante los Juegos se le añadieron a los lados unas gradas temporales que sirvieron para ampliar el aforo. El uso de este se pensó para que las 3 piscinas que lo componen sirvieran en el futuro como las instalaciones acuáticas locales de la zona, para un uso familiar y asequible y, por el momento, se está cumpliendo (London Aquatics Centre, 2011).

5. Análisis constructivo

El análisis constructivo de los casos se va a hacer profundizando en cinco variables que son la estructura, la materialidad, la sostenibilidad y la eficiencia energética, el impacto económico y la imagen.

5.1 Estructura

Palacio de los Deportes. Félix Candela.

La construcción del palacio de los deportes estaba principalmente destinado al juego de baloncesto, pero también empezó a usarse para boxeo, voleibol, espectáculos sobre hielo, teatro, circo, etc.

Además, fue uno de los pocos proyectos convocados mediante concurso por la secretaria de obras públicas en 1967 y el proyecto tenía que ser económico, de rápida construcción y resistente a sismos (Méndez, 2013).

Como cuenta la Revista Arquitectura en su número 116, la estructura en este edificio, que normalmente es un elemento secundario, se concebía como el elemento dominante y en vista de que los plazos de construcción eran muy cortos se construyó de manera que cumpliera cuatro requisitos. El primero de ellos era que la estructura fuera realista, es decir, fácil de analizar y construir, por lo que se descartó rápidamente una estructura de hormigón, ya que el material presenta limitaciones en cuanto a luces y dimensiones del proyecto. Otro punto importante era que la estructura debía presentar interés desde el exterior y desde el interior, porque era el elemento más fuerte y destacable del proyecto. Así que se buscó algo que destacara incluso a un nivel aéreo porque el emplazamiento era y es una zona de tránsito de aviones, de hecho, desde esta perspectiva fue apodada como la fachada de los Mil Soles. El siguiente requisito fue la importancia del prestigio en el edificio, la finalidad del proyecto era su uso para los JJOO de 1968 y teniendo en cuenta el éxito que habían tenido, tanto a nivel arquitectónico como estructural, los edificios en Tokio y Roma no se podía presentar una estructura vulgar y corriente. Como último requisito fueron las características resistentes del terreno, este exigía una estructura ligera porque la capa resistente se encontraba a 60 metros de profundidad (Candela Outeriño, 1968) (Revista arquitectura, 1968).

En la conferencia Coloquio Internacional Félix Candela: Vida, Obra y Legado de la Universidad Nacional Autónoma de México, José Ávila Méndez supone que la idea básica del punto de partida del proyecto fue a través de dos estructuras. Una de ellas para las tribunas y la otra para la cubierta, siendo esta última el problema fundamental por las grandes luces que tenía. Dice Méndez que la estructura de las tribunas tiene forma de cono invertido que es muy clásica en los sistemas de columnas de la que se hicieron cargo los colaboradores de Candela para que él pudiera centrarse en el problema principal que fue la cubierta. El arquitecto tenía muy claro que la estructura era un medio para crear un espacio, sobre todo interior, por lo que la forma es el producto de las razones económicas, espaciales y constructivas que tenían.

La solución que finalmente se propuso es una cúpula geodésica que trabaja como una esfera inscrita en un cuadrado con cortes a 45 grados y que descansa sobre pilares de hormigón cubiertos con ladrillo que actúan como contrafuertes de la estructura de la cúpula y dan forma a los pórticos de acceso al recinto. Otros pilares más esbeltos e inclinados en forma de V actúan como soportes de la estructura externa que forma una primera rampa que circunda al recinto. La estructura metálica de la cubierta es extremadamente ligera, 50 kilogramos de hierro por metro cuadrado, y en ella las armaduras trabajan a compresión axial y hacen posible un diseño no convencional. Además, Candela elimina los elementos secundarios, largueros, y los sustituye por estructuras

laminares de aluminio y madera que construyen la cubierta (Méndez, 2013).

Para la estructura portante del edificio utiliza una retícula casi ortogonal de barras de acero con una altura constante de cinco metros, que está colocada siguiendo los círculos máximos de una esfera y separadas de manera angular y la cubierta esférica está limitada por cuatro círculos máximos y dividida en 121 cuadrados cuyos lados miden de 10 a 13 metros. En ella las armaduras tienen un elemento central que trabaja a compresión, que está formado por rombos triangulados con tirantes radiales. Y cada cuadro está cubierto por cuatro superficies en forma de paraboloides hiperbólicos, que tiene dos capas de triplay marino¹ sobre una retícula de aluminio tubular y que se forran exteriormente con una lámina de cobre que se sujeta en arcos de acero. Con esto se eliminan las estructuras secundarias para reducir el peso muerto, y el coste de la estructura (Revista arquitectura, 1968) (Candela Outeriño, 1968).



Ilustración 29: Cubierta formada por paraboloides hiperbólicos de aluminio tubular sujetos a los arcos de acero.
Fuente: Plataforma arquitectura.



Ilustración 30: Acabado de cobre sobre la cubierta.
Fuente: Plataforma arquitectura.



Ilustración 31: Pilares en V sobre los que apoya la estructura exterior y pilares revestidos de fábrica de ladrillo como pórticos de acceso.
Fuente: Plataforma arquitectura.

Palau Sant Jordi. Arata Isozaki.

El Palau Sant Jordi fue construido como parte del complejo olímpico para los JJOO de 1992. Su cubierta principal tiene unas dimensiones de 126 x 140 m y resguarda unas gradas con capacidad para 13.000 espectadores. Las luces máximas de la cubierta son de 127,8 y 105,6 metros (Calzón, 1989).

En la revista Temes de Disseny, Isozaki cuenta que la particularidad de este edificio es el exterior de la cúpula, ya que es el único elemento de singularidad y la describe en tres aspectos: *“el proceso arquitectónico en base a la tecnología acumulada a lo largo de los tiempos, el contexto cultural que hay en esta tierra y la sistemática de la distribución arquitectónica adoptada como resultado.”*

También dice que como estaba acostumbrado en el inicio de sus proyectos, vio todas las posibles estructuras y estilos que le podían servir para cubrir este gran espacio. Su primera opción fue el arco de línea parabólica, pero a la hora de participar en el concurso, la cubierta tenía una ondulación irregular que no tenía nada que ver y fue ahí cuando le llegó la idea de la cúpula.

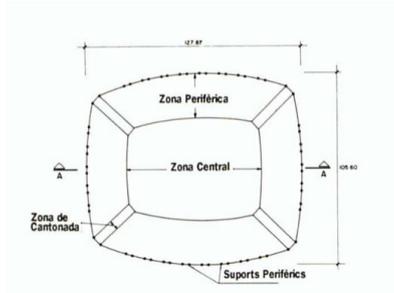
Explica que para poder construir la estructura de la cubierta irregularmente ondulada con Space-frame² se podía garantizar la construcción de las rótulas en ángulos diferentes con ordenador, pero el problema continuaba en la gran superficie por cubrir. Principalmente porque el peso de la cubierta se concentraba de manera excesiva en unas partes y no se podía compensar con la parte homogénea, por lo que esta solución no era viable.

Y cuenta el arquitecto, Arata Isozaki, que fue entonces cuando decidió repensar el diseño de la cubierta con el sistema de montaje Pantadome que había ingeniado Mamoru Kawaguchi.

¹ Triplay marino: Madera de pino tratada para resistir en exteriores.

² Space-frame: Estructura rígida, ligera y similar a un armazón, construida con puntales entrelazados siguiendo un patrón geométrico.

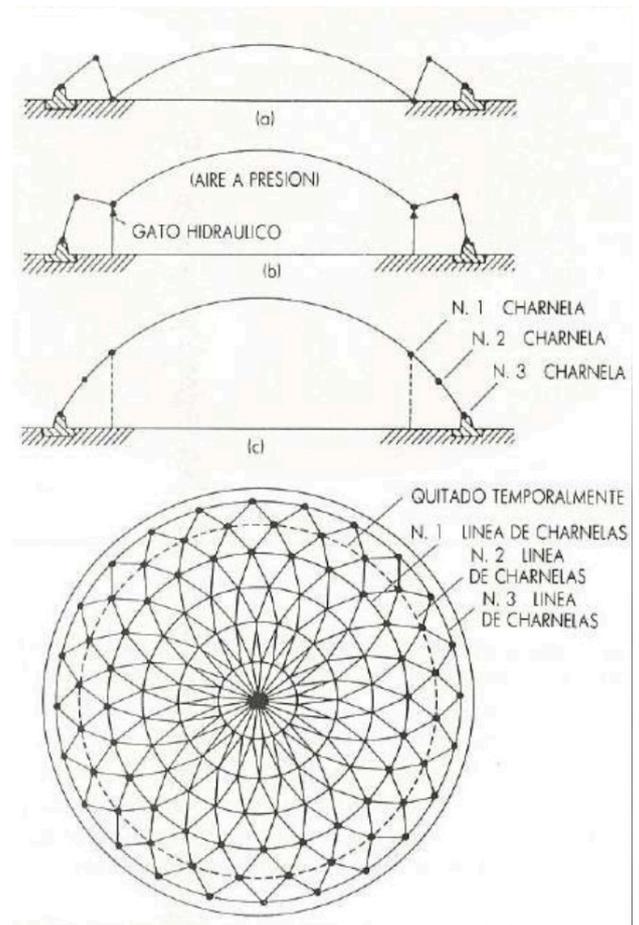
La estructura que se eligió para la cubierta era una malla espacial de doble capa de 2,4 metros de grosor con una construcción híbrida. Esto quiere decir que la solución es a partir de la intersección de piezas soldadas que forman una estructura primaria y que divide la cúpula en zonas cubiertas con subestructuras de mallas espaciales formadas por nudos esféricos y barras tubulares. Su proceso constructivo se hace mediante la división del conjunto en partes, que son una zona central en forma de cúpula, una zona exterior con forma toroidal que va desde el borde de la cúpula hasta el contorno exterior con forma de rectángulo curvilíneo y con sus cuatro esquinas casi rectangulares que se unen en forma de chaflán y se ven en la estructura final como bandas de cristal. La última parte es el conjunto de soportes perimetrales que coloca uniformemente distribuidos en el borde exterior de la cubierta (Calzón, 1989).



Sistema Pantadome

Este sistema nace para la construcción racional de las cúpulas espaciales. Cito textualmente la explicación que da Mamoru Kawaguchi en la Revista Digital del Cedex: "Consiste en hacer una cúpula o estructura espacial que sea inestable geométricamente y que sea plegable durante su elevación. Se trata de una cúpula que es como un mecanismo que se somete a un movimiento controlado como una biela o un pantógrafo como los que se usan en las tomas de corriente eléctrica de los trenes."

Para construir la cúpula se monta cerca del suelo, aprovechando que en este momento la construcción de las estructuras se encuentra a poca altura y que permite un montaje seguro y económico que además asegura un trabajo de calidad. Además, se hacen también los acabados tanto interiores como exteriores y se colocan las instalaciones mecánicas y eléctricas. Una vez terminado se eleva la cúpula. Describe Kawaguchi que la parte de la elevación de la cúpula se puede hacer por insuflado de aire dentro de la cúpula para aumentar la presión interna del aire o por empuje hacia arriba de la zona central con gatos hidráulicos. Una vez que la cúpula alcanza su forma, los elementos que se han retirado se colocan para dar por terminada la estructura. Ambos elementos de elevación se retirarán y la cúpula estará completa.



Las características más importantes de este sistema son que el casquete central tiene libertad de movimiento en su dirección vertical y que siempre será estable en sentido lateral. Con eso se quiere decir que la cúpula no necesitará tirantes o fijadores en la elevación como si lo precisan la mayoría de los otros sistemas (Kawaguchi, 1990).

Este sistema se utiliza por segunda vez con el Palau Sant Jordi. En él la estructura de la cubierta se apoya sobre columnas situadas a 15 metros y el punto más alto de la construcción es a 45 metros. Además, el arquitecto deja reflejado en la forma exterior de la cúpula el sistema de elevación que se usó. (Kawaguchi, 1990).

Velódromo olímpico. Dominique Perrault.

Perrault cuenta en la descripción del edificio que la idea principal del proyecto era crear un espacio verde de gran escala y "plantar" en él los edificios. Debemos tener claro que en este proyecto se hicieron dos edificios, pero es solo el velódromo nuestro caso de estudio. El arquitecto continúa diciendo que la intención que tenían era conseguir que las personas que se acercaran se encontraran con dos piezas que parecieran agua, es por eso por lo que las cubiertas son de tejido metálico para que refleje el sol.

El velódromo fue la primera construcción que se terminó que, como ya sabemos, se encuentra casi enterrado. Este hecho hace que ambos edificios que se encuentran elevados a pocos metros del suelo sean un proyecto muy interesante en los campos de la arquitectura y la ingeniería. Es más, lo único que sobresale del edificio es su cubierta cilíndrica brillante metálica de gran diámetro a dos aguas sobre un extenso jardín público (Arquitectura Viva, 2008).

Aunque lo que más llama la atención es la cubierta, la estructura principal del velódromo es un almacén de hormigón armado. En él las partes que se encuentran por debajo del nivel freático o que están en contacto con el terreno se diseñaron como un vaso estanco.

Por otro lado, para la parte circular que se encuentra bajo la cubierta de acero se utilizó un enfoque diferente y el grupo, porque la parte estructural la llevaba la empresa de ingeniería Ove Arup, decidió aprovechar esa forma circular y utilizaron un muro de contención convencional que apuntalaron a los forjados.

Mientras que, las placas de los forjados circulares funcionan como anillos de compresión resistentes a las presiones de la tierra (Ove Arup, 1997).

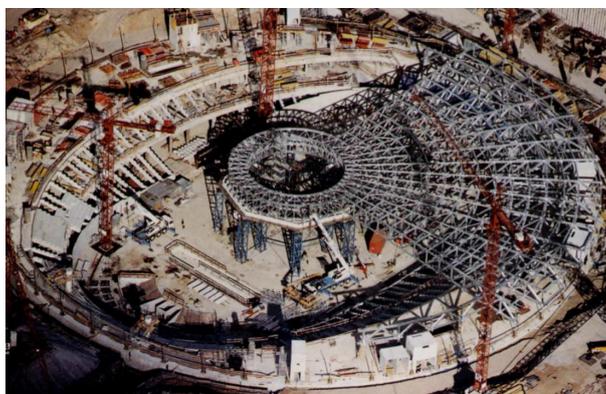


Ilustración 36: Construcción de la estructura radial del edificio.
Fuente: Revista *The Arup Journal*.



Ilustración 37: Encuentro de la estructura principal con la estructura de la cubierta.
Fuente: Revista *The Arup Journal*.



Ilustración 38: Exterior con el recubrimiento de la malla metálica.
Fuente: Revista *The Arup Journal*.

La dificultad que se encontró con la estructura de la cubierta era encontrar una que fuese eficiente para un disco plano de 142 metros de diámetro que diera la sensación de estar flotando sobre el espacio y que apoyara directamente sobre 16 columnas de hormigón, de entre los 6 y 32 que se plantearon al principio, de 13 metros de altura. La cubierta al final se construyó con una estructura radial de acero inoxidable formada por 48 cerchas radiales que cubren unas luces de hasta 115 metros libres, que están conectadas entre sí por una cercha anular de 14,4 metros de radio. A un radio de 57,6 metros de radio las cerchas apoyan directamente sobre los pilares.

Las vigas secundarias, de la superficie superior e inferior, se encuentran a una distancia de 3,6 metros desde el centro entre ellas y se extienden por las cerchas radiales de la cubierta.

En el centro de la estructura el anillo interior, que realmente son dos, están situados a 10,8 y 14,4 metros y se conectan entre sí por arriostramientos horizontales en los planos superiores e inferiores y por miembros radiales y diagonales. Además, el anillo interior tiene un arriostramiento vertical que permite crear las rutas de acceso.

Se calcula que las vigas transmiten a los soportes un peso de hasta 3.500 toneladas y su forma es muy similar a la de la rueda de una bicicleta que, sin necesidad de apoyos intermedios, crea una gran superficie libre que permite realizar cualquier deporte.

La construcción de la cubierta se hizo en el sentido de las agujas del reloj. Primero se montó la armadura anular circunferencial entre los pilares, después las armaduras radiales y las vigas secundarias. Y una vez montada toda la estructura de acero, se tensaron los tirantes y se bajó el soporte provisional central con 32 gatos hidráulicos (Ove Arup, 1997).

Allianz Arena. Herzog & de Meuron.

El estadio tiene unas dimensiones de 258 x 227 metros y 50 metros de altura. La arquitectura externa del Allianz Arena la forman 2.874 paneles romboidales metálicos de ETFE, y cada uno de los paneles puede iluminarse de manera independiente de color blanco, rojo o azul, aunque hoy en día se ha iluminado incluso en más colores. Y para su construcción se utilizaron aproximadamente 120.000 m³ de hormigón y 22.000 toneladas de acero e incluso los ingenieros tuvieron que hacer realidad la visión arquitectónica que tenían los arquitectos suizos Herzog y De Meuron y la planificación, pero sobre todo el dimensionamiento de la estructura obligó a plantear exigencias especiales a los ingenieros (Eadic, 2014).

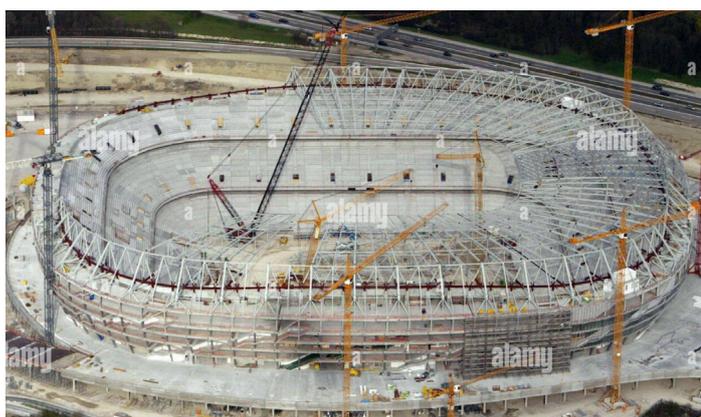


Ilustración 39: Vista aérea de la construcción del estadio.
Fuente: Alamy. Reuters Photographer.



Ilustración 40: Estructura metálica de la cubierta del estadio.
Fuente: WikiArquitectura.

La fachada del muro del Allianz Arena en Múnich está compuesta por una estructura de acero cubierta con los paneles romboidales. Es una estructura curvada espacialmente que cierra todo el exterior de la estructura desde una altura de 12,40 metros hasta los 43,75 metros sobre el terreno del estadio. El componente principal de la estructura de acero es una rejilla en forma de diamante que está apoyada en unas ménsulas radiales que están

fijas a los soportes y muros de hormigón o la estructura de acero primario.

La cubierta de la fachada ventilada la componen 768 paneles fijados a tubos rectangulares. Cada panel se une a dos barras horizontales y dos diagonales y por el diseño sin costuras de la rejilla de la viga se puede hacer un detallado acolchado (Project managers of Allianz Arena, 2004).

Los gestores del proyecto cuentan que durante la creación de la estructura se buscó minimizar las tensiones que producían las coacciones de la estructura de acero y que las principales causas de estas coacciones eran los gradientes térmicos en la estructura de acero o los movimientos de la estructura sólida que se construye en etapas diferentes.

En la estructura se introdujeron articulaciones en las partes de intersección con la rejilla de acero y se limitaron sus deformaciones para que los paneles del cerramiento no sufrieran daños en caso de que hubiera deformaciones en la subestructura.

Centro acuático Londres 2012. Zaha Hadid.

El proceso de construcción del centro acuático fue una tarea dura que necesitó una construcción bastante especializada, empezando por los tiempos de construcción ya que debía estar terminado para las olimpiadas hasta su compleja estructura que estaba pensada al más mínimo detalle. Es más, para llevar a cabo la compleja geometría de la cubierta y el resto del edificio, el equipo de Zaha Hadid Architects utilizó la modelización en 3D (ARUP, 2012).

Toda la cubierta se apoyará en una estructura de hormigón armado. En la parte sur del edificio será en un muro de hormigón y en la parte norte en dos grandes columnas de hormigón. Las cargas de la cubierta se transfieren desde las cerchas la forman hasta las grandes estructuras de hormigón, y de ahí hasta los cimientos del suelo. El encuentro entre ambos se realizará con un apoyo deslizante que permita los movimientos de contracción y retracción que genere la estructura por el gradiente térmico (Akçay & Tarboush, 2019).

La construcción del techo se hizo en diferentes etapas y participaron en ella la empresa Arup. Esta característica cubierta de grandes luces destaca por ser una pieza arquitectónica impresionante y es por eso que la empresa cuenta que el mayor reto que fue conseguir que la geometría fluida que el despacho de arquitectos había definido para ella funcionara eficazmente. Esto supuso reducir el peso propio de la estructura, y los ingenieros estructurales lo pudieron conseguir con un diseño inteligente y un proceso iterativo que garantizara que cada sección de acero se utilizara completamente. Además, el viento fue una carga clave en el diseño porque la cubierta tenía que resistir a sus cargas en tres momentos diferentes: durante la construcción sin la estructura de podio ni la fachada, en modo Olímpico cuando se le dispusieran las gradas temporales y en modo Legacy, como se le conoce cuando las gradas temporales no están y la fachada es de vidrio. Esto pudo conseguirse con un uso intensivo de pruebas en el túnel de viento que permitían recopilar las mediciones simultáneas en toda la cubierta (ARUP, 2012).



Ilustración 41: Construcción de la cubierta sobre los soportes de HA.
Fuente: University of Cincinnati Integrated Technology Course.



Ilustración 42: Muro de HA donde apoya la cubierta.
Fuente: IS Arquitectura.



Ilustración 43: Modo Olímpico con gradas auxiliares.
Fuente: WikiArquitectura.

En cuanto a la subestructura del edificio los especialistas tuvieron que pensar de forma creativa, ya que los vanos largos suelen ser arcos que necesitan estribos o tirantes, pero en este caso el diseño se alejaba de la solución en arco porque había que minimizar la dependencia de la cubierta y de la subestructura para poder facilitar la construcción de la cubierta. Es por eso por lo que se decidieron por una serie de cerchas que se extienden en dirección longitudinal y que se apoyan en sólo tres puntos, lo que hace que la estructura sea eficaz, pero con soportes limitados (ARUP, 2012).

La cubierta no sólo abarca una gran longitud, sino también una gran anchura y en el centro, la profundidad se utilizó para poder salvar la distancia utilizando secciones de cerchas, pero en la parte donde el techo es más delgado hacia las alas, el equipo tuvo que buscar una solución diferente. En este caso utilizaron la geometría en forma de arco inclinado de la cubierta en las alas que estaban en voladizo, por lo que la estructura podía sostenerse por sí misma (ARUP, 2012).

La construcción del falso techo del centro acuático también tuvo una cuidadosa planificación. Los soportes eran metálicos y se utilizaron 37.000 piezas de madera y se cortaron específicamente para cada lugar. El material de revestimiento que se usó fue silicato de zinc para poder proteger a la estructura de la corrosión por la humedad de las piscinas. La construcción de este duró un año. Con todo esto, el resultado de la cubierta fue una cubierta eficiente, elegante y edificable (Culp, Coulibaly, Ebert, Hoelker, & Szparagowski, 2017).

5.2 Materialidad

Palacio de los Deportes. Félix Candela.

Antes de nada, saber que al Palacio de los Deportes se le conoce por su apodo de "El domo de Cobre" y esto nos da una pista importante de cuál es el material más destacado de la obra.

Lo que más llama la atención del Palacio es su cúpula de cobre y normalmente destaca por su color característico. Esto se debe a que el arquitecto Candela, como ya sabemos quería una estructura que pudiera cubrir grandes luces pero que se usaran materiales livianos y libres de columnas, así que reemplazó el hormigón por unas láminas muy finas de aluminio y una mezcla de madera resistente al agua cubierta con cobre. El resto de los materiales que se usan en la estructura de la cúpula es aluminio tubular para los paraboloides hiperbólicos y arcos de acero para sujetar la subestructura de las láminas (Tomasini, 2015).

A pesar de que el hormigón había sido reemplazado en la estructura principal, sí que tuvo su parte de protagonismo. Se puede ver en los pilares exteriores más esbeltos, que están inclinados y tienen forma de V, y actúan como soportes de la estructura externa que forma una primera rampa que rodea al recinto. También se usa en los pilares interiores que dan forma a los pórticos de acceso al recinto, pero en este caso están cubiertos con ladrillo en los cuatro costados y actúan como contrafuertes de la estructura de la cúpula (Revista arquitectura, 1968) (Candela Outeiriño, 1968).

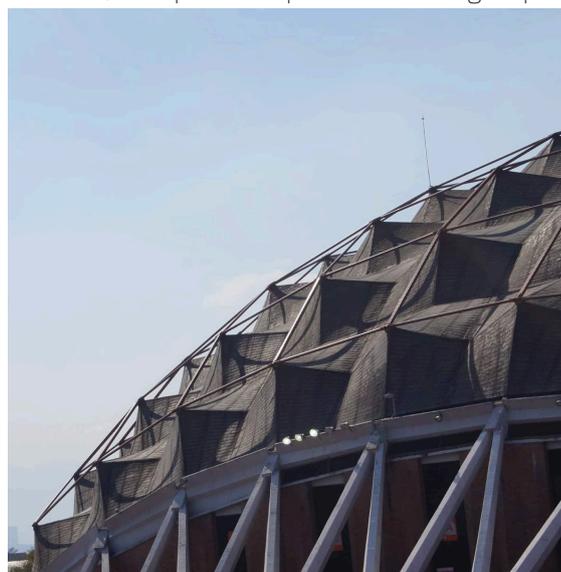


Ilustración 44: En la imagen podemos ver los materiales principales del edificio. El revestimiento de cobre de la cubierta y los arcos de cobre que la sujetan. Y los soportes en V de hormigón y los contrafuertes de ladrillo que generan el acceso. Fuente: Jonathan Corral (jonathan_corral_).

El uso de estos materiales se hizo de acuerdo con la política de austeridad y realismo que presidían las realizaciones mexicanas para los Juegos Olímpicos y se siguió el criterio de emplear materiales naturales que no influyeran en el resultado de una buena apariencia, fueran económicamente accesibles y reflejasen el carácter de la arquitectura mexicana (Tomasini, 2015).

Palau Sant Jordi. Arata Isozaki.

Dice el arquitecto Arata Isozaki que un dato importante sobre los materiales que se usó para el Palau fueron que intentó adecuar al máximo los sistemas constructivos y los materiales disponibles que había en Barcelona. Y que a pesar de que había sido él quien los había elegido y su oficina quien realizó los planos, una vez acabado el edificio parecía como si el trabajo hubiera sido de otra persona.

Aun así, cree que esta experiencia no demostraba en ningún caso que el proyecto hubiera estado desarrollado fuera de control, sino que simulaba una historia larga que se había ido formando con un cúmulo de pequeños relatos independientes, y que había superado su estimación y con su ayuda, otra persona podía contar su propia historia (Isozaki, 1992).

Los materiales que se usaron en la cubierta del Palau fueron diferentes, con esto quiero decir que dependiendo de la zona se usó un material u otro. También es cierto que, sobre la malla espacial de la estructura se tenían que proyectar cerramientos con unas características y condiciones exigentes y eso llevó su tiempo porque se hicieron estudios y pruebas antes de poder tomar la decisión final (Aymerich & Justo, 2013).

Era importante también que la cubierta se pudiera adaptar a la curvatura de la estructura, es decir, que fuese autoportante y cumpliera con las condiciones de aislamiento térmico e impermeabilidad y cómo hemos visto antes que se usara algún material de la zona. Por lo que se optó por utilizar acabados diferentes dependiendo de la parte de la cubierta (Aymerich & Justo, 2013).

Empezaremos hablando de la parte central que es la cúpula. Su acabado tiene tres capas. La primera capa es la que la separa de la zona exterior y esto se hace con unos lucernarios perimetrales. La segunda capa es la que garantiza el aislamiento térmico del edificio y la forman listones de madera que sujetan la chapa metálica grecada entre la que se ponen planchas de poliuretano y una barrera corta vapor y se acaba con una tabla machihembrada de madera que soportará los materiales de acabado de la capa superior. Esta última capa se hace con una chapa de zinc y se monta con el sistema belga¹ (Aymerich & Justo, 2013).



Ilustración 45: Acabado de zinc de la cúpula.
Fuente: Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y de la Ingeniería Civil.



Ilustración 46: Zona exterior con el acabado de tejas cerámicas.
Fuente: Telefèric de Montjuïc.

¹ Sistema belga: Es de los sistemas más antiguos para cubiertas de zinc y cobre. En él, sobre la tabla de madera se colocan unos rastreles de sección trapezoidal, con una separación entre ejes de 40 o 50 mm, que se clavan directamente a la madera. Entre esos rastreles se sitúan las planchas de zinc y su unión se hace por solapo y plegado. Por último, los rastreles se rematan con una pieza de sección trapezoidal que sirve de cubrejuntas (elZinc®, 2012).

La parte exterior de la cubierta tiene también tres capas. La primera de ellas es una capa estanca y rígida que salva la luz del módulo estructural, se utiliza una chapa grecada galvanizada que se enrosca mediante un sistema de correas. La segunda capa es igual que en la cúpula por lo que sirve para cumplir el aislamiento térmico. Y, por último, la tercera capa de esta zona después de estudios y ensayos con tejas cerámicas locales se decidió crear una pieza de gres con baja porosidad y un bajo grado de absorción con un esmaltado impermeabilizante y resistente a la luz solar. Las medidas de la pieza son de 32 x 18 centímetros, su forma es redondeada por el interior y aligerada. El acabado de las tejas es de color gris metalizado (Aymerich & Justo, 2013).

Velódromo olímpico. Dominique Perrault.

En la gran mayoría de las obras de Dominique Perrault los materiales principales en su construcción son el metal y el vidrio, por lo que en este caso no va a ser menos (Karlo, 2020).

Al tratarse de un conjunto, tanto la piscina como el Velódromo cuentan con una cubierta exterior de malla metálica, de acero inoxidable. El alambre se divide en placas prefabricadas que se atornillan a marcos metálicos también, y de esta forma se crea una superficie que brilla con la luz del sol y que a primera vista da la sensación de ser una extensión de agua en el centro del parque, simulando un lago (WikiArquitectura, s.f.).

Para la estructura del Velódromo el material que se usó fue acero radial, que lo vemos en las vigas y en la cubierta que además tiene unas claraboyas que permiten la entrada de la luz natural en el recinto. Y hormigón para construir los soportes que sujetan la cubierta (WikiArquitectura, s.f.).

El perímetro está limitado con grandes ventanales y marcos metálicos, y es aquí donde entra el vidrio. Que también lo podemos ver en muchos de los tabiques interiores, esto principalmente fue porque el arquitecto opinaba que los muros no tenían la obligación de encerrar o aislar así que en considerables ocasiones, aunque no sea lo habitual, lo podemos ver como un material separador (WikiArquitectura, s.f.).



Ilustración 47: Acabado de rejilla metálica en cubierta.
Fuente: Arquitectura viva.

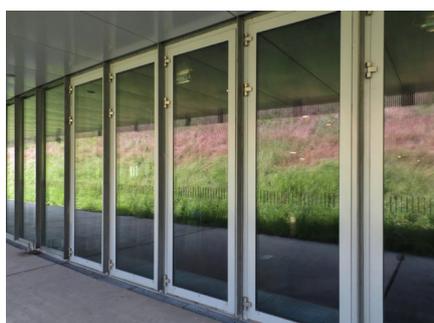


Ilustración 48: Carpinterías metálicas del perímetro.
Fuente: WikiArquitectura.

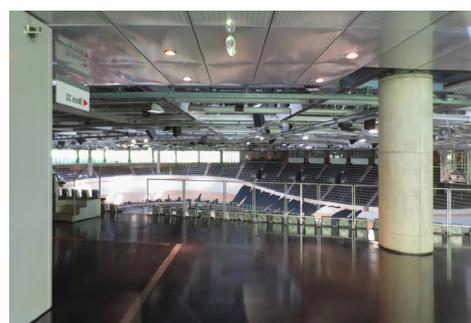


Ilustración 49: Soportes interiores de hormigón.
Fuente: WikiArquitectura.

Allianz Arena. Herzog & de Meuron.

En la descripción del proyecto los arquitectos consideran que la construcción del estadio marcó una nueva situación en el paisaje entre el aeropuerto y el centro de Múnich, y consideran que el aspecto cambiante que tiene el estadio supondrá un extra para su atractivo no solo como estadio, sino como monumento urbano incluso para las personas que no son fanáticas del fútbol (Herzog & Meuron, 2002).

Este espectacular estadio utiliza 2.864 paneles que tienen forma de diamante y son transparentes, translúcidos y rellenos de aire. Estos paneles los componen láminas de ETFE, que es un material plástico que ahora

mismo se utilizan para los edificios que requieren una elevada exigencia de arquitectura transparente. Las láminas están fabricadas con un plástico fluoropolímero que es extremadamente estable y cuentan con una superficie antiadherente sorprendentemente buena. Es por eso por lo que estas láminas casi ni se ensucian y son muy fáciles de limpiar, por lo que gran parte de la suciedad puede ser perfectamente lavada por el agua de lluvia (Herzog & De Meuron, 2003).

La cubierta también la forman los paneles, pero en este caso tienen una parte inferior transparente, a diferencia de la fachada, donde hay una parte superior translúcida de color blanco. Esto es porque aquí todos los paneles deben ser transparentes a causa de la radiación solar o la transmisión de luz para el césped. El techo lo sostienen vigas de acero y cuenta con un mecanismo de elevación hidráulico que le permite abrirse o cerrarse para mantener un buen clima en el estadio (Herzog & De Meuron, 2003).

El resto de los materiales que se usaron en la construcción fueron acero para la estructura principal que sujeta los paneles y hormigón para los soportes y muros del estadio y especialmente para la zona de aparcamiento (Herzog & De Meuron, 2003).



Ilustración 50: Construcción de la estructura de hormigón.
Fuente: time lapse | panTerra.

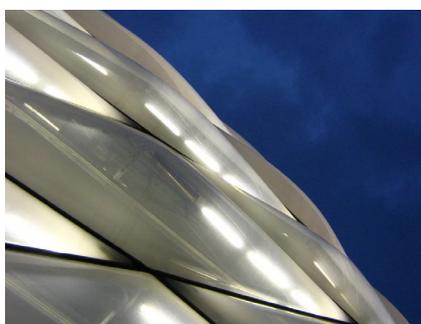


Ilustración 51: Paneles romboidales ETFE de la fachada.
Fuente: WikiArquitectura.



Ilustración 52: Construcción estructura de acero.
Fuente: Christiane Gabler. Arquitectura Viva.

Centro acuático Londres 2012. Zaha Hadid.

Como es típico en la arquitectura de Zaha Hadid los materiales que se utilizan en sus obras siempre forman una gran parte del diseño. En este caso concreto al tratarse de un centro acuático la alta humedad que produce el agua fue un punto decisivo a la hora de elegir el material, ya que no podía ni deformarse ni hincharse (Culp, Coulibaly, Ebert, Hoelker, & Szparagowski, 2017).

Teniendo claro esto, sabemos que se usaron cuatro materiales principales para el proyecto que fueron hormigón, madera, vidrio y las baldosas del suelo. Sin contar el acero que se utilizó para realizar la estructura de la gran cubierta alabeada. Es más, los componentes de la cubierta son reciclables en un 50% (Culp, Coulibaly, Ebert, Hoelker, & Szparagowski, 2017).

El hormigón es bastante protagonista en el recinto, ya que es el único material estructural que es visible para el espectador. No solo se utilizó para construir los grandes apoyos que sustentan la cubierta, sino también para construir el podio principal donde asienta el edificio, las torres de las plataformas de salto o el sótano, donde destaca el techo de la zona de entrenamiento porque tiene unas aberturas en forma de pétalos que proyecta luz natural al interior para reducir el consumo de la luz artificial.

El cemento que se utilizó para la construcción fue con escoria granulada de alto horno, ya que tiene como ventaja convertir al cemento convencional en un material sostenible y disminuir su porosidad, siendo esto último una ventaja frente a la humedad (Culp, Coulibaly, Ebert, Hoelker, & Szparagowski, 2017).

Por las condiciones que requerían los materiales, la madera que se usó para el falso techo del centro tuvo que importarse desde un clima húmedo. Esta no solo se usó en el interior, sino que se extiende hacia el exterior para crear secciones solidas de las fachadas y crear un conjunto coherente de materiales y colores.

Finalmente, se utilizó madera frondosa brasileña de Louro rojo que además de provenir del clima húmedo, también es resistente al grafiti y al fuego, por lo que se reducía la necesidad de usar productos químicos agresivos para los tratamientos de la madera. Aun así, en el interior se recubrió con silicato de zinc para hacer frente a la humedad (Culp, Coulibaly, Ebert, Hoelker, & Szparagowski, 2017).

Por último, el vidrio también es un claro protagonista en el edificio, lo podemos ver en las enormes fachadas este y oeste que inundan el interior de luz y producen la sensación de que la cubierta, que se sumerge y se hunde, cuelga en el aire. Las carpinterías son de forma cónica y cada una de ellas cuenta con 314 cristales resistentes a las explosiones que cubren una superficie de unos 2.800 m². Los vidrios están serigrafados en cerámica con un patrón de matriz de puntos negros para poder controlar los niveles de luz natural y poder evitar el deslumbramiento sobre el agua (Cousins, 2014).



Ilustración 53: Estructura de hormigón vista en la piscina de entrenamiento.
Fuente: Arup. London 2012 Aquatics Centre.



Ilustración 54: Plataformas de salto e interior del techo.
Fuente: Zaha Hadid Architects.



Ilustración 55: Vista exterior de la madera y fachada de vidrio.
Fuente: Arco Atelier.

5.3 Sostenibilidad / Eficiencia energética

La *Real Academia Española* define el concepto de sostenible como: *"Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente"*.

Mientras que la *Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo* de la ONU definió, en 1987, el concepto de desarrollo sostenible como *"el que asegura las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para enfrentarse a sus propias necesidades"*.

En este caso nos vamos a centrar en el concepto de sostenibilidad en el entorno construido, que se puede dar dos importantes aspectos. Uno de ellos es el desarrollo urbano sostenible, donde la importancia está en usar de manera eficiente el suelo y los recursos de la infraestructura. El otro es directamente la arquitectura sostenible, en este caso la importancia recae, principalmente, en la responsabilidad de crear y gestionar el espacio construido como un entorno sostenible capaz de ser eficiente con recursos naturales (Plessis, 1999).

Ahora bien, ¿qué es la eficiencia energética? Es un consumo más bajo de los recursos energéticos sin perder en calidad de vida o producción. Es más, la *Agencia Internacional de la Energía* cree que *"la eficiencia energética es el 'primer combustible', porque representa la forma más limpia y barata de satisfacer las necesidades energéticas"*.

No existe un camino plausible hacia cero emisiones netas sin utilizar nuestros recursos energéticos de manera mucho más eficiente"

Esto nos lleva a que los aspectos prácticos, como lo son la selección de los materiales y la gestión de los residuos, son cuestiones importantes, como también lo son el impacto visual del edificio o la relación con su entorno, las carreteras u otros medios de transporte (Sheard, 2001).

Palacio de los Deportes. Félix Candela.

En la elección de los materiales del Palacio de los Deportes se siguió el criterio de emplear materiales naturales que fueran económicos pero que a la vez dieran parte de una buena arquitectura. Por eso, teniendo en cuenta que el precedente de la idea era el Palacio de los Deportes de Roma de Pier Luigi Nervi, Candela decidió sustituir el hormigón de la cubierta por el inusual cobre (Clásicos de Arquitectura: Palacio de los Deportes / Félix Candela, 2014).

Se dice que el cobre es sin duda un material para la construcción sostenible porque ayuda en la descarbonización y provoca una mayor eficiencia energética. Además, se trata de un material que no necesita mantenimiento ni limpieza y eso es un paso en el ahorro posterior a la instalación.

Otra de las ventajas que tiene es que es un material muy resistente a la corrosión por lo que alarga la vida útil, en este caso de la cubierta ((Guía definitiva con las características, ventajas y precios de las cubiertas de cobre, s.f.) (Cubiertas de cobre, s.f.).

Saber también qué el cobre tiene un nivel de reciclado completo, y no pierde sus propiedades originales, y en su proceso de fabricación se necesita muy poca energía, tiene una larga duración y no presenta ningún tipo de toxicidad, por lo que se convierte en un material idóneo para proyectos que quieran respetar el medio ambiente (Cubiertas de cobre, s.f.).

Palau Sant Jordi. Arata Isozaki.

Es cierto que la cubierta del Palau Sant Jordi es una excelente obra arquitectónica y durante su construcción la ciudad de Barcelona estaba en un proceso de renovación con miras hacia el futuro y por eso se convirtió en uno de los proyectos más destacados de la ciudad (Isozaki, 1992) (Alonso Pereira, 2017).

En cuanto al proceso constructivo de su cubierta no hay datos que certifiquen que el sistema Pantadome presente unas claras ventajas de sostenibilidad, pero si es cierto que para llevar a cabo la idea de Isozaki era el método más económico y que menos riesgos corría, aunque no fue la primera opción del japonés (Isozaki, 1992).

Por otra parte, me gustaría destacar la elección de materiales de acabado que se eligió para el proyecto. Sabemos también que se buscaba emplear materiales de la zona y por eso las tejas que se eligieron para el acabado de la cubierta eran de una cerámica que se utiliza tradicionalmente en Cataluña. Su uso fue para la parte exterior de la cubierta y a pesar de que no se trataba de un material innovador, sí lo vemos desde una perspectiva ambiental la cerámica, lo eligieran o no por eso, es un material que se fabrica con material primas naturales, con un bajo impacto ambiental porque no produce emisiones contaminantes durante su uso y además tiene una eficiencia energética bastante alta. Por contra este material sí que necesita un mantenimiento eficiente para evitar roturas (Cerámica La Coma, s.f.).

El otro material elegido fue el zinc, este sirvió de acabado para la parte central de la cubierta, la cúpula, y aunque a niveles constructivos y económicos parece una mejor solución que la teja cerámica su impacto ambiental es peor. Aun así, estamos también ante un material con una baja necesidad de mantenimiento por su resistencia a la corrosión y bastante duradero. Y si lo comparamos con otros materiales metálicos, el zinc es un material respetuoso con el medio ambiente y reciclable, con una alta eficiencia energética (Millán, 2020).

Velódromo olímpico. Dominique Perrault.

La clave de la sostenibilidad de este edificio se encuentra en la estrategia de sus instalaciones y en el sistema de gestión de edificios que supervisa y controla el uso de la energía (Ove Arup, 1997).

Con los sistemas de distribución del aire se pretendía conseguir tres objetivos clave: minimizar el uso de energía, conseguir buenas condiciones de confort y que encajara con el concepto arquitectónico de la cubierta. En un principio se estudió el método tradicional de suministro de aire por encima de la cabeza, que se usa a menudo en espacios de tamaño similar, pero se rechazó porque tenía un alto consumo de energía y requería grandes instalaciones y conductos. En su lugar, se utilizó un sistema de suministro de aire de bajo nivel para transportar el aire suavemente por debajo de los asientos con el fin de crear un microclima local en la zona ocupada, en vez de un conjunto de aire general para todo el espacio (Ove Arup, 1997).

Otra medida de ahorro energético se dio en la producción de la electricidad utilizando el sistema de cogeneración. Este a diferencia de las centrales eléctricas aprovecha el calor del agua hirviendo y no solo genera electricidad, sino que también aprovecha el proceso para generar calor útil (y/o frío) consiguiendo con una sola fuente de energía primaria dos tipos de energía.

Estos sistemas están diseñados para obtener el máximo aprovechamiento de energía y contribuye a la seguridad del abastecimiento energético, a la sostenibilidad y a la eficiencia energética. Aunque es cierto que, en este tipo de sistemas aún se utilizan energías fósiles, pero en menor cantidad por lo que se emite menos cantidad de dióxido de carbono a la atmósfera (Ove Arup, 1997) (¿Qué es la cogeneración? ¿Cuáles son sus pros y sus contras?, 2019).

Allianz Arena. Herzog & de Meuron.

La principal innovación del estadio está en su fachada integrada y su cubierta de ETFE. Se trata de un material reconocido por su alta transparencia, ligereza y resistencia. Y un aspecto que no es muy conocido es su aporte en algunos beneficios medio ambientales como que su uso puede aportar puntos en las certificaciones LEED y BREEAM. También permite controlar la transmisión del calor y de los rayos UV, es 100% reciclable, reduce la huella de carbono y tiene una gran durabilidad (Beneficios medioambientales del ETFE, 2022) (ETFE: el plástico que surge como alternativa ecológica al vidrio en edificios, 2018).

El proceso de fabricación del ETFE optimiza la energía, los recursos y las materias primas que intervienen en su producción. Por lo que no se requiere el uso de disolventes; utilizándose principalmente agua. Además, es monitoreado hasta el final de su vida útil para poder reducir el impacto y los efectos que tiene sobre el medio ambiente (Beneficios medioambientales del ETFE, 2022) (ETFE: el plástico que surge como alternativa ecológica al vidrio en edificios, 2018).

Gracias a la ligereza y el fácil manejo del material, el consumo energético en una cubierta teniendo en cuenta su producción, transporte e instalación, es de 50 a 200 veces inferior en comparación con otras tecnologías. Y su

mantenimiento requiere recursos mínimos de limpieza porque es auto-limpiable con el agua de lluvia, ya que es antiadherente y eso facilita el arrastre de la suciedad por el material. Por sus propiedades óptico-solares y sus configuraciones, permiten un ahorro energético porque se reduce el uso de luz artificial y de sistemas de acondicionamiento interior para el confort (Beneficios medioambientales del ETFE, 2022) (ETFE: el plástico que surge como alternativa ecológica al vidrio en edificios, 2018).

Saber también que en estos últimos años las lámparas fluorescentes que iluminaban los paneles se han sustituido por iluminación LED. Desde la empresa de alumbrado dicen que ahora mismo el estadio cuenta con más de 300.000 luces LED que hacen que la membrana exterior inflable de la fachada del estadio brille. Lo mejor de este nuevo sistema es que se ahorra más de un 60 % electricidad y unas 362 toneladas de CO₂ si lo comparamos con las lámparas fluorescentes anteriores. Teniendo en cuenta también que el mantenimiento y los costes actuales son menores porque los LED tienen una vida útil promedio de 80.000 horas de funcionamiento (Allianz Arena, s.f.).

Centro acuático Londres 2012. Zaha Hadid.

Como sabemos el diseño del centro acuático se hizo para la celebración de los JJOO de Londres en 2012, por lo que una exigencia que debían cumplir los diseños y las construcciones del parque olímpico fue obtener un certificado Breeam¹.

El comité olímpico se encargó de desarrollar una versión de este certificado a medida para que la sostenibilidad fuera una prioridad y los impactos ambientales se redujeran (London Aquatics Centre | Zaha Hadid Architects, s.f.).

En el diseño destacamos las credenciales de sostenibilidad ya que son permanentes y ejemplares. Se cumplió el objetivo de conseguir el crédito de innovación Breeam principalmente por el inusual uso de mezclas de hormigón, pero también el equipo de diseño pudo reducir al mínimo la eficiencia energética, incorporando niveles muy altos de aislamiento, una envoltura muy bien sellada, sistemas de ventilación de baja velocidad con recuperación de calor muy eficiente y sistemas de calefacción por agua con bombas de velocidad variable (London Aquatics Centre | Zaha Hadid Architects, s.f.).

En la piscina principal se utiliza la iluminación natural y los sistemas mecánicos cuentan con controles adaptables que logran la máxima eficiencia de uso, además el edificio está conectado al sistema de calefacción urbana (London Aquatics Centre | Zaha Hadid Architects, s.f.).

Otro punto importante fue el ahorro de agua. Consiguieron reducir la demanda de agua potable en más de un 40% porque se reutilizaba el agua de las piscinas para las aguas grises de los lavabos y urinarios; y en las duchas y los lavabos se utilizaron accesorios de bajo caudal que supuso un ahorro del 35%. El edificio también está pensando para que la recogida de aguas pluviales sirva para regar el muro verde que hay en el extremo sur del edificio (Culp, Coulibaly, Ebert, Hoelker, & Szparagowski, 2017) (London Aquatics Centre | Zaha Hadid Architects, s.f.).

Importante mencionar que en 2012 en una Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible se elaboró La Agenda 2030 y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El propósito que tenían era crear un conjunto de objetivos mundiales que estuvieran relacionados con los desafíos ambientales, políticos y económicos más urgentes a los que el mundo se presenta (United Nations, s.f.).

¹ Breeam: *Es el método de evaluación y certificación de la sostenibilidad de la edificación técnicamente más avanzado.*

Desde el punto de vista de la sostenibilidad creo que los cinco casos elegidos, aunque se proyectaron antes de la publicación de los ODS, siendo conscientes o no cumplen con los objetivos y aportan su granito de arena para combatir los desafíos ambientales que se proponen.

Los objetivos que veo claros en este punto son dos. El número 7: Energía asequible y no contaminante, y más después del estudio y sabiendo de la menor preocupación que había entonces por el medio ambiente; creo que los proyectos intentan mejorar en el ahorro de energía y la eficiencia energética (United Nations, s.f.).



El otro objetivo es el número 9: Industria, innovación e infraestructura, que como antes los casos son un ejemplo de innovación sobre todo a nivel material, que además de alguna manera esa innovación material está vinculada con el respeto hacia el medio ambiente (United Nations, s.f.).



5.4 Impacto económico

Cuando algo tiene impacto económico es porque produce consecuencias en la situación económica de una persona, una comunidad, una región, un país o el mundo y que está claramente vinculado con el impacto social.

En este punto vamos a tener en cuenta el impacto económico que pudieron generar cada uno de los casos en el momento de su construcción, pero también cómo ha evolucionado el impacto de cada uno de los proyectos en el presente.

Palacio de los Deportes. Félix Candela.

La candidatura de la Ciudad de México a los Juegos Olímpicos de 1968 se basó principalmente «en las instalaciones existentes y la experiencia en eventos anteriores», sin embargo, fue necesario construir algunas sedes más. En concreto fueron ocho y una de ellas fue el Palacio de los Deportes. Era la primera vez que un país latinoamericano recibía la justa olímpica y para ellos fue una buena presentación formal ante el mundo por las autoridades del país (López, 2020).

Los Juegos tuvieron un coste total de 175.840.000 dólares de los que 53.600.000 se utilizaron para las instalaciones deportivas. Uno de los principales problemas que se presentaron fue que la construcción de las sedes se retrasó y esta situación provocó críticas a los organizadores e incluso se especuló sobre un cambio de sede. Eso llevó a que solo tres de los ocho inmuebles nuevos fueron diseñados por la Secretaría de Obras Públicas y el resto fue relevado a arquitectos independientes, pero se intentó que las instalaciones fueran construidas por técnicos mexicanos y se consiguió a excepción del velódromo (González César, 2018).

En ese momento el enorme estadio cumplió con su cometido, destacó por su estética futurista, ya que en ese momento se creía que el diseño, el arte y la arquitectura también debían ser parte de los Juegos Olímpicos y eso lo convirtió en uno de los recintos más importantes del país. Durante los JJOO el estadio fue la sede del baloncesto y albergó a 22.370 espectadores. En él jugaron las 16 selecciones clasificadas un total de 72 partidos (López, 2020).

Cuando terminaron los Juegos, el Palacio tuvo una década de desuso y en las décadas de los 70 y 80, el Palacio de los Deportes fue un foro subutilizado. Los deportes no se le dieron mucho en esos años y solo se celebraron

algunos eventos esporádicos en él. Fue muy popular “La Feria del Hogar”, también se utilizó como Plaza de Toros en un par de ocasiones en el que el precio de las entradas era desorbitado y fracasó y se jugó la Copa Davis porque México estaba en la primera división (Tomasini, 2015).

Con un aforo de 22 mil espectadores, en la década de los 90 hasta hoy es un referente para eventos de toda clase: desde conciertos, partidos de distintos deportes como baloncesto, voleibol o jockey, hasta espectáculos sobre hielo, actos circenses y exposiciones. Y a pesar de los problemas acústicos que se han criticado en su interior, el Palacio ahora mismo se sigue manteniendo como un escenario perfecto para conciertos y otros eventos de mediana convocatoria al oriente de la Ciudad de México, es más fue el lugar que ayudó a que ahora mismo existan todo tipo de foros que presentan espectáculos internacionales en la capital (Tomasini, 2015).

Palau Sant Jordi. Arata Isozaki.

El Palau Sant Jordi lo inauguraron el día 21 de septiembre de 1990, justo dos años antes de que se celebraran los Juegos Olímpicos de Barcelona y, a día de hoy, todavía es considerado una obra maestra de la arquitectura y la ingeniería moderna. Y parte del éxito es gracias a la gran flexibilidad que permite que el recinto se pueda adaptar para recibir diferentes tipos de acontecimientos (Ajuntament de Barcelona, s.f.)

El pabellón multifuncional es la joya del llamado «Anillo Olímpico de Montjuic», que lo componen también el Estadio Olímpico o las Piscinas Picornell. En los JJOO del 92 fue el principal pabellón cubierto y en los Juegos Paralímpicos una de sus sedes. Una vez terminados los Juegos el Palau ha seguido acogiendo regularmente eventos deportivos, es más llegó incluso a ser la sede principal en los Campeonatos del Mundo de Natación en 2003 y 2013 donde incluso se instalaron piscinas (Ajuntament de Barcelona, s.f.)

Es importante destacar que además de los grandes espectáculos deportivos, el Palau Sant Jordi es uno de los lugares más solicitados de Barcelona para organizar espectáculos musicales y teatrales, esto se debe a su gran aforo, su comodidad, y a la excelente acústica que tiene el recinto. Si es cierto que su capacidad varía dependiendo del tipo de evento siendo de 24.000 espectadores, aunque actualmente de 18.000 porque las ordenanzas municipales han restringido las licencias para los eventos musicales y entre 12.000 hasta 16.670 dependiendo del tipo de evento deportivo (Ajuntament de Barcelona, s.f.) (Anexo: Eventos celebrados en el Palau Sant Jordi, s.f.).

Para tener en cuenta el gran impacto que genera el Palau en la ciudad de Barcelona, debemos saber qué es un centro de actividad que no ha parado de acoger todo tipo de eventos y que se han llegado a celebrar más de 45 espectáculos en un solo año. De hecho, el primer concierto que tuvo lugar en él fue en 1991, incluso antes de que se celebraran los Juegos (Ajuntament de Barcelona, s.f.) (Anexo: Eventos celebrados en el Palau Sant Jordi, s.f.).

Si hablamos en términos de dinero, sabiendo el tirón de la ciudad en todo lo referente al mundo del espectáculo, el ayuntamiento de Barcelona convocó a mediados de 2010 un concurso público para compartir con la empresa pública *Barcelona de Serveis Municipals* el control de los dos espacios emblemáticos de los Juegos de 1992, uno de ellos el Palau Sant Jordi. El licitador que ganó el concurso obtuvo el 49% de la entidad, durante 10 años, pudiendo ampliarse solo hasta 20 y teniendo como condición la presentación de un anteproyecto de inversiones para un plazo de cinco años, estimado en un mínimo de cinco millones de euros (Hereu privatiza parte de la gestión de la Anella Olímpica, 2010) (Márquez Daniel, 2011).

Velódromo olímpico. Dominique Perrault.

Uno de los eventos más famosos y destacados del calendario deportivo de la ciudad de Berlín es la mundialmente conocida Carrera de los Seis Días. El Velódromo olímpico, conocido como Velodrom, es el sitio donde se celebran anualmente estas emocionantes carreras, y además su pista de 250 metros es considerada como una de las más rápidas del mundo. Este famoso evento tiene una tradición de más de 100 años y cuenta con una perfecta mezcla de ciclismo, eventos musicales y hasta espectáculos (Velodrom, s.f.) (Velomax Berlin Hallenbetriebs, s.f.).

No siendo fiel a su nombre, en el particular Velodrom también se puede disfrutar de otro tipo de eventos deportivos ya que acoge, por ejemplo, una serie de eventos que van desde campeonatos de tenis de mesa hasta carreras de motocross en pista cubierta, espectáculos ecuestres y de patinaje artístico sobre hielo (Velodrom, s.f.) (Velodrom (Berlin), s.f.).

Gracias a que tiene una acústica perfecta y unas buenas instalaciones de producción es uno de los principales recintos de conciertos y espectáculos de la ciudad de Berlín y con su capacidad de 5.500 espectadores, pero llega hasta los 12.000 espectadores según el tipo de evento, por eso ha sido el recinto más grande de espectáculos hasta que en 2008 se construyó el O2 World (Velodrom, s.f.) (Velodrom (Berlin), s.f.).

Allianz Arena. Herzog & de Meuron.

Describen al Allianz Arena como un templo futbolístico único, una obra maestra de la arquitectura, un símbolo de Múnich y el hogar del FC Bayern. Anteriormente la instalación era la sede de los equipos de fútbol locales FC Bayern München y TSV 1860 München, pero actualmente solo acoge al FC Bayern (FC Bayern Munich, s.f.).

Para su construcción los dos principales equipos invirtieron una cantidad de 346 millones de euros y con una ejecución bastante rápida, el partido inaugural se hizo el día 30 de mayo de 2005. Un año más tarde, el TSV 1860 tuvo que vender su parte de la propiedad al FC Bayern, lo que le convirtió en el único propietario. Es más, ambos equipos tenían previsto saldar el dinero del crédito de su inversión en 2030 y gracias a la cantidad de ingresos que consigue el Bayern de Múnich en su estadio, en 2014 consiguieron terminar de pagar los millones de euros que habían pedido prestados (Orts, 2022) (Martín, 2018).

Saber también que está gran cantidad de ingresos no se debe sólo a la venta de entradas, sino también a los ingresos generados a través de otros apartados, como el merchandising o, fundamentalmente, los consumibles. Además, los días de no partido el estadio ofrece la posibilidad de visitarlo con un recorrido por la Arena y la visita al museo del FC Bayern (FC Bayern Munich, s.f.).

La capacidad del estadio es de 75.024 espectadores y las entradas escasean, ya que se trata del club con mayor cantidad de socios en el mundo, con un total 290.000 fanáticos afiliados. Por lo que, contar con un estadio de estas características en la ciudad, atrae la atención de miles de turistas y ahora mismo son considerados monumentos que directamente se convierten en una de las atracciones principales de la ciudad y entran en las prioridades a visitar cuando se viaja (FC Bayern München, el club más grande del mundo: más socios que FC Barcelona, River Plate y otros clubes de la Bundesliga, s.f.).

Centro acuático Londres 2012. Zaha Hadid.

Como ya hemos visto anteriormente el centro acuático fue una de las construcciones que se hicieron para Londres 2012. La ciudad sabía que el impacto económico que conllevaba la celebración de los Juegos Olímpicos era indudable puesto que durante esos días el mundo se centra en la ciudad sede y los ojos están puestos sobre ellos. Por fortuna, la ciudad, meses antes de que se celebraran los juegos empezó a tener favorables repercusiones económicas tanto en la ciudad como en el país y se llegaron a crear más de 50 mil empleos (Alto Nivel, 2012).

La situación del Parque Olímpico, donde está ubicado el centro acuático, era conocida como "Londres marginal" y se trataba de una zona excluida por los turistas ya que tenía edificaciones antiguas, zonas pobres y un contaminado río Lea. Por lo que con el proyecto se pensaba inaugurar un centro comercial con más de 300 tiendas, y renovar las vías ferroviarias. Además, se quería trabajar de forma paralela en rutas de bicicletas, zonas verdes y en la limpieza del río para crear el parque urbano más grande que Europa. Pero no solo eso, otro de los planes era poner en venta los apartamentos que se construyeran en la Villa olímpica para los atletas y que fuera posible seguir entregando viviendas y ofertas de empleo durante 25 años.

Con todo esto el gobierno británico tenía en mente, aparte del beneficio económico y del prestigio que da la celebración de los Juegos, aprovechar este impulso para mejorar las infraestructuras, el deporte y darles vida a zonas olvidadas de la ciudad (Alto Nivel, 2012).

Ahora bien, ¿qué parte de las intenciones han sido posibles? La UK Sport¹ posteriormente a los juegos hizo un informe sobre la rentabilidad que ha obtenido la ciudad de Londres con el reaprovechamiento de las instalaciones que se construyeron entonces para los Juegos Olímpicos. La rentabilidad del centro acuático fue de 5,6 millones de euros gracias a los Campeonatos Acuáticos Europeos de 2016 (Palco23, 2018).

En la actualidad, el centro acuático aparte de servir para importantes eventos deportivos también ofrece un amplio programa de actividades, desde sesiones familiares divertidas hasta clases de natación y buceo, al mismo precio las piscinas de los centros locales, solo que en este caso bajo el conocido techo ondulado y en una de las mejores instalaciones acuáticas, así que en general se considera que el reciclaje de la sede de Londres 2012 ha sido un acierto (Del reciclaje de Londres a la ruina de Atenas: el costoso futuro de las sedes, 2021) (London Aquatics Centre, s.f.).

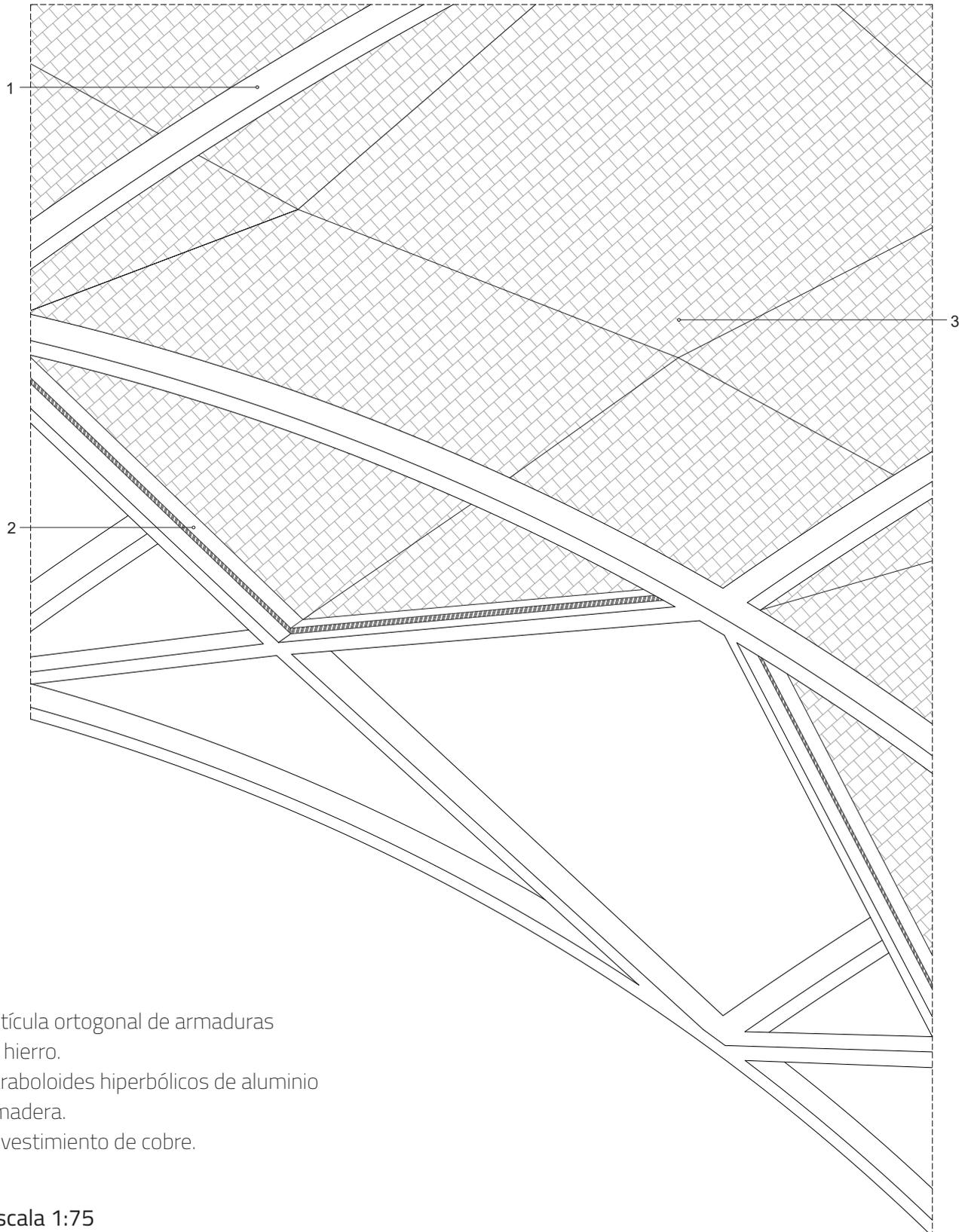
Para terminar este punto voy a hablar de lo otro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que creo que pueden tener relación con el tema. Después del estudio global de los cinco casos podemos estar seguros de que la construcción de estos grandes inmuebles lleva detrás la generación de bastante empleo ya sea directa o indirectamente y conlleva al crecimiento económico de las ciudades.

Es por eso por lo que el ODS número 8: Trabajo decente y crecimiento económico, esta ciertamente vinculado con el estudio. Las Naciones Unidas plantean que un crecimiento económico inclusivo y sostenido puede impulsar el progreso, crear empleos decentes para todos y mejorar los estándares de vida. Y como hemos visto anteriormente los espacios estudiados, aunque en algunos casos no sea para lo que fueron previstos en su inicio, siguen siendo rentables para las ciudades por cantidad de eventos que se celebran en ellos y también la curiosidad que despiertan en los turistas simplemente por sus buenas capacidades.

¹ UK Sport: *Es la agencia gubernamental responsable de invertir en el deporte olímpico y paralímpico en el Reino Unido. Se trata de un organismo público ejecutivo no departamental patrocinado por el Departamento de Digital, Cultura, Medios y Deporte.*

6. Detalles constructivos

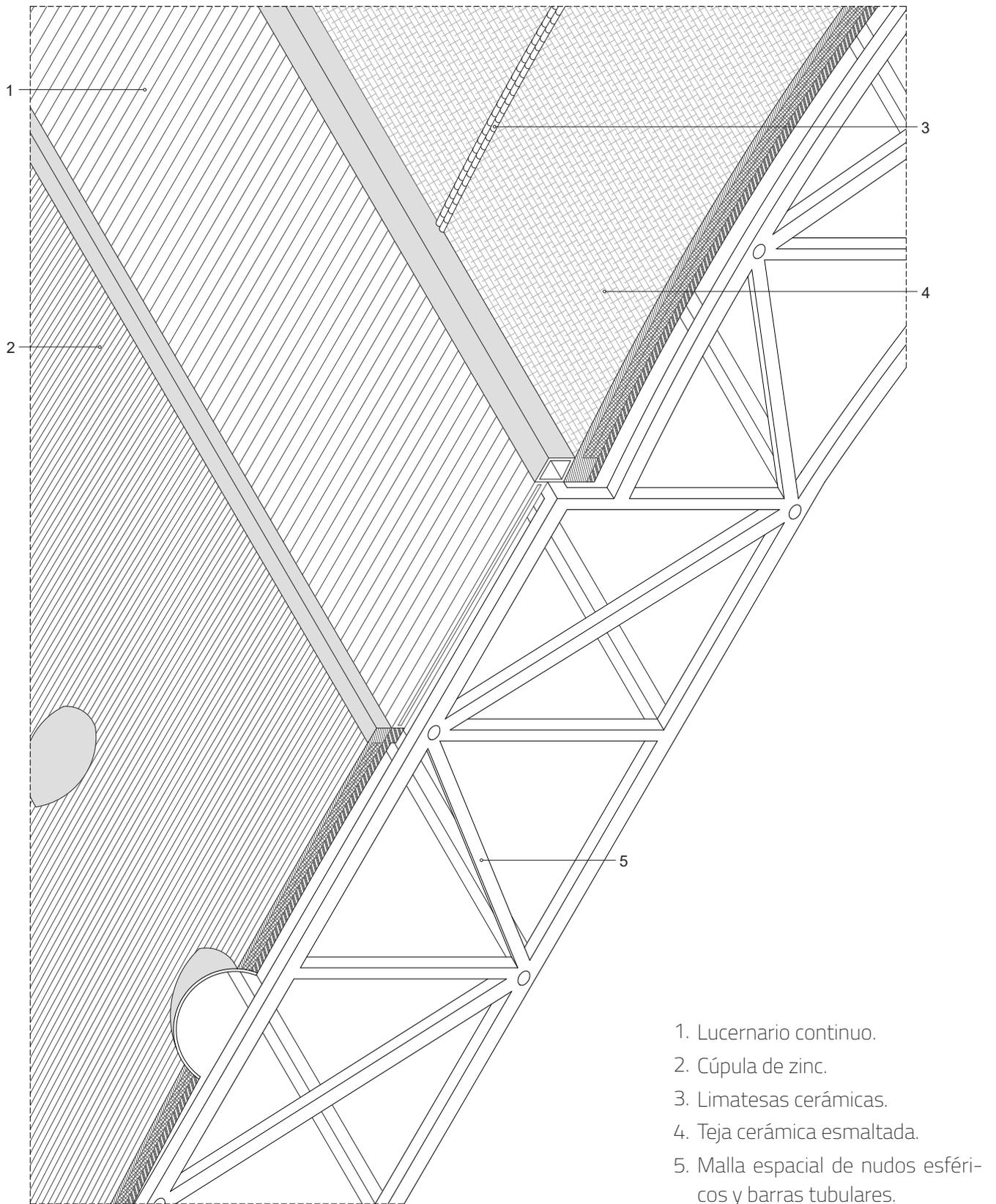
Palacio de los Deportes. Félix Candela.



1. Retícula ortogonal de armaduras de hierro.
2. Paraboloides hiperbólicos de aluminio y madera.
3. Revestimiento de cobre.

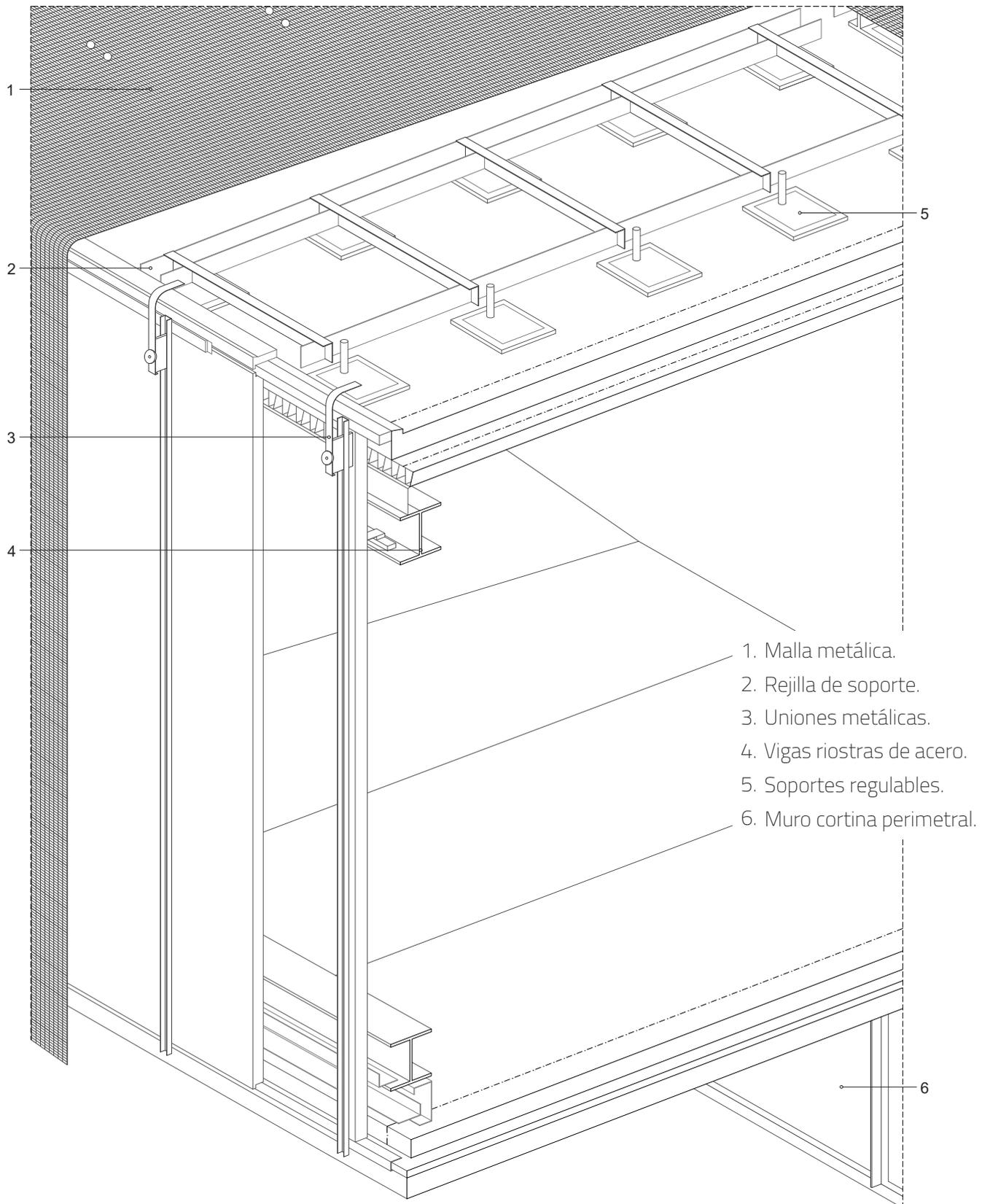
Escala 1:75

Palau Sant Jordi. Arata Isozaki.



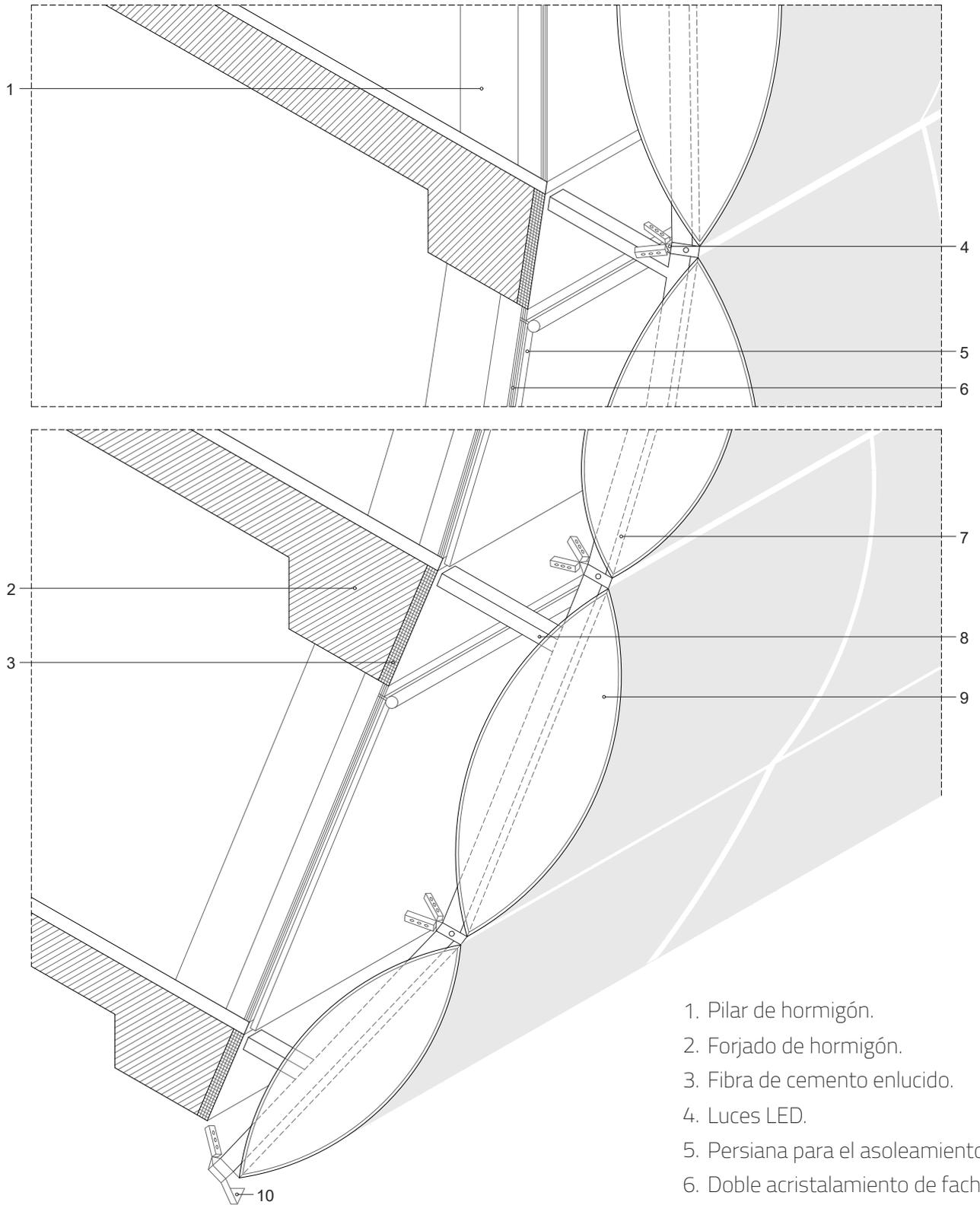
Escala 1:75

Velódromo olímpico. Dominique Perrault.



Escala 1:75

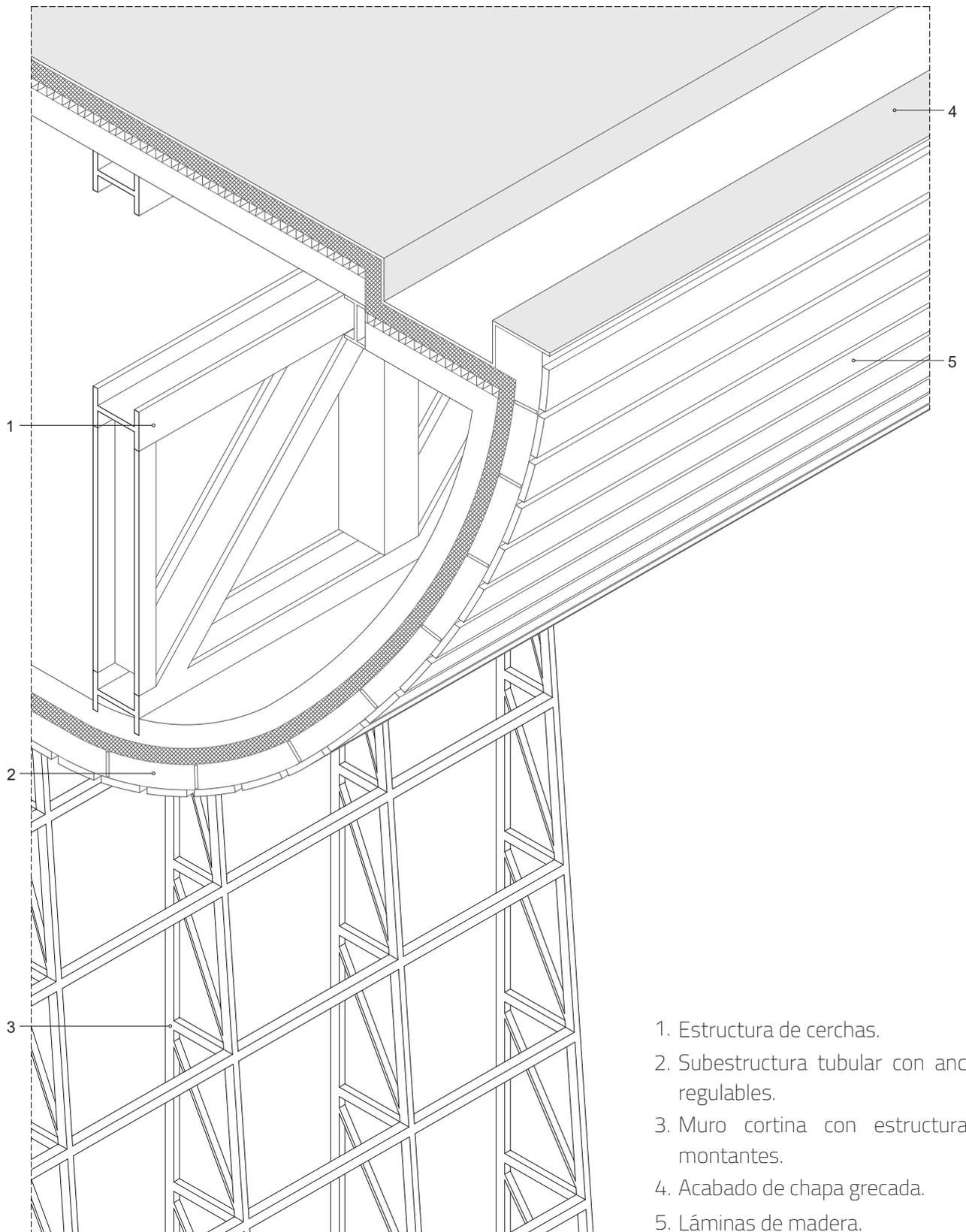
Allianz Arena. Herzog & de Meuron.



1. Pilar de hormigón.
2. Forjado de hormigón.
3. Fibra de cemento enlucido.
4. Luces LED.
5. Persiana para el asoleamiento.
6. Doble acristalamiento de fachada.
7. Subestructura de acero.
8. Soporte de fachada de acero.
9. Paneles rombiodales de ETFE.
10. Canalón de acero galvanizado.

Escala 1:75

Centro acuático Londres 2012. Zaha Hadid.



Escala 1:75

7. Conclusiones

Una vez terminado el trabajo me gustaría destacar que me ha parecido más interesante de lo que me esperaba. Siempre me ha llamado la atención la construcción de estas macroestructuras y me sorprende ver cómo con el tiempo siempre van a más y se superan. Es cierto que el avance tecnológico es un factor muy importante y que debemos tener en cuenta, pero también creo que en muchos casos es complicado superar obras anteriores ya que, por su calidad de diseño, estarán siempre en la cima por mucho que pasen los años.

Quiero recalcar que, una vez he analizado las estructuras, en muchos de los casos la propuesta nunca se hubiera llevado a cabo de no ser por los ingenieros. Ya que son ellos los que llevan al límite los cálculos y la optimización del diseño para poder llevar a cabo lo que los proyectistas buscan. Es más que evidente que la evolución en los sistemas constructivos va más hacia unas estructuras mucho más ligeras y con menos presencia en el conjunto, como se puede observar en los detalles constructivos.

Las axonometrías nos dejan ver una clara evolución en los sistemas constructivos, empezando por la estructura muy protagonista del Palacio de los Deportes, en el que Candela deja ver la estructura como uno de los elementos principales del conjunto. Siguiendo con el Palau Sant Jordi y el Velódromo, donde la estructura únicamente queda vista en el interior y oculta en el exterior empleando distintos materiales de acabado. Y, por último, en el Allianz Arena y el Centro Acuático, en estos casos vemos como la estructura prácticamente desaparece de la vista y queda totalmente oculta bajo unos excelentes materiales de acabado que se llevan todo el protagonismo y que crean la imagen de ambos conjuntos.

En cuanto a la materialidad, teniendo en cuenta que en los años de algunas construcciones el impacto ambiental no estaba tan a la orden del día, es grato ver cómo, no se puede saber si de manera consciente o inconsciente, se utilizaban materiales que generalmente eran menos perjudiciales que los más habituales. Además, creo que es este punto donde de verdad se puede ver un gran cambio generacional. Creo que se debe tener en cuenta que el acabado de cobre que utiliza Candela fue y sigue siendo sorprendente, pero el paso más grande creo que está en los paneles de plástico reciclado que utilizan Herzog & De Meuron en el Allianz Arena.

Esto tiene mucho que ver con la evolución en la sostenibilidad de los diferentes casos. Aun yéndonos hasta 2012, el diseño de Zaha para los Juegos es sin duda el ejemplo de sostenibilidad y eficiencia energética de los cinco, no solo por su buen uso de los materiales sino por los sistemas de ventilación y calefacción que se incorporaron.

Por otra parte, el impacto de estos edificios no ha sido algo que me haya llamado la atención. Creo que ahora mismo los inmuebles de estas dimensiones llevan consigo un punto a favor. Y es que, actualmente, el deporte y sobre todo el fútbol tiene una relevancia de gran magnitud en la sociedad por lo que es muy probable que construcciones de estas características lleguen a mucha gente. Me parece muy útil también que el diseño de estos edificios se haga pensando en un uso múltiple y que permitan el cambio o la redistribución de su espacio, pero a la par no me parece nada fácil porque obviamente la meta es otra, pero ese espacio debe servir para otras cosas. Creo que eso se puede ver muy bien en el Palacio de los Deportes, ya que su principal objetivo era servir como pabellón, pero actualmente se ha convertido en una sala multiusos donde la mayoría de los eventos son conciertos, pero no fue todo tan fácil puesto que tuvieron que intervenir en su acústica.

Para acabar con las variables, me gustaría remarcar que en todos los casos el emplazamiento de los edificios ha tenido una función y siempre se ha hecho con la intención de mejorar o avivar los espacios. Me parece algo muy interesante la influencia que tienen estos grandes edificios con el urbanismo y como con estas construcciones se busca sorprender y destacar con una buena intención.

Tengo la sensación de que en este aspecto los grandes inmuebles juegan con ventaja, ya que por mucho que su diseño o sus materiales sean de lo más innovadores o estén fuera de los límites, es muy raro encontrar proyectos que desentonen con el entorno.

Antes de terminar con las conclusiones quiero hacer una reflexión general de cosas que me he ido dando cuenta durante la investigación. Veo claro que estas construcciones son casi siempre ventajosas para los lugares de implantación porque en muchos casos se aprovechan zonas que necesitan un empuje para salir adelante, pero también es verdad que hay veces que se expropian zonas con mucha cultura en ella.

Creo que esto puede dar pie a abrir un debate sobre las ventajas y desventajas que producen cada una de las posibilidades. Otra cosa que veo muy clara es que las construcciones de grandes dimensiones despiertan interés en la sociedad y tras su construcción pasan a ser hitos de sus ciudades y traen con ellas buena cantidad de turistas con la intención de visitarlas.

Me he dado cuenta también de que por mucho que avance la sociedad, en casos como estos de gran envergadura siempre se va un poco por delante de la época y eso permite que estos edificios no pasen su época de oro y sigan llamando la atención igual que al principio. Esto me parece bastante interesante y, sin ninguna duda, es un factor muy positivo porque van a ser siempre una fuente de inspiración para futuras construcciones.

Ya para terminar, está claro que la tecnología avanza y en otras edificaciones no está tan clara esta evolución, pero en estos casos sí que son un buen ejemplo de estas nuevas tecnologías. También se ve una evolución frente a los criterios sostenibles y en muchos casos los diseños tienen la obligación de implantarlos en su diseño como pasó con el Centro Acuático, pero sin embargo es algo a destacar porque sirven de ejemplo para futuras construcciones. Todo esto implica una gran innovación que sin duda dará pie a la creatividad de los arquitectos que visto lo visto no tienen ningún límite y consiguen lo que se proponga.

8. Bibliografía

- AA.VV. (2012). Londres 2012. Luces y sombras de unos Juegos reciclables. *Arquitectura Viva*(143), 50-55.
- Ajuntament de Barcelona. (s.f.). *Palau Sant Jordi: Inici*. Obtenido de Palau Sant Jordi. Barcelona: <https://palausantjordi.barcelona>
- Akçay, A. Ö., & Tarboush, R. (2019). Evaluation of curvilinear structural systems used by Zaha Hadid's architecture. *Amazonia Investiga*.
- Allianz Arena. (s.f.). *Philips Lighting*. Obtenido de Lighting Philips: <https://www.lighting.philips.es/proyectos/proyectos/estadios-y-deportes/allianz-arena>
- Allianz Arena, 2. (2006). *HERZOG & DE MEURON*. Obtenido de Herzog & De Meuron : <https://www.herzogdemeuron.com/index/projects/complete-works/201-225/205-allianz-arena.html>
- Alonso Pereira, J. R. (2017). *España 92: Arquitectura y Ciudad: 25 años después*. Argentina: Diseño Editorial.
- Alonso, M. A. (2011). *Grandes cubiertas españolas*. Madrid: ACS.
- Alto Nivel. (2012). Londres y el negocio de los Juegos Olímpicos. *Alto Nivel*.
- Anella Olímpica de Montjuïc. (s.f.). *Visit Barcelona Turisme de Barcelona Official*. Obtenido de Barcelona turisme: <https://www.barcelonaturisme.com/wv3/es/page/1164/anella-olimpica-de-montjuic.html>
- Anexo: Eventos celebrados en el Palau Sant Jordi. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Eventos_celebrados_en_el_Palau_Sant_Jordi#Enlaces_externos
- Aquatics Centre, L. (2011). *Zaha Hadid Architects*. Obtenido de Zaha Hadid Architects: <https://www.zaha-hadid.com>
- Arquitectura Viva. (2008). Dominique Perrault. *AV Monografías*(134), 48-57.

- ARUP. (2012). *Arup*. Obtenido de Arup: We shape a better world: <https://www.arup.com/projects/london-2012-aquatics-centre>
- Arup, O. (1997). Radsporthalle, Berlin. *The Arup Journal*, 32(4), 3-10.
- Aymerich, N., & Justo, E. (2013). *Construcció industrialitzada i innovació. Palau Sant Jordi*. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona: Barcelona Tech.
- Beneficios medioambientales del ETFE. (2022). *Linkedin*. Obtenido de LinkedIn: https://es.linkedin.com/pulse/beneficios-medioambientales-del-etfe-cidelsa-tensoestructuras?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card
- Calzón, J. M. (1989). La cubierta del Palau d'Esports Sant Jordi. Tipologia i procés constructiu. *Espais*(15), 34-43.
- Candela Outeriño, F. (30 de Noviembre de 1968). Palacio de los Deportes. *Informes de la Construcción*, 21(205), 6-12.
- Carranza, V. (20 de Noviembre de 2010). La Magdalena Mixiuhca: pueblo antiguo que se resiste a desaparecer. *La Jornada*(38).
- Cerámica La Coma. (s.f.). *La Coma Solucions*. Obtenido de La Coma: <https://lacoma.com/ca/silensis/avantatges/>
- Chinampas. Unos huertos muy especiales. (s.f.). *Agromática*. Obtenido de Agromática -La web de referencia en agricultura: <https://www.agromatic.es/chinampas/>
- Clásicos de Arquitectura: Palacio de los Deportes / Félix Candela. (2014). *Plataforma Arquitectura*. Recuperado el 2022, de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-331368/clasicos-de-arquitectura-palacio-de-los-deportes-felix-candela>
- Cousins, S. (1 de April de 2014). Aquatic spectacular. *The RIBA Journal*.
- Cubiertas de cobre. (s.f.). *Rendal*. Obtenido de Rendal: <https://rendal.es/cubiertas/cubiertas-cobre/>
- Culp, C., Coulibaly, B., Ebert, J., Hoelker, M., & Szparagowski, N. (2017). *An Analysis of London Aquatic Center*. University of Cincinnati.
- Del reciclaje de Londres a la ruina de Atenas: el costoso futuro de las sedes. (8 de Agosto de 2021). *iusport*.

Eadic. (23 de Mayo de 2014). Obtenido de Eadic: <https://eadic.com/blog/entrada/timelapse-la-construccion-del-estadio-allianz-arena/>

El País. (17 de Enero de 1984). Aprobado el diseño de las Instalaciones olímpicas de la candidatura de Barcelona. *El País*.

elZinc®. (2012). *Detalles, transformación e instalación*. Olloniego: Asturiana de laminados, S.A.

Epting, C. (2002). *Los Angeles Memorial Coliseum*. Chicago, IL: Arcadia Publishing.

Española, R. A. (s.f.). *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 2022, de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/sostenible?m=form>

ETFE: el plástico que surge como alternativa ecológica al vidrio en edificios. (2018). *iambiente*. Obtenido de iambiente: <https://iambiente.es/2018/10/efte-alternativa-vidrio-edificios/>

FC Bayern München, el club más grande del mundo: más socios que FC Barcelona, River Plate y otros clubes de la Bundesliga. (s.f.). *Bundesliga*. Obtenido de Bundesliga | official website: <https://www.bundesliga.com/es/noticias/bayern-munich-hinchas-socios-afiliados-dortmund-schalke-barcelona-river-474691.jsp>

FC Bayern Munich. (s.f.). *Allianz Arena*. Obtenido de Allianz Arena, casa del FC Bayern Munich: <https://allianz-arena.com/es>

Galiano, L. F. (1985). Estadio olímpico, Berlín. *AV Monografías, N°1*, 100.

Galiano, L. F. (2008). *AV Monografías. Arquitectura Viva*(134), 48-57.

García, X. (13 de Septiembre de 2013). *Oi REALTOR*. Obtenido de Oi REALTOR: Agencia Inmobiliaria de lujo: <https://www.oirealtor.com/noticias-inmobiliarias/arquitectura-de-barcelona-pasado-presente-y-futuro/>

Guía definitiva con las características, ventajas y precios de las cubiertas de cobre. (s.f.). *Cubiertas del Centro*. Obtenido de Cubiertas de Zinc: <https://www.cubiertadezinc.es/category/zinc-cobre/>

González César, J. C. (22 de Octubre de 2018). *Memoria económica de México 1968*. Recuperado el 2022, de Deportes Inc. | Plataforma digital de negocios deportivos: <https://deportesinc.com/deportes-inc/inversion-en-mexico-68/>

- Hereu privatiza parte de la gestión de la Anella Olímpica. (15 de Junio de 2010). *Expansión*.
- Herzog & De Meuron. (23 de February de 2003). *d-spannenkrebs*. Obtenido de d-spannenkrebs: <http://www.d-spannenkrebs.de/stadion/stadion.htm>
- Herzog, J., & Meuron, P. d. (2002). 205 Allianz Arena. *205 Allianz Arena*. München-Fröttmaning, Germany.
- Hoffman. (s.f.). Olympia Stadion, Berlin. *Das Olympia-Stadion*. Federal Government Commissioner for Culture and Media, Berlin.
- Isozaki, A. (1992). A system called "architecture". *Temes de disseny*.
- Karlo. (28 de April de 2020). Velodrom Berlin, an interesting structure underground. *I Love Croatia*.
- Kawaguchi, M. (1990). Estructuras espaciales con geometrias cambiantes. *Revista Digital del Cedex*(75), 57-58.
- La Vanguardia. (16 de Enero de 2020). Atardecer en el Anillo Olímpico. *La Vanguardia*.
- London Aquatics Centre | Zaha Hadid Architects. (s.f.). *Arch20 | Architecture and Design magazine*. Recuperado el 2022, de Arch 20: <https://www.arch20.com/london-aquatics-centre-zaha-hadid-architects/>
- London Aquatics Centre. (2011). *Zaha Hadid Architects*. Obtenido de Zaha Hadid: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/london-aquatics-centre/>
- London Aquatics Centre*. (s.f.). Obtenido de London Aquatics Centre | Better Swimming Pool, Diving Pool and Gym: <https://www.londonaquaticscentre.org>
- London Olympic Master Plan: Regeneración Urbana inteligente. (19 de Julio de 2012). Plataforma Urbana. Obtenido de Plataforma Urbana: <https://www.plataformaurbana.cl/archive/2012/07/19/london-olympic-master-plan-regeneracion-urbana-inteligente/>
- López, A. I. (2020). Palacio de los Deportes: Historia. *AD Magazine*, 1.
- Márquez Daniel, C. (12 de Enero de 2011). La privatización del anillo olímpico cambia el modelo de gestión cultural. *El Periódico*.
- Mack, G. (2008). Herzog & de Meuron 1997-2001. *The Complete Works: 4* (Vol. 4). Basel / Boston / Berlin: Birkhäuser.

- Mañas, A. (2013). *Gladiadores: El gran espectáculo de Roma*. Barcelona: Ariel.
- Martín, J. (26 de Abril de 2018). El Allianz Arena, la máquina de hacer dinero del Bayern de Múnich. *el Economista*.
- Masterplan for the London 2012 Olympic and Paralympic Games and legacy. (s.f.). *Buro Happold - Integrated consulting engineers and advisers*. Obtenido de Buro Happold: <https://www.burohappold.com/projects/masterplan-for-the-london-2012-olympic-and-paralympic-games-and-legacy/#>
- Méndez, J. Á. (2013). *Geometría Arquitectónica: La estructura del Palacio de los Deportes. Coloquio Internacional Félix Candela: Vida, Obra y Legado*. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México., México.
- Millán, L. (25 de Enero de 2020). Características, ventajas y precios de las cubiertas metálicas. *Revista Houzz*.
- ¿Qué es la cogeneración? ¿Cuáles son sus pros y sus contras? (2 de Octubre de 2019). *Effenmark*. Obtenido de Effenmark: <https://effenmark.es/que-es-la-cogeneracion-pros-y-sus-contras/>
- Orts, J. (23 de Marzo de 2022). *Muniqueando*. Obtenido de Muniqueando: <https://muniqueando.com/allianz-arena/>
- Ove Arup. (1997). Radsportthalle, Berlin. *The Arup Journal*, 32(4), 3-10.
- Palau Sant Jordi. (s.f.). *Visit Barcelona Turisme de Barcelona Official*. Obtenido de Barcelona Turisme: <https://www.barcelonaturisme.com/wv3/es/page/1064/palau-sant-jordi.html>
- Palco23. (27 de Julio de 2018). Londres 2012 acumula un impacto de 150 millones en la ciudad. *Palco23*.
- Patrimoni Cultural. (s.f.). *Patrimoni Cultural. Generalitat de Catalunya*. Obtenido de Patrimoni Cultural. Generalitat de Catalunya: <https://patrimoni.gencat.cat/ca/coleccio/arquitectura-i-urbanisme-contemporanis>
- Perrault, D. (1998). *Dominique Perrault Architecture*. Obtenido de Perrault Architecture: https://www.perraultarchitecture.com/es/proyectos/2464-velodromo_y_piscina_olimpica_de_berlin.html
- Plessis, C. d. (1999). *Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries*. Report Publication 237, CIB, Rotterdam.

Project managers of Allianz Arena. (2004). *Wall Facade of Allianz Arena in Munich, Germany*. IPL GmbH. Germany.

Real Academia Española. (s.f.). *Diccionario panhispánico del español jurídico [en línea]*. Recuperado el 2022, de Real Academia Española: <https://dpej.rae.es/lema/zona-de-urbanización-ejidal>

Revista arquitectura, 1. (1968). *Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid*. Obtenido de COAM: Home: <https://www.coam.org/media/Default%20Files/fundacion/biblioteca/revista-arquitectura-100/1959-1973/docs/revista-articulos/revista-arquitectura-1968-n116-pag10-13.pdf>

Salvador, J. L. (2004). *El deporte en Occidente*. Madrid: Cátedra.

Serrano Muñoz, A. (2019). *Aproximación arquitectónica y análisis constructivo del Centro Acuático de Londres de Zaha Hadid*. Universidad Politécnica de Valencia, 54.

Sheard, R. (2001). *Sports Architecture*. London: Taylor & Francis.

SINN, U. (2004). *Das antike Olympia: Götter, Spiel und Kunst*. Verlag C.H. Beck.

Tomasini, C. (31 de Diciembre de 2015). La historia del Palacio de los Deportes. *Chilango*.

United Nations. (s.f.). *Welcome to the United Nations*. Obtenido de United Nations: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Velodrom (Berlin). (s.f.). *Wikipedia. Die freie Enzyklopädie*. Obtenido de Wikipedia:Hauptseite: [https://de.wikipedia.org/wiki/Velodrom_\(Berlin\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Velodrom_(Berlin))

Velodrom. (s.f.). *Visit Berlin*. Obtenido de Visit Berlin: <https://www.visitberlin.de/de/velodrom>

Velomax Berlin Hallenbetriebs. (s.f.). *Velodrom - Velodrom - Berlin*. Obtenido de Velodrom: <https://www.velodrom.de/besucherservice/fragen-und-antworten>

WikiArquitectura. (s.f.). *WikiArquitectura*. Obtenido de WikiArquitectura: <https://en.wikiarquitectura.com/building/velodrome-and-olympic-swimming-pool-in-berlin/>

Anexo. Índice imágenes

Ilustración 1. Plano de Olimpia según las descripciones de Pausanias	8
Ilustración 2. Vista aérea Coliseo Romano (1776)	8
Ilustración 3. Representación de las luchas en el Coliseo	8
Ilustración 4. Antigua imagen de un torneo medieval	8
Ilustración 5. Los Angeles Memorial Coliseum como imagen principal en los JJOO de 1932	9
Ilustración 6. Estadio olímpico de Berlín durante los JJOO del 36	9
Ilustración 7. Palacio de los Deportes	10
Ilustración 8. Palau Sant Jordi	10
Ilustración 9. Velódromo olímpico	11
Ilustración 10. Allianz Arena	11
Ilustración 11. Centro Acuático Londres 2012	12
Ilustración 12. Vista cubierta del Palacio de los Deportes	14
Ilustración 13. Vista aérea del Palacio de los Deportes	14
Ilustración 14. Vista aérea del Palau Sant Jordi	15
Ilustración 15. Vista exterior del alzado del Palau Sant Jordi	15
Ilustración 16. Vista interior del Velodrom	16
Ilustración 17. Vista aérea del Velodrom	16
Ilustración 18. Vista exterior del Velodrom	16
Ilustración 19. Vista aérea del Allianz Arena	17
Ilustración 20. Vista general del Allianz Arena	17
Ilustración 21. Vista de la cubierta del Allianz Arena	17

Ilustración 22. Vista exterior de noche del Centro acuático	18
Ilustración 23. Vista aérea del Centro acuático	18
Ilustración 24. Ciudad deportiva Magdalena Mixhuca (CDMX)	19
Ilustración 25. Anella Olímpica de Montjuïc (Barcelona)	20
Ilustración 26. Piscina y velódromo olímpicos (Berlín)	21
Ilustración 27. Estadio Allianz Arena (Múnich)	21
Ilustración 28. Queen Elizabeth Olympic Park (Londres)	22
Ilustración 29. Cubierta formada por paraboloides hiperbólicos de aluminio tubular sujetos a los arcos de acero	25
Ilustración 30. Acabado de cobre sobre la cubierta	25
Ilustración 31. Pilares en V sobre los que apoya la estructura exterior y pilares revestidos de fábrica de ladrillo como pórticos de acceso	25
Ilustración 32. Partes de la cubierta	26
Ilustración 33. Montaje de la cubierta sobre el suelo	26
Ilustración 34. Acabado de las esquinas de la cubierta	26
Ilustración 35. Principio del sistema Pantadome	26
Ilustración 36. Construcción de la estructura radial del edificio	27
Ilustración 37. Encuentro de la estructura principal con la estructura de la cubierta	27
Ilustración 38. Exterior con el recubrimiento de la malla metálica	27
Ilustración 39. Vista aérea de la construcción del estadio	28
Ilustración 40. Estructura metálica de la cubierta del estadio	28
Ilustración 41. Construcción de la cubierta sobre los soportes de HA	29
Ilustración 42. Muro de HA sobre el que apoya la cubierta	29

Ilustración 43. Modo Olímpico con gradas auxiliares	29
Ilustración 44. Revestimiento de cobre de la cubierta y los arcos de cobre que la sujetan. Soportes en V de hormigón y los contrafuertes de ladrillo que generan el acceso	30
Ilustración 45. Acabado de zinc de la cúpula	31
Ilustración 46. Zona exterior con el acabado de tejas cerámicas	31
Ilustración 47. Acabado de rejilla metálica en cubierta	32
Ilustración 48. Carpinterías metálicas del perímetro	32
Ilustración 49. Soportes interiores de hormigón	32
Ilustración 50. Construcción de la estructura de hormigón	33
Ilustración 51. Paneles romboidales ETFE de la fachada	33
Ilustración 52. Construcción de la estructura de acero	33
Ilustración 53. Estructura de hormigón vista en la piscina de entrenamiento	34
Ilustración 54. Plataformas de salto e interior del techo	34
Ilustración 55. Vista exterior de la madera y fachada de vidrio	34

Anexo gráfico. Detalles



Img. 1 Fotografía exterior. Palacio de los Deportes.



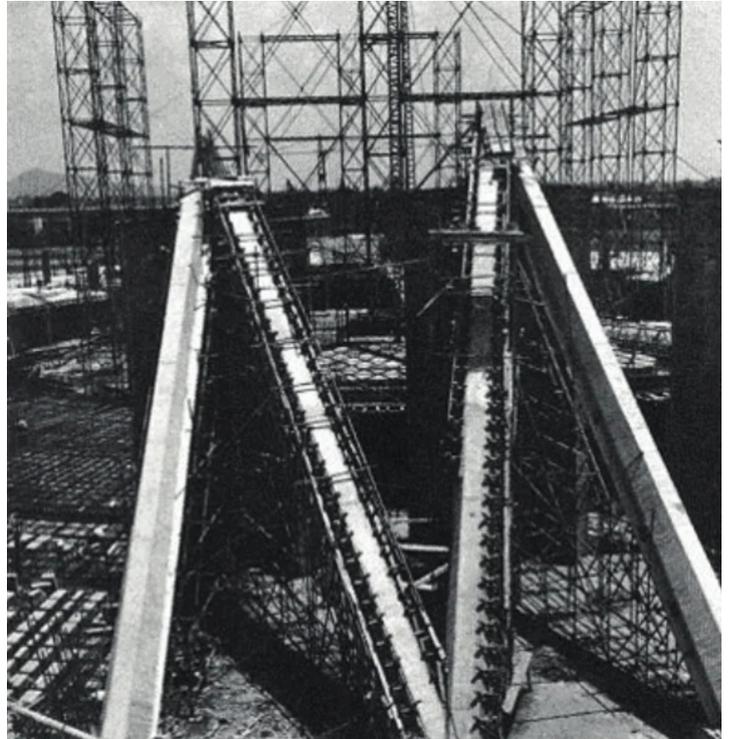
Img. 2 Detalle membrana. Palacio de los Deportes.



Img. 3 Detalle membrana 2. Palacio de los Deportes.



Img. 4 Encuentro membrana con contrafuertes.



Img. 5 Construcción y armado de los contrafuertes.



Img. 6 Construcción estructura de la cubierta.



Img. 7 Fotografía exterior. Palau Sant Jordi.



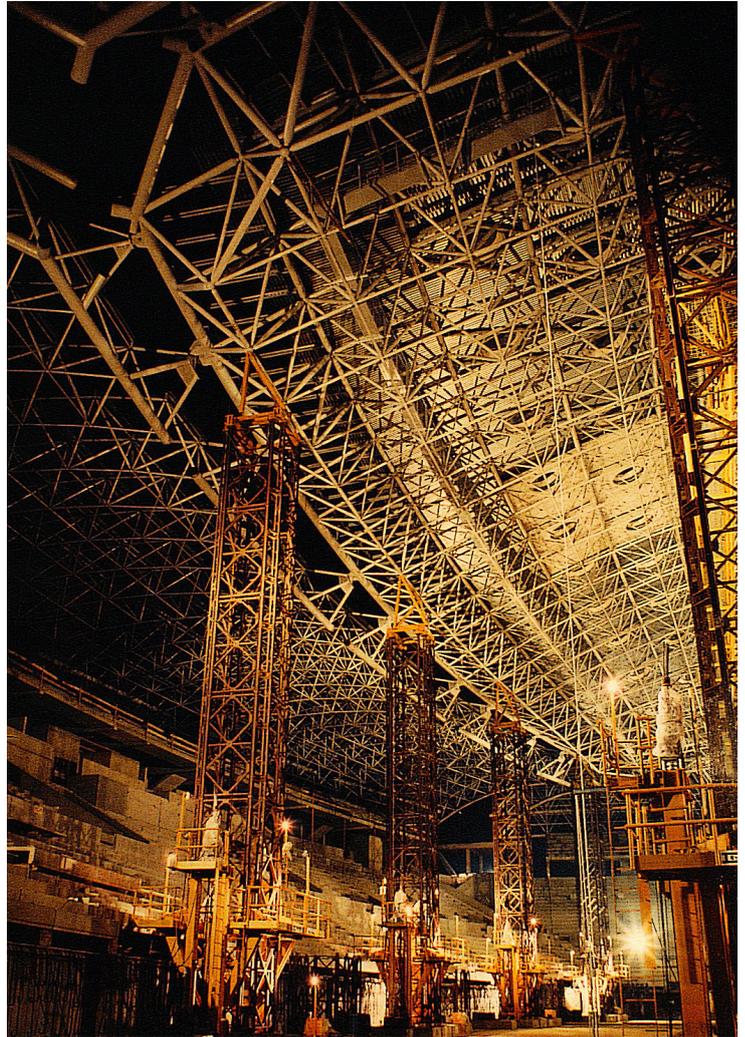
Img. 8 Detalle cubierta exterior. Palau Sant Jordi.



Img. 9 Detalle cúpula. Palau Sant Jordi.



Img. 10 Limatesas cerámicas de la cubierta.



Img. 11 Construcción estructura cubierta.



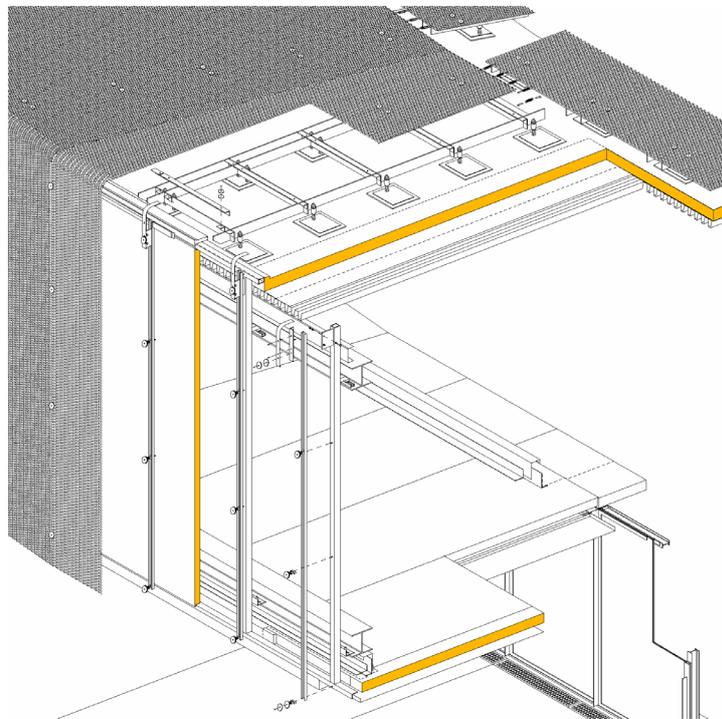
Img. 12 Levantamiento cubierta.



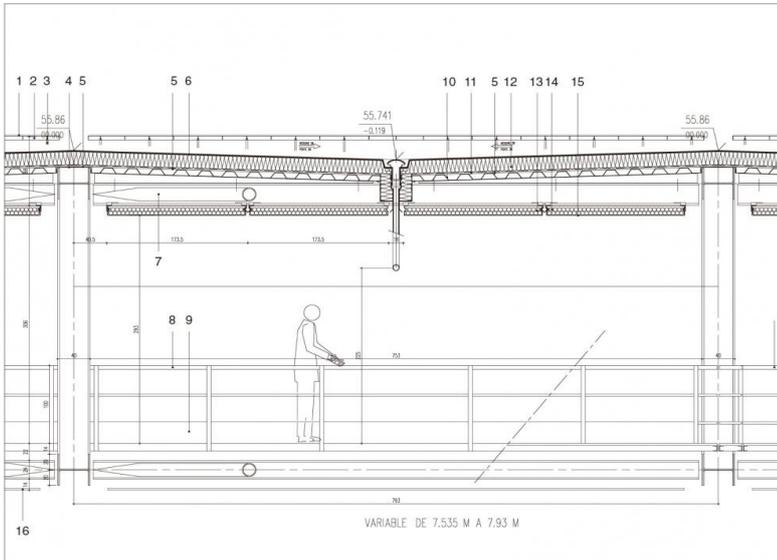
Img. 13 Fotografía exterior. Velódromo Berlín.



Img. 14 Fotografía exterior 2. Velódromo Berlín.

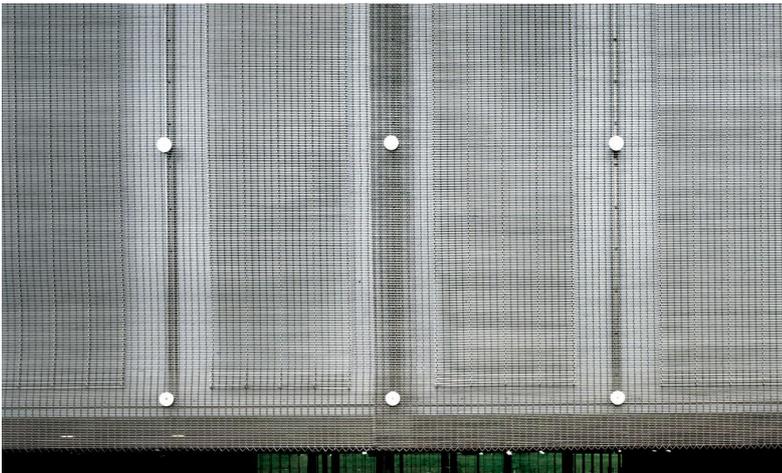


Img. 15 Axonometría.

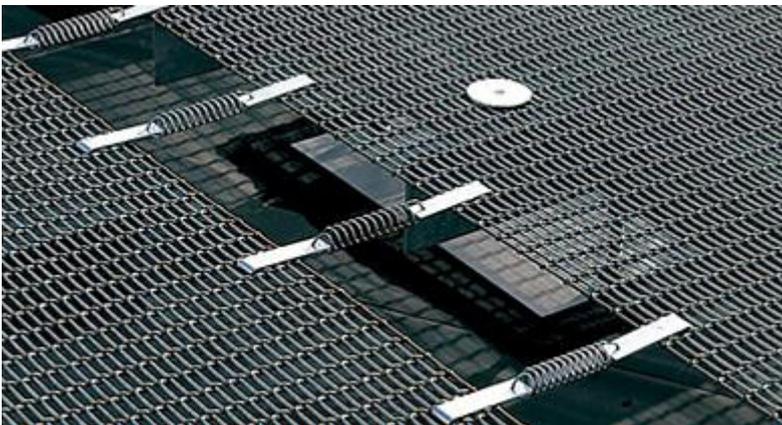


- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| 1 malla metálica | altura 7cm |
| 2 rejilla de soporte | 11 cartón-yeso 13mm |
| 3 sujeción regulable | 12 aislante térmico 19cm |
| 4 chapa de remate 20/10 | 13 chapa perforada de acero |
| 5 barrera de vapor | altura 15cm |
| 6 lámina impermeabilizante | 14 fijación a la estructura |
| 7 riostra | 15 aislante acústico 12cm |
| 8 antepecho | 16 tela tensada |
| 9 canaleta cableado | 17 fijación flexible |
| 10 chapa nervada de acero | 18 elemento de polipropileno |

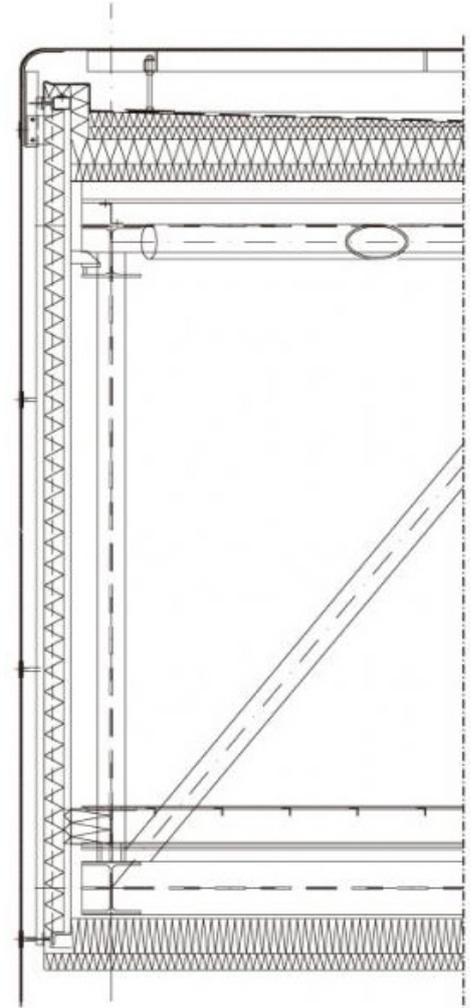
Img. 16 Detalle cubierta.



Img. 17 Malla metálica revestimiento exterior.



Img. 18 Encuentro malla metálica en cubierta.



Img. 19 Detalle malla metálica.



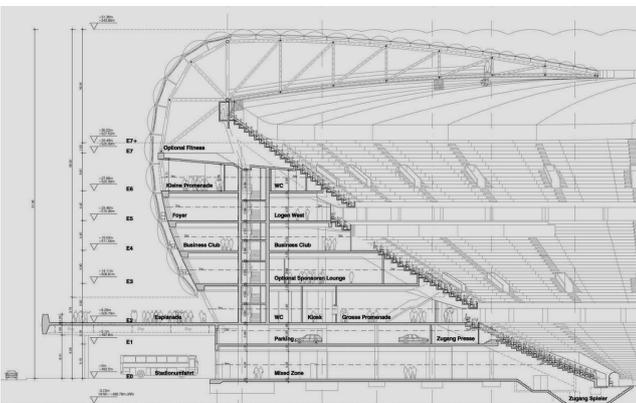
Img. 20 Proceso de construcción. Allianz Arena.



Img. 21 Proceso de construcción fachada. Allianz Arena.



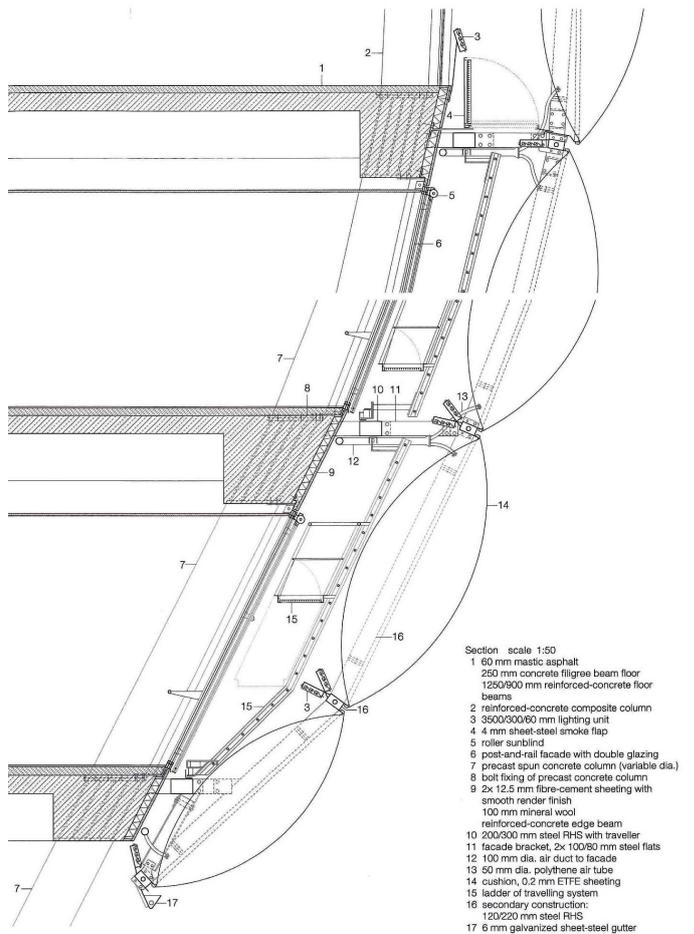
Img. 22 Axonometría seccionada.



Img. 23 Sección.



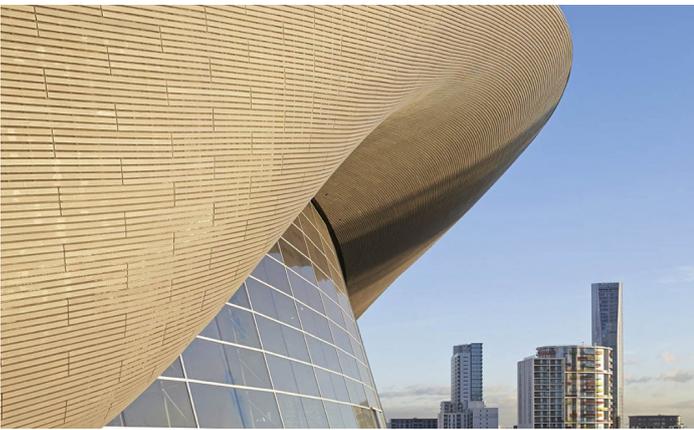
Img. 24 Fotografía exterior. Allianz Arena.



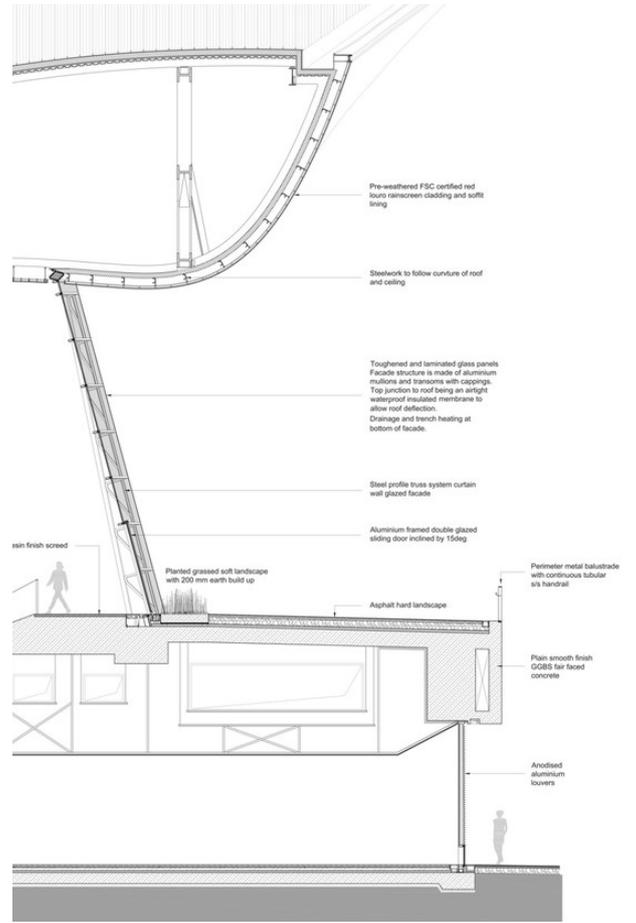
Img. 25 Detalle constructivo paneles romboidales



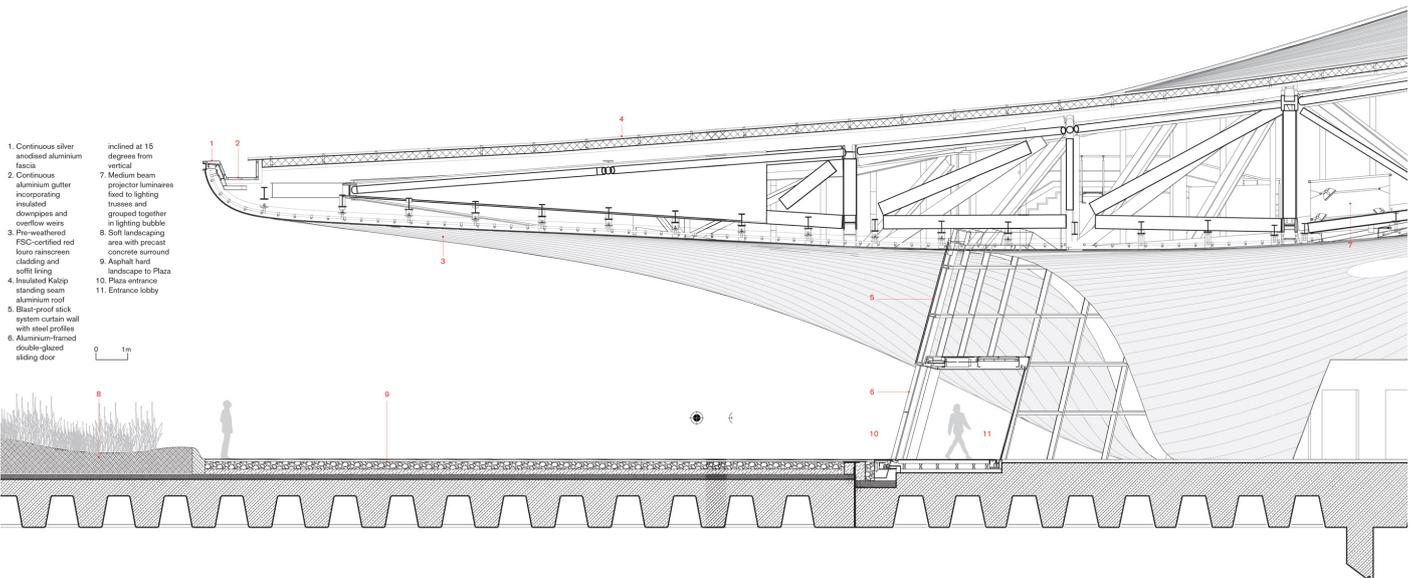
Img. 26 Proceso de construcción. Centro Acuático Londres 2012.



Img. 27 Fotografía exterior. Centro Acuático Londres 2012.



Img. 28 Sección revestimiento exterior.



Img. 29 Detalle constructivo cubierta.

