



Aproximación arquitectónica y análisis constructivo del Centro Acuático de Londres de Zaha Hadid

Autor: Alejandro Serrano Muñoz
Tutor: Francisco José Cubel Arjona
Curso 2018/2019
Universidad Politécnica de Valencia
Trabajo Fin de Grado
Grado en Fundamentos de la Arquitectura



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUOLA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

Índice

1. Objetivos y metodología.....	2
2. Introducción.....	4
2.1. Zaha Hadid. Biografía.....	4
2.2. Estudio y trayectoria.....	8
3. Aproximación arquitectónica.....	13
3.1. Entorno.....	14
3.2. Precedentes.....	15
3.3. Idea inicial. Forma y volumen.....	17
3.4. Organización funcional.....	18
4. Análisis constructivo.....	21
4.1. Materialidad.....	25
4.2. Estrategias integradas.....	27
4.3. Esquema estructural.....	32
4.4. Eficiencia energética.....	33
4.5. Levantamiento en 3D.....	34
4.6. Detalles constructivos.....	37
5. Conclusiones.....	44
6. Bibliografía.....	46

Abstract:

Due to the great influence of the work of Zaha Hadid (birth name: **حديده محمد زها**) and thanks to the relevance and importance that that have reached, until today, the construction techniques and typologies that it adopted, an architectural approach is developed and constructive analysis of the building for the London Aquatic Center. The building will be analyzed from an architectural and constructive point of view, accompanied by constructive axonometric and details of the construction systems used in facades and roofs, made by the author to describe the most significant points of the construction of the Project. The connection between the initial concept of the Project and the constructive solutions adopted by the author is proposed.

Keywords: cover, shape, organic, skin, envelope, Hadid.

Resumen:

Debido a la gran influencia que alcanzó la obra de Zaha Hadid (nombre de nacimiento: **حديده محمد زها**) y gracias a la relevancia e importancia que han alcanzado, hasta el día de hoy, las técnicas y tipologías constructivas que adoptaba, se desarrolla una aproximación arquitectónica y análisis constructivo del edificio para el Centro Acuático de Londres. Se analizará el edificio desde un punto de vista arquitectónico y constructivo, acompañando de axonometrías constructivas y detalles de los sistemas constructivos empleados en fachadas y cubiertas, realizados por el propio autor para describir los puntos más significativos de la construcción del proyecto. Se propone la conexión entre el concepto inicial del proyecto y las soluciones constructivas que adopta la autora.

Palabras clave: cubierta, forma, orgánico, piel, envolvente, Hadid.

Resum:

A causa de la gran influència que va aconseguir l'obra de Zaha Hadid (nom de naixement: **حديده محمد زها**) i gràcies a la rellevància i importància que han assolit, fins al dia d'avui, les tècniques i tipologies constructives que adoptava, es desenvolupa una aproximació arquitectònica i anàlisi constructiu de l'edifici per al Centre Aquàtic de Londres. S'analitzarà l'edifici des d'un punt de vista arquitectònic i constructiu, acompanyant d'axonometries constructives i detalls dels sistemes constructius emprats en façanes i cobertes, realitzats pel propi autor per descriure els punts més significatius de la construcció del projecte. Es proposa la connexió entre el concepte inicial del projecte i les solucions constructives que adopta l'autora.

Paraules clau: coberta, forma, orgànic, pell, envoltant, Hadid.

1. Objetivos y metodología.

La obra de Zaha Mohammad Hadid se ha convertido en uno de los grandes referentes de la arquitectura contemporánea, llegando a crear y desarrollar una nueva forma de proyectar y construir innovadoras posibilidades formales y paramétricas. Su inspiración nacía de los ríos y de las dunas, del paisaje fluido del lugar en el que nació, la capital iraquí de Bagdad. (Arquitectura y Diseño, 2019)

La simbiosis que genera entre la forma y la envolvente, crea una piel orgánica que determina su volumen, explotando al máximo el concepto y carácter del edificio. Por ello es tan importante comprender sus obras como edificios neofuturistas, caracterizados por las formas curvas con diferentes perspectivas que logran evocar el caos de la vida moderna. (Moove Magazine, 2016)

Debido a la complejidad de sus formas se redibujarán los detalles de forma que estos generalicen los encuentros de los distintos elementos constructivos explicando su unión y funcionamiento, resumiendo de este modo en uno solo, la gran variedad de secciones producidas por la creación del volumen paramétrico.

La finalidad del trabajo es realizar una aproximación y un análisis constructivo de la obra del Centro Acuático de Londres, redibujando y explicando sus elementos constructivos más representativos e innovadores, llevando una obra tan monumental al detalle. Relacionando a modo de eje conector la función y finalidad inicial del proyecto con su forma y construcción. Descubriendo como Zaha transmite a la realidad esa idea tan potente que aparece durante el proceso de diseño. El edificio escogido representa unos de los últimos edificios construidos durante la vida de Zaha Hadid, y uno de los que han adquirido una mayor repercusión. Por lo que se analizarán entre otros aspectos, la materialidad según la intención del proyecto y como éste afecta a la experiencia del usuario.

Para ello, se realiza un estudio de las secciones aportadas en la bibliografía y aquella información la cual no pueda ser aportada, se generará a través del análisis de fotografías e información sobre el edificio. Algunas de estas imágenes son editadas para esclarecer de la mayor forma posible lo que con ellas se pretende explicar, pudiendo ser manipulada su proporción, color u otras características.

Finalmente, tras recopilar y elaborar el material básico, se muestra la representación de los sistemas constructivos tanto en dos como en tres dimensiones relacionando estos con la función del edificio y la necesidad de las distintas estrategias adoptadas por la autora. También se realizará un modelo en tres dimensiones simulando la forma de la cubierta, para comprender su diseño paramétrico.

Toda la infografía de este trabajo se referencia en el texto y se situará de forma que el material que aparezca será totalmente creación del autor.

“Solo podías hacer edificios de una manera
en particular, pero mis maestros iconoclastas
nos ayudaron a rebelarnos contra todo eso”

Zaha Hadid, El país, 13 Enero 2008

2. Introducción.



Imagen 1. Zaha Hadid.

2.1. Zaha Hadid. Biografía.

Zaha Hadid ha llegado a alcanzar uno de los puestos más representativos dentro de la arquitectura contemporánea. Nació en Bagdad en 1950, (Moove Magazine, 2016) donde estudió en un colegio católico hasta los 16 años, más tarde pasó por internados en Suiza, Beirut y Londres, graduándose en la carrera de matemáticas en la Universidad Americana de Beirut y más tarde, en el 71, ingresaría en la Architectural Association. Gracias a alcanzar todos estos conocimientos Zaha sería capaz, más adelante, de lograr un estilo arquitectónico tan propio y experimentar con las formas más radicales. (Arquitectura y Diseño, 2019)

Para comprender la forma que tenía de diseñar y proyectar, se deben estudiar los dos edificios que inspiraron la arquitectura de Zaha: al Museo Guggenheim de Frank Lloyd Wright en Nueva York [Img. 2], (Arquitectura y Diseño, 2019) “Ha tenido una increíble influencia en mí” “Wright fue un visionario, creó un camino que conecta el museo con el exterior y define su circulación” (Zaha Hadid, 2004) que denota en esa búsqueda del espacio fluido que destaca en sus obras. El segundo edificio fue el Museo Guggenheim de Frank Gehry en Bilbao [Img. 3], que, gracias a su construcción, se da a conocer al mundo entero que una nueva arquitectura es posible, la cual ella defendió desde un primer momento. (Arquitectura y Diseño, 2019)

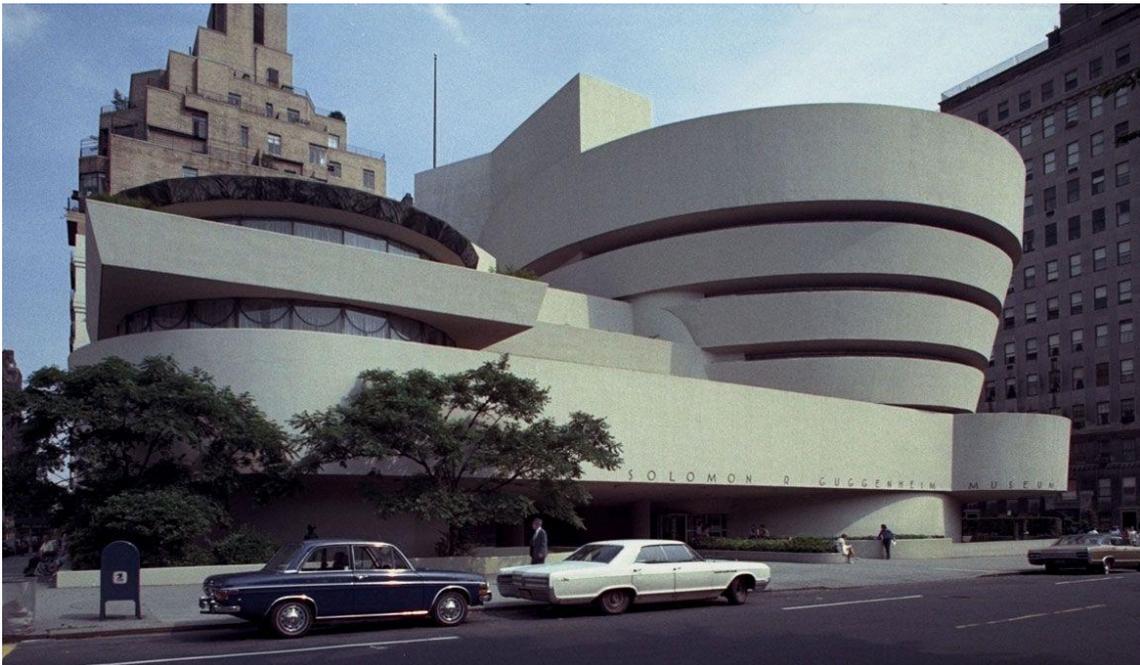


Imagen 2. Museo Guggenheim. Frank Lloyd Wright. Nueva York.



Imagen 3. Museo Guggenheim. Frank Gehry. Bilbao.

“La arquitectura debe proporcionar placer. Al entrar en un espacio arquitectónico las personas deberían experimentar una sensación de armonía, como si estuvieran en un paisaje natural, más allá de sus dimensiones y valor económico. Precisamente ahí reside mi concepto personal del lujo: es algo que nada tiene que ver con el precio, sino más bien con las emociones que la arquitectura consigue transmitir.”

Zaha Hadid, Maestros de la Arquitectura, 2011

Durante dos años forma parte del estudio OMA, poco después de ser inaugurado por Rem Koolhaas y Elia Zenghelis, hasta que, finalmente, en 1979 funda su propio estudio. Y comienza una etapa en la que se centra en la experimentación, la pintura y los proyectos sin construir. Comienza entonces un periodo de casi 20 años de una inexistente construcción. (Moove Magazine, 2016) “No elegí no construir durante tantos años, simplemente la posibilidad no existía” “Nadie creía que lo que yo dibujaba se pudiera construir” (Zaha Hadid, 2008).

Logra cambiar la forma de pensar de la sociedad, tras la construcción de la estación de bomberos Vitra, un pequeño edificio que parece atemporal y con una forma que nace de su propio funcionamiento, tensionando el espacio e inclinando los planos. (Argos, Alejandra, 2016)

Tras la construcción del Guggenheim de Bilbao, se demostró al mundo que un nuevo tipo de arquitectura era posible, por lo que comenzó la etapa de mayor importancia de la obra de Zaha Hadid. En 2003 obtuvo el Premio Mies Van der Rohe y en 2004 el Premio Pritzker de Arquitectura, convirtiéndose en la primera mujer de la historia que lo consigue. (Arquitectura y Diseño, 2019)

De todas las personas que lo han recibido, la vencedora de 2004 es una de las más jóvenes. Su trayectoria arquitectónica es de las más convincentes que se han visto en los últimos años (Frank O. Gehry, 2004).

Dentro de un mundo marcado por formas lineales, las propuestas de Zaha Hadid rompen con los estereotipos, lo lineal, lo común. (Moove Magazine, 2016) Generando un estilo totalmente nuevo que domina las formas curvas y sobre todo las formas tridimensionales. En 2012 su estudio contaba con entre 250 y 300 colaboradores, (Arquitectura y Diseño, 2019) gracias a lo cual podía emprender proyectos tan inverosímiles e imaginativos como el Centro Acuático de Londres, donde su estilo propio reduce al mínimo todo tipo de ornamentación, dotando de gran relevancia al hormigón como generador de texturas, que sirven por otro lado como decoración. (Argos, Alejandra, 2016)

Desgraciadamente el 31 de marzo de 2016, a los 65 años, falleció inesperadamente, dejando un gran vacío dentro de la arquitectura contemporánea. Su versatilidad como arquitecta, diseñadora y profesora lograban perfeccionar y explotar sus habilidades técnicas, artísticas e intelectuales que generaban ese estilo tan propio. Gracias a esto ha forjado una reputación internacional que llega más allá de los numerosos y justificados reconocimientos públicos y mediáticos que con tanto trabajo logró en vida. Ni las constantes críticas ni los precipitados juicios sumarísimos, causados por una mentalidad de una época pasada, permiten decir todavía si su poderosa contribución arquitectónica perdurará en la historia. Solamente la evolución de las generaciones próximas ratificará el lugar de este innegable icono femenino de la arquitectura. (Cué, Elena, 31 diciembre 2018)

Al igual que ocurre en su escultura con forma de pétalo “Kloris” su obra muestra la posibilidad que tiene la forma de virar hacia una arquitectura más orgánica formando así un estilo totalmente nuevo. De forma que la llamada “arquitecta de papel”, una arquitecta que soñaba con unos diseños inimaginables para el resto de la sociedad, finalmente nos deja tras una trayectoria en la que logró cambiar la forma de pensar de un mundo entero. (Argos, Alejandra, 2016)

“Sé que puedo construir lo imposible”

Zaha Hadid, 2004

Y lo hizo.

2.2. Estudio y trayectoria.

Durante sus años como parte del OMA conoció a Peter Rice, el ingeniero que más tarde ayudaría a construir esas impresionantes estructuras, en un momento en el que, para la sociedad, construirlas, parecía imposible. En 1979 crea Zaha Hadid Architects, con sede en Londres que actualmente tiene una plantilla de 400 personas. En 1988 se dio a conocer tras mostrar una serie de dibujos arquitectónicos dentro de la exhibición “Deconstructivismo en la Arquitectura” del MoMA. Gracias a esto Rolf Fehlbaum, dueño de la empresa alemana de mobiliario de diseño Vitra, decidió encargarle la construcción de su primer proyecto, la estación de bomberos de la fábrica de Vitra en 1994 [Img. 4]. (Moove Magazine, 2016)



Imagen 4. Estación de bomberos de la fábrica de Vitra. 1994. Zaha Hadid. Weil am Rhein, Alemania.

Hadid aparte de construir dedicó gran parte de su vida a ejercer como docente en distintos países formando parte de la Escuela de Diseño de Harvard, la Architectural Association, la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Illinois, la Hochschule für bildende Künste Hamburg, en la Escuela Knowlton de Arquitectura, la Universidad de Columbia, la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Yale y la Universidad de Artes aplicadas de Viena. (Moove Magazine, 2016)

Durante gran parte de su vida también estuvo inmersa dentro del diseño de espacios interiores y de mobiliario y otros productos de consumo, en algunas ocasiones llegó a colaborar con marcas de ropa, llegando a crear la suya propia. (Moove Magazine, 2016)

Pero sin lugar a dudas la disciplina por la cual ha llegado a destacar es en la arquitectura. Su obra construida pasará a la historia por su visión innovadora y revolucionaria y el uso prioritario de la línea curva que ya ha inspirado a otros arquitectos de talla mundial como Ma Yansong, (Moove Magazine, 2016) y gracias a su incansable lucha por acceder a un panorama arquitectónico principalmente masculino, llegando a convertirse en la primera mujer en ganar el Premio Pritzker de Arquitectura. (Argos, Alejandra, 2016)

En 1994 aparece el momento más trágico de su carrera, tras ganar el concurso para el proyecto de la Ópera de Cardiff, el que podría haber sido una gran oportunidad para darse a conocer mundialmente y difundir su carrera arquitectónica, comenzaron una serie de ataques por parte de las autoridades políticas de la ciudad que impidieron su construcción. (Arquitectura y Diseño, 2019)

“Fue una experiencia horrible”, “Como un asesinato público”,
“Una tragedia para la gente de Gales y un triunfo para la mezquindad”.

Zaha Hadid, 2004

Tres años más tarde con la construcción del Museo Guggenheim de Frank Gehry [Img. 3] cambió drásticamente la visión de la sociedad frente a las nuevas posibilidades arquitectónicas, demostrando que, si era posible una nueva arquitectura, y gracias a esto, se llevó a cabo la construcción del Centro de Arte Contemporáneo Rosenthal. [Img. 5] (Arquitectura y Diseño, 2019)



Imagen 5. Centro de Arte Contemporáneo Rosenthal. 2003. Zaha Hadid. Cincinnati, Ohio.

Más tarde, en 2010 evoluciona dando seguramente el paso más importante dentro de su trayectoria y abandona esa primera etapa donde predominaba la abstracción y la fragmentación, alcanzando “Lo que debería ser la arquitectura, que es una organización más fluida” (Zaha Hadid, 2004), comenzando un periodo en el que se da mayor importancia al lugar, partiendo de él para el diseño del edificio. (Arquitectura y Diseño, 2019)

Una de sus obras con más repercusión internacional es el Centro Acuático de Londres, que fue diseñado para albergar las pruebas acuáticas durante la celebración de los Juegos Olímpicos en 2012. Pero también debemos destacar muchas de sus otras obras como pueden ser:

- Hoenheim-North Terminus & Parqueo (2001), Estrasburgo, Francia
- Plataforma de saltos de esquí Bergisel (2002), Innsbruck, Austria
- Anexo Ordupgård (2005), Copenhague, Dinamarca
- BMW Central Building (2005), Leipzig, Alemania [Img. 6]
- Centro de ciencia Phäno (2005), Wolfsburgo, Alemania [Img. 8]
- Maggie's Centres at the Victoria Hospital (2006), Kirkcaldy, Escocia
- Tondonia Winery Pavilion (2006), Haro, España [Img. 7]
- Teleférico Nordkettenbahn, Innsbruck, Austria
- Pabellón Puente de la Exposición Internacional de Zaragoza (2008), Zaragoza, España [Img. 9]
- MAXXI Museo nazionale delle arti (2010), Roma, Italia [Img. 10]
- Palacio de la Ópera de Cantón (2010), Cantón, China [Img. 11]
- Evelyn Grace Academy (2010), Brixton, Reino Unido [Img. 12]
- Riverside Museum (2011), Glasgow, Reino Unido [Img. 13]
- Heydar Aliyev Cultural Center (2012), Bakú, Azerbaiyán [Img. 16]
- Wangjing SOHO (2014), Pekín, China [Img. 14]
- Havenhuis (2016), Amberes, Bélgica [Img. 15]



Imagen 6. BMW Central Building.



Imagen 7. Tondonia Winery Pavilion.



Imagen 8. Centro de ciencia Phäno.



Imagen 9. Puente de la Exposición Internacional de Zaragoza.



Imagen 10. MAXXI Museo nazionale.

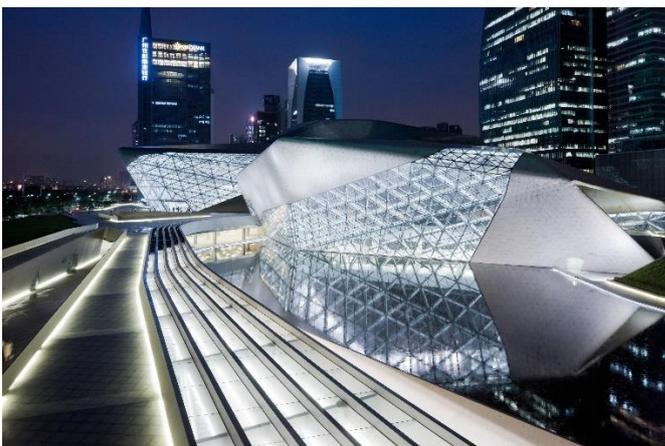


Imagen 11. Palacio de la Ópera de Cantón.



Imagen 12. Evelyn Grace Academy.



Imagen 13. Riverside Museum.



Imagen 14. Wangjing SOHO.



Imagen 15. Havenhuis.



Imagen 16. Heydar Aliyev Cultural Center.

3. Aproximación arquitectónica.

El edificio se encuentra en Londres, en la parte sudeste del Parque Olímpico. La idea inicial era que las infraestructuras pudieran ser reutilizables y se pudieran adaptar para su uso y disfrute una vez concluidos los juegos. El edificio se encuentra junto a la ciudad de Stratford, uniéndose a esta mediante el Stratford City Bridge. (Bridget, Lola) El puente y el edificio están relacionados mediante una especie de podio de hormigón que fusiona ambos y sobre el cual descansa una cubierta con un aspecto mucho más liviano y que dota al edificio de su forma actual. (Culp, Cheyenne, 2017)

En conjunto, el Parque Olímpico debe considerarse como uno de los proyectos de mayor magnitud en cuanto a reurbanización de toda la ciudad de Londres en los últimos años. Pues su Master Plan trataba de reutilizar las infraestructuras una vez concluidos los Juegos. Y, además, de esta forma, generar más de mil nuevas viviendas, espacios públicos, instalaciones para la comunidad y nuevos puestos de empleo. Todo esto más adelante contribuyó a la expansión de la ciudad de Londres y a la conexión entre esta y la ciudad de Stratford. (Culp, Cheyenne, 2017)

Los barrios cercanos al Parque Olímpico, gracias a estas intervenciones, se vieron favorecidos con la reurbanización, redibujando nuevos grupos sociales, culturales y diversidad de oportunidades de empleo. Esto, vino favorecido por las nuevas infraestructuras de transporte y las nuevas zonas verdes formadas por las vías fluviales y la generación de nuevos parques. (Culp, Cheyenne, 2017)

Para la proyección de este edificio Zaha se inspiró en el movimiento del agua por primera vez. Pretendía fundirse con el entorno, de forma que crea una infraestructura verde donde combina una versatilidad de espacios combinando unos más abiertos con otros de menores dimensiones. El manejo de estas dos escalas dota al este de Londres de una futura posibilidad de crecimiento y expansión. (Plataforma Arquitectura, 2012)

El Centro Acuático fue diseñado desde un principio con la capacidad de permitir la entrada a más de 17.500 espectadores durante los Juegos y de disponer de un aforo de 2.500 personas tras la conclusión de estos. Todo esto dentro de una misma parcela de 2km² coartada por un río en el lado oeste y una vía ferroviaria en el este. (Plataforma Arquitectura, 2012)



Imagen 17. Render exterior del Centro Acuático.

3.1. Entorno.

El Parque Olímpico en su totalidad abarca una superficie aproximada de 250 hectáreas y reúne varias instalaciones deportivas para la ejecución de las distintas modalidades de los juegos. (Bridget, Lola) El terreno anteriormente había sido destinado a un espacio industrial hasta que tras concluir la Segunda Guerra Mundial pasó a ser una especie de vertedero donde reunir los escombros de los edificios demolidos durante el conflicto. (Culp, Cheyenne, 2017)

Después de finalizar una serie de investigaciones, se concluyó que pese a limpiar el terreno una gran parte de la contaminación continuaría estando presente y se algunas zonas con una elevada contaminación residual. La más preocupante, por la acumulación de metales pesados como el plomo, el cromo, el arsénico u otros elementos orgánicos. (Culp, Cheyenne, 2017)

Esto limitó en gran medida el uso de sistemas de drenaje por infiltración en toda la zona afectada. Por ello se proyectaron una serie de vías fluviales estratégicamente colocadas de forma que continuamente limpiaran gran parte del terreno, esto ayudó en gran medida a solventar el problema, convirtiendo el Parque Olímpico en la mayor operación de lavado de terreno del Reino Unido. (Culp, Cheyenne, 2017)

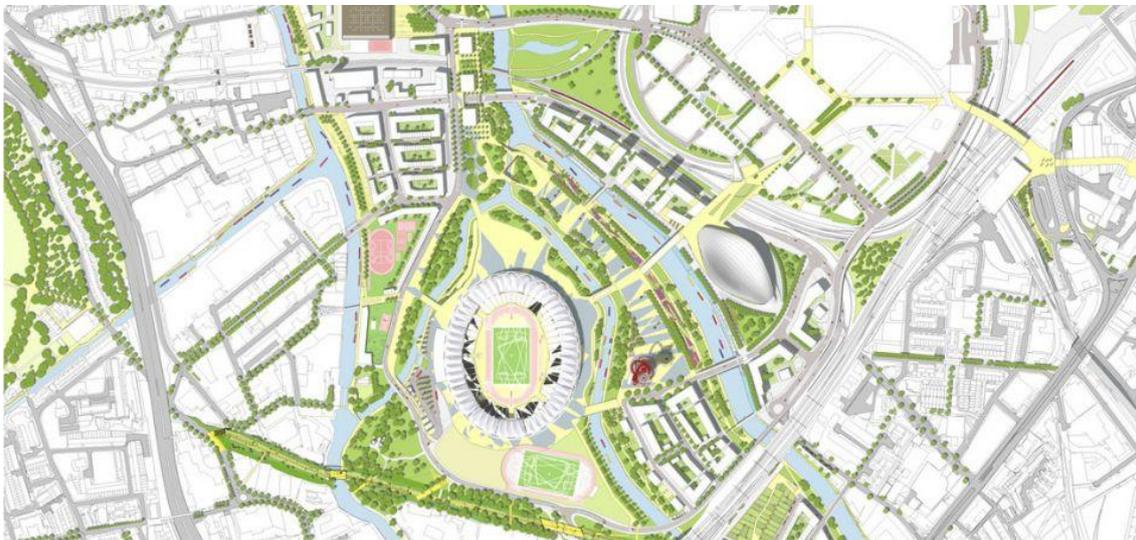


Imagen 18. Master Plan del Parque Olímpico.

3.2. Precedentes.

Uno de los principales precedentes que inspiraron a Zaha Hadid para el diseño del edificio fue el **TWA Flight Center** [Img. 19], inaugurado en 1962. Su autor Saarinen comenzó el proyecto una vez se había definido las prescripciones del lugar y el entorno, por lo que generó un volumen de manera que aprovechara al máximo el entorno libre en el que se encontraba. De modo similar al edificio proyectado por Zaha, consta de una cubierta simétrica dividida en cuatro porciones de hormigón curvados. Esta cubierta fluía de forma liviana entre los apoyos y las diferentes piezas de hormigón se encontraban separadas mediante unos elementos de vidrio que aportaban una apariencia aun de mayor ligereza a la estructura. (Culp, Cheyenne, 2017)

Al igual que en el edificio de estudio, el exterior se proyecta de manera que interaccione con los elementos interiores potenciando así la flexibilidad de los espacios. La fluidez por tanto utilizada en ambos edificios, tanto en la generación de los volúmenes, como de los espacios exteriores y el uso de las formas curvas, evolucionarán durante las futuras obras de Zaha Hadid. (Culp, Cheyenne, 2017)

Como ejemplo de todo esto, debemos destacar también aquellos edificios que han precedido tipológicamente al Centro Acuático de Londres como han sido el **Dongdaemun Desgin Plaza** [Img. 20], un proyecto en el que la arquitecta se centra en las relaciones entre el diseño y su construcción de forma que se favorezcan las interacciones sociales tanto en el interior como en el exterior del edificio. (Culp, Cheyenne, 2017)

Otro caso mediático, el cual, tras ganar el concurso para la construcción del **Estadio Nacional de Japón** [Img. 21], el primer ministro japonés, Shinzo Abe, comunicó la decisión de no edificar el diseño de Zaha Hadid para los Juegos Olímpicos de 2020 en Tokio. Esto fue debido a que el diseño neofuturista del edificio era descaradamente disonante con los edificios adyacentes del centro de Tokio y abusaba del límite de altura del lugar que únicamente alcanzaba los 15 metros. Este edificio continuaba la estética tan característica en forma de ola del Centro Acuático cubriendo con una única superficie tanto las gradas como las distintas pistas. (Culp, Cheyenne, 2017)

Finalmente, un último precedente del Centro Acuático es otro estadio para los Juegos Olímpicos de 2020 en Tokio, se trata del **Al Wakarash Stadium** [Img. 22], con diseño similar en forma de ola que fluye por encima de la superficie y que contará con una capacidad de 40.000 espectadores durante los juegos y al igual que el edificio de Londres se reducirá a un aforo de 20.000 una vez que concluyan los eventos. (Culp, Cheyenne, 2017)



Imagen 19. TWA Flight Center.



Imagen 20. Dongdaemun Design Plaza.



Imagen 22. Al Wakarah Stadium.



Imagen 21. Estadio Nacional de Japón.

3.3. Idea inicial. Forma y volumen.

La premisa inicial para el proyecto era que dispusiera de una gran flexibilidad una vez concluyeran los Juegos Olímpicos, quedando de esta manera como un legado para la ciudad de Londres, pudiendo continuar siendo usado como un nuevo espacio multiusos. La idea principal era conectar el puente de Stratford con el edificio, de forma que se proyecta un podio de hormigón que eleva la cubierta sobre sí mismo manteniendo a la misma cota la entrada del edificio y la zona de desembarco del puente, creando así un punto de encuentro para los visitantes. (Plataforma Arquitectura, 2012)

Debido a los problemas anteriormente comentados sobre la contaminación del lugar, uno de los objetivos de mayor importancia, era que el edificio fuera sostenible para el futuro del este de la ciudad. Por lo que, para ello, el edificio se proyectó de manera que se reutilizara el 90% del terreno. También se ejecutaron nuevos puentes peatonales de acceso, se idearon estrategias de limpieza del río y se generaron nuevas infraestructuras de acceso al lugar. (Culp, Cheyenne, 2017)

“No creo que la arquitectura solo se trate de un refugio, debe poder excitarte, tranquilizarte, hacerte pensar”

Zaha Hadid, 2007

La forma del edificio viene definida por la respuesta al movimiento del agua. De esta forma se proyecta una cubierta ondulada que fluye sobre el terreno a modo de onda, la cual cubre las piscinas de una forma fluida y continuada mientras que determina el volumen del edificio. (Plataforma Arquitectura, 2012) La forma de la cubierta puede parecer visualmente compleja y confusa, pero viene definida por unos simples movimientos paramétricos claros. La curvatura y forma final viene definida por el ángulo de visión de los espectadores durante los Juegos Olímpicos. (Culp, Cheyenne, 2017)

El volumen en forma de arco parabólico, se logra al generar una superficie de doble curvatura, esto permite variar su aspecto de una forma más orgánica y de esta manera diferenciar volumétricamente y de una forma fluida, las zonas de la piscina de competición y la de buceo. Este concepto de ola se mantiene en el diseño de todo el edificio, desde la forma de los trampolines y la sinuosidad de los recorridos interiores, hasta alcanzar a estar presente en el diseño de los espacios exteriores.

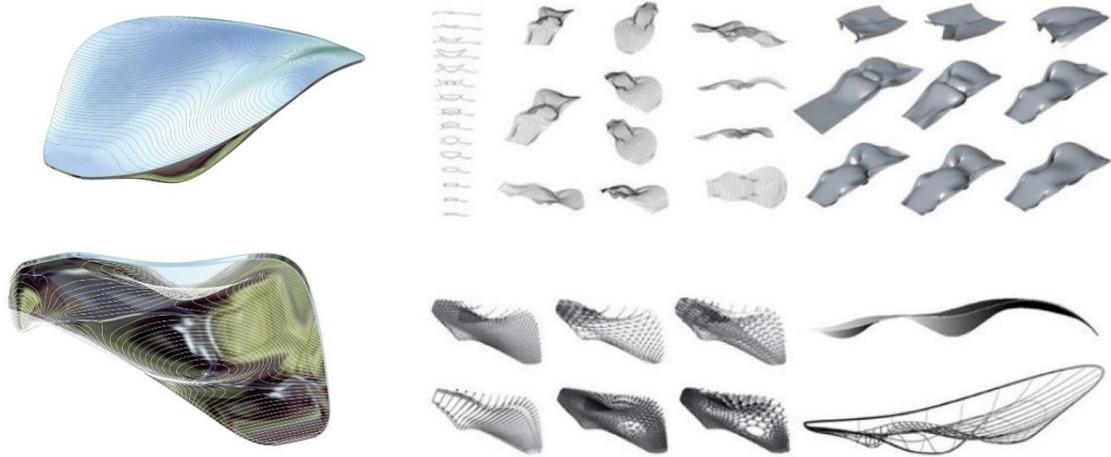


Imagen 23. Proceso de diseño del edificio.

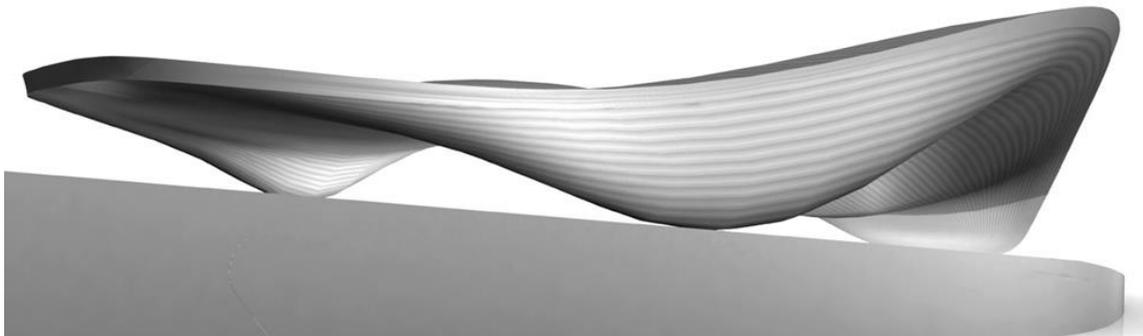


Imagen 24. Idea final de la forma del edificio.

3.4. Organización funcional.

En cuanto a la organización funcional del edificio podemos remarcar que se encuentra fuertemente marcada por un eje ortogonal orientado de forma perpendicular al puente de Stratford. Las demás funciones del edificio, incluida la disposición de las piscinas, se encuentran siguiendo a este eje de forma lineal. Se genera un hall de entrada en el encuentro entre el edificio y el puente y bajo éste se sitúa la piscina de entrenamiento, la más privada. Mientras que al resto de piscinas se accede directamente por la puerta principal del edificio. (Culp, Cheyenne, 2017)

La cota del hall principal es superior a la de las piscinas de competición y de buceo, por lo que la base a modo de podio de hormigón desciende como si de una cascada se tratara, hasta alcanzar la superficie de estas. La disposición en subniveles de este podio permite una gran versatilidad de las distintas funciones del edificio mientras que se integran en un único espacio formado por la cubierta ondulada. (Culp, Cheyenne, 2017)

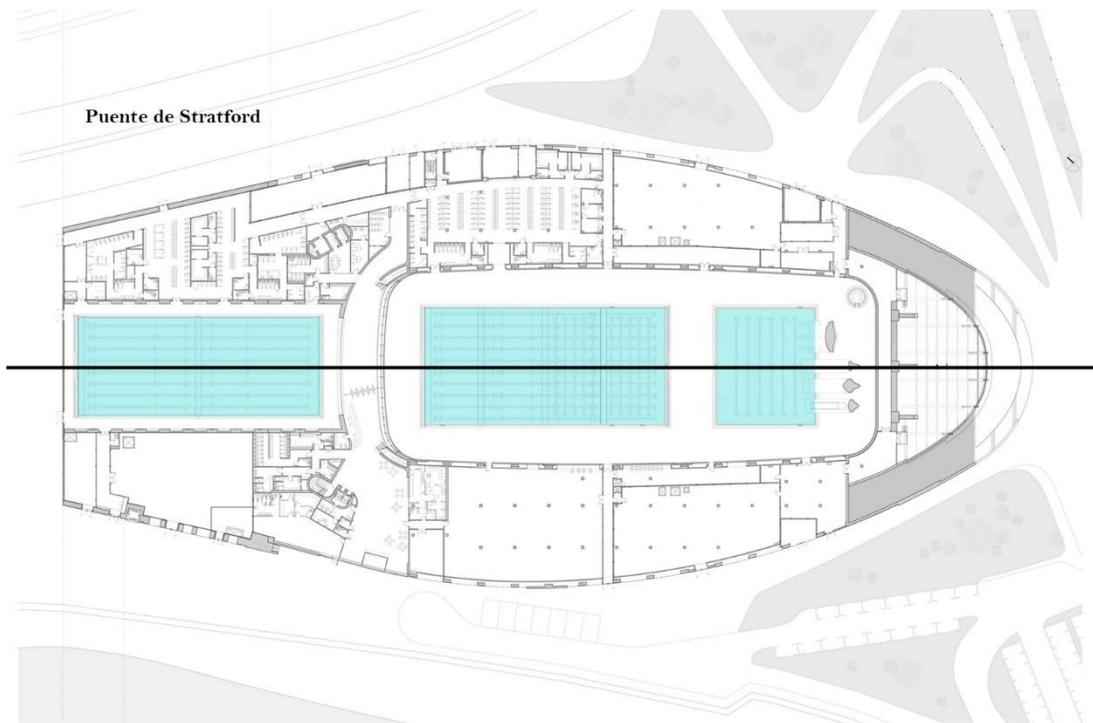


Imagen 25. Diseño del edificio entrono al eje ortogonal.

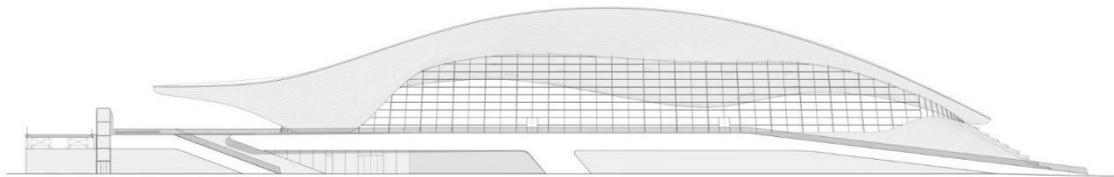


Imagen 26. Alzado sur de edificio sobre el podio.

Circulación:

El edificio se puede diferenciar en dos niveles. Una primera planta donde aparece un acceso principal, la cual, junto con la desembocadura del puente, generan un punto de conexión para los visitantes de todo el Parque Olímpico. Esta entrada se ubica en el extremo norte del edificio y genera un doble recorrido desde el exterior hasta el interior, que rodea a este por ambos laterales. Un segundo recorrido guía a los visitantes, alrededor el edificio, hasta una cota inferior del lugar. [Fig. 2]

Estos recorridos fluyen por el interior y exterior del edificio hasta desembocar en las gradas del edificio guiando así a los espectadores de una forma sencilla y segura.

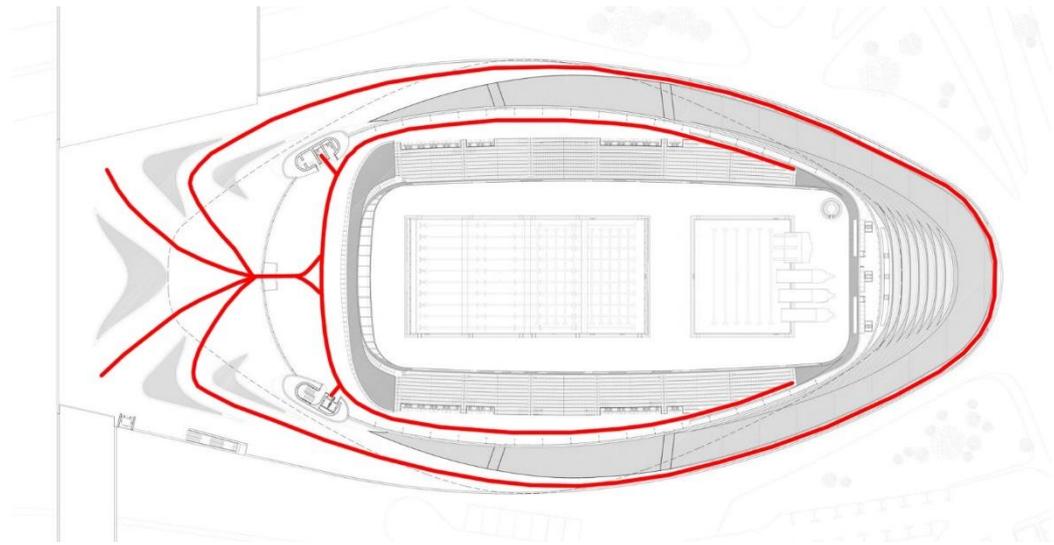


Imagen 27. Recorrido de circulación de planta primera.

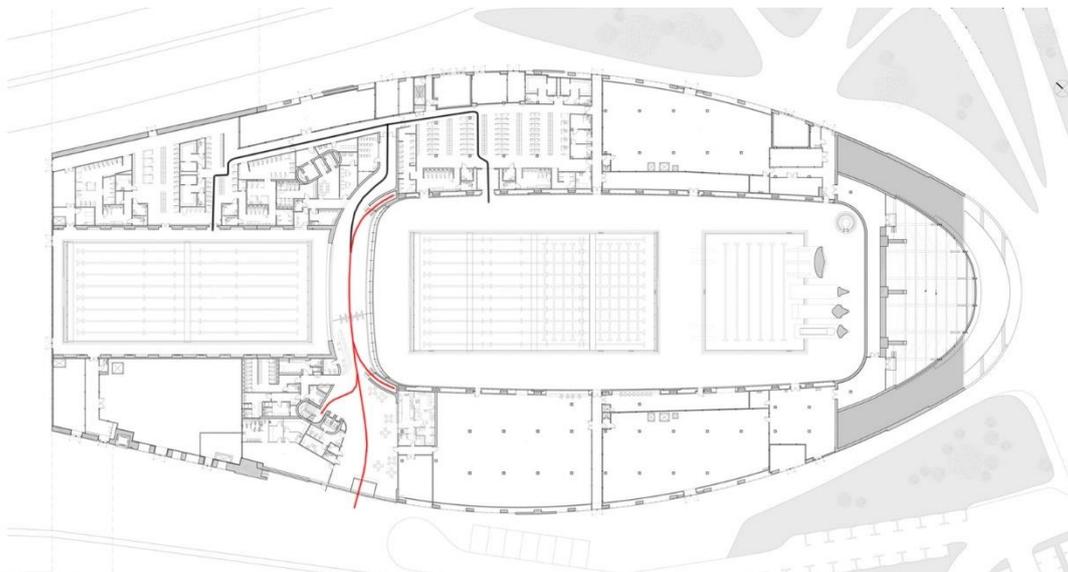


Imagen 28. Recorrido de circulación de planta baja.

La planta baja [Fig. 3], se diseña para un uso exclusivo de los participantes, pero la situación del acceso secundario y la necesidad en un futuro de su uso tras la conclusión de los Juegos Olímpicos permite que el público también tenga acceso a ella. De esta forma es posible visitar las piscinas de buceo y competición. En esta planta se genera un recorrido desde el exterior que cruza por la zona de piscinas hasta los vestuarios y las duchas, junto con el acceso a la piscina privada de entrenamiento, esta área si, exclusiva únicamente para atletas. (Culp, Cheyenne, 2017)

Con la sucesión de estos recorridos Zaha pretende continuar con esta idea de fluidez formada por el movimiento del agua tan presente en el diseño del edificio. Estos caminos se tornan infinitos al entrar en contacto con los exteriores del Parque Olímpico.

4. Análisis constructivo.

En junio de 2008 comienza oficialmente la construcción del Centro Acuático de Londres. Finalizaría en 2011 la construcción en modo Olímpico logrando así un aforo para 17.500 personas. (Bridget, Lola) Para que todo esto fuera posible, se demolieron 11 antiguos edificios industriales y fueron necesarias 140.000 toneladas de tierra. Más tarde, en 2012, una vez concluidos los juegos, comenzó la deconstrucción de los asientos suplementarios y el edificio se completó en el estado original y definitivo con capacidad para 2.500 personas en 2013. (Culp, Cheyenne, 2017)

El proceso de construcción fue una tarea ardua y complicada con la precisión y la exactitud que necesita cada etapa de esta. La forma compleja y peculiar del edificio requería de una construcción especializada. Desde la cuidadosa planificación de la estructura en forma de ola de la cubierta, hasta la planificación técnica de las piscinas olímpicas. La construcción tuvo que ser cuidadosamente orquestada para cumplir con el cronograma y estar disponible para los Juegos Olímpicos. Además, su forma única, la complejidad de su estructura y el detalle en cada elemento del edificio, lo convierte en un monumento arquitectónico. (Culp, Cheyenne, 2017)

Las dimensiones de la cubierta alcanzan los 160 metros de longitud y un ancho de 80. (Bridget, Lola) Está formada por más de 3.000 toneladas de aluminio, 2.800 de acero para su estructura y más de 70.000 pernos, permitiendo el reciclado de los materiales en un 50%. (Culp, Cheyenne, 2017)

Pilotes de Hormigón: El edificio se sustenta sobre aproximadamente 1.000 pilotes de hormigón. Estos se forman al perforar el terreno a la altura deseada y posteriormente rellenarlo lentamente con hormigón. Su construcción fue totalmente necesario debido a la escasa compactación y resistencia del terreno. (Culp, Cheyenne, 2017)

Cimientos: una vez terminado el proceso de descontaminación del terreno y la construcción de los túneles para las instalaciones eléctricas, comenzó la construcción de los cimientos. Era necesaria la construcción mediante pilotes para ayudar a estabilizar el terreno pues tras estas intervenciones disminuyó su compacidad y estabilidad. (Culp, Cheyenne, 2017)

Una vez terminado se comenzó con la construcción de los soportes para la estructura del techo, esto aseguró que el terreno estuviera listo cuando comenzara a someterse a carga. (Culp, Cheyenne, 2017)

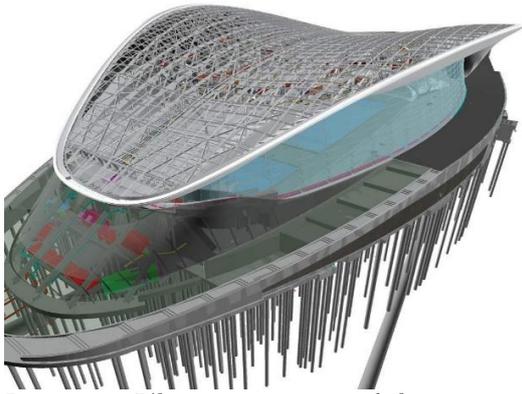


Imagen 29. Pilotes como sustento de la estructura.



Imagen 30. Construcción de la cubierta sobre soportes.

La construcción de las Piscinas: hasta que no se terminó por completo la construcción de la cubierta, no pudo comenzar la de las piscinas, para que de esta manera se pudieran colocar de la manera más exacta y próximas posibles sin que la gran cantidad de grúas que fueron necesaria supusieran un obstáculo. Antes de continuar con el resto de las construcciones las piscinas debían de comprobarse. Por ello todas se llenaron completamente para asegurarse que la disposición del agua fuera la deseada. Las piscinas se drenaron y se continuó con la construcción del resto del edificio. (Culp, Cheyenne, 2017)

Se colocaron 870.000 azulejos en total, 180.000 de estos se ubicaron en el interior de las piscinas para tratar la superficie. Fue necesario el uso de un equipo de inspección para asegurar que la totalidad de los azulejos mantenía el margen de error de un cuarto de pulgada como marcan los estándares olímpicos. (Culp, Cheyenne, 2017)

Estas piscinas necesitan un 32% menos de agua potable que otra con sus mismas características. Esto es debido al reciclado del agua y al uso de tecnologías de bajo flujo. (Culp, Cheyenne, 2017)

Proceso de la Cubierta: la cubierta fue construida por etapas [Img. 28], las primeras vigas se situaron descansando ambos extremos en los soportes principales. Las grúas las levantan hasta su punto de unión y se anclan al soporte. Finalmente, tras colocar todas las vigas principales, se colocan el resto de vigas de apoyo. (Culp, Cheyenne, 2017)

Durante la construcción se añadieron anclajes adicionales entre los soportes de hormigón, que posteriormente serian eliminados. La estructura de la cubierta se tuvo que construir completamente antes de que se pudiera construir el resto del edificio debido a los soportes que necesitaba, por lo que, hasta que no concluyó esta fase, no se pudo comenzar a construir las piscinas. (Culp, Cheyenne, 2017)

La coronación de la cubierta esta formada por una sucesión de capas. Se colocaron laminas impermeables sobre los soportes de acero y uno grupo de sistemas mecánicos en el interior de estos. Se dejó un hueco sobre la estructura, sobre el cual, se colocaría la lamina de aluminio final de acabado. El despliegue de estas laminas tomó un mes entero. (Culp, Cheyenne, 2017)

El encuentro entre la cubierta y los soportes se realizó mediante un apoyo deslizante típico de los puentes, pudiendo ceder hasta 60cm para permitir los movimientos de contracción y retracción de la estructura por los cambios de temperatura. (Culp, Cheyenne, 2017)



Imagen 31. Proceso constructivo del Centro Acuático de Londres.

Falso Techo: el techo que cuelga en el Centro Acuático es un elemento cuidadosamente planificado y orquestado. Consta de unas 37.000 piezas de madera brasileña cuidadosamente cortadas. Cada elemento del techo está hecho específicamente para el hueco que va a ocupar, incluyendo sus soportes de metal. Su construcción se prolongó durante todo un año y simultáneamente había tantos andamios montados como para ocupar la mitad de la altura del Empire State Building. (Culp, Cheyenne, 2017)

Trampolines: Se trata de un conjunto de torres de hormigón que forman las distintas plataformas de salto. Estas torres se proyectan de forma que adoptan una pequeña inclinación hacia la piscina y se curvan en el encuentro entre la zona vertical y la losa horizontal de salto. De esta forma se crea un único elemento curvo, sencillo y armónico. (Zúñiga, Alicia. 2017)

Esta original pendiente del muro de hormigón se fusiona con la plataforma de una manera continua hasta alcanzar las losas de apoyo que se situaron a 4 metros por debajo del nivel de la piscina. Generando esta geometría única se consiguió dar solución a la estabilidad estructural, la flexión, las vibraciones y el aspecto fluido tan característico del edificio. (Culp, Cheyenne, 2017)

La disposición de las torres se utilizó para hacer más fácil la colocación de las escaleras, comunicando con ellas, mediante los huecos de separación, las distintas plataformas, partiendo desde la de 3 metros hasta alcanzar la de 10. Las torres se disponen por filas, una primera para las de 10 y 7,5 metros, y una segunda fila para las de 3 y 5 metros, de forma que cuando se observan las torres de frente, quedan alineadas las tres mas altas y la de 3 metros queda delante de la de 7,5. Las escaleras y barandillas son metálicas y

en la parte izquierda de la piscina, se sitúa una nueva torre con similares características, donde se colocan los trampolines de 3 metros. (Zúñiga, Alicia. 2017)

Para la instalación de las torres se generó un software que extraía la posición de las barras según la definición geométrica para asegurarse de que el refuerzo pudiese doblarse e instalarse. [Img. 29] (Culp, Cheyenne, 2017)

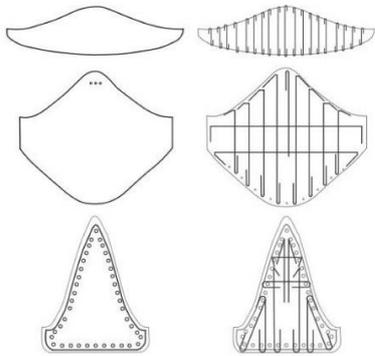


Imagen 32. Armado de trampolines.



Imagen 33. Disposición de los trampolines.

Estructura temporal: Durante los juegos se instalaron unas gradas temporales que tras la finalización de estos sería desmontada. Esta subestructura apoyaba en la estructura principal que genera la forma de la cubierta. Estas nuevas gradas se construyeron siguiendo la curvatura del techo, colocando entre ellos una lamina que asumiera los diferentes movimientos entre la subestructura y la cubierta. (Culp, Cheyenne, 2017)

La subestructura se diseñó mediante una contraflecha, de forma que al levantar todo el peso que suponían estas nuevas cerchas, sus deformaciones, mientras estaban siendo cargadas por las grúas, no fuesen incompatibles con la construcción final, por lo que fueron diseñadas con una flecha positiva que contrarrestara la generada por la gravedad quedando así apoyada con una desviación nula. (Culp, Cheyenne, 2017)



Imagen 34. Situación durante los Juegos.



Imagen 35. Render situación tras finalizar los Juegos.



Imagen 36. Alzado sur durante los Juegos.

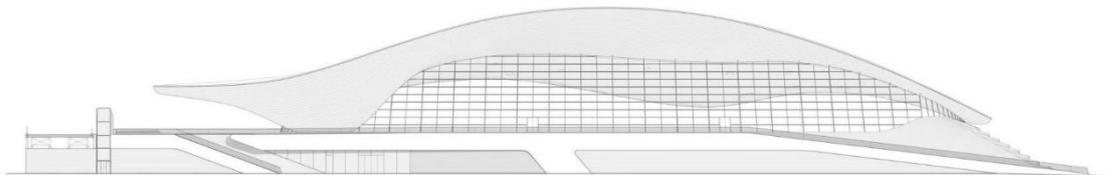


Imagen 37. Alzado sur tras finalizar los Juegos.

4.1. Materialidad.

Los materiales utilizados en el edificio forman parte del diseño y la funcionalidad del mismo. Debido a la elevada humedad en la zona de las piscinas, se requería de materiales que no se deformaran o hincharan, lo que significaba que cualquier madera utilizada tendría que provenir de un clima húmedo y cualquier otro material no podría ser extremadamente poroso. Se usaron pues cuatro materiales principales en el edificio y alrededores. El hormigón, el vidrio, la madera y los azulejos eran las opciones más lógicas. (Culp, Cheyenne, 2017)

Hormigón armado: La superestructura de hormigón armado es el único componente de ingeniería que permanece visible para el espectador. La calidad, la forma visual y la apariencia fueron el punto de partida para el desarrollo del diseño estructural para garantizar una calidad estética y un rendimiento estructural óptimo de manera fiable. Para evitar daños por compatibilidad se genera una única junta de movimiento entre el edificio y el puente de Stratford. (Culp, Cheyenne, 2017)

El sótano fue diseñado como una única pieza unida y sin juntas. La mezcla del hormigón requería un cuidado específico y a esto había que sumar el complejo diseño de este y su armadura. (Culp, Cheyenne, 2017)

Los tres apoyos principales también están fabricados con este material formado por cemento de escoria de alto horno granulado y molido. Esta solución es un subproducto de la industria siderúrgica y contribuye a un hormigón de carbono de mejores prestaciones. (Culp, Cheyenne, 2017)

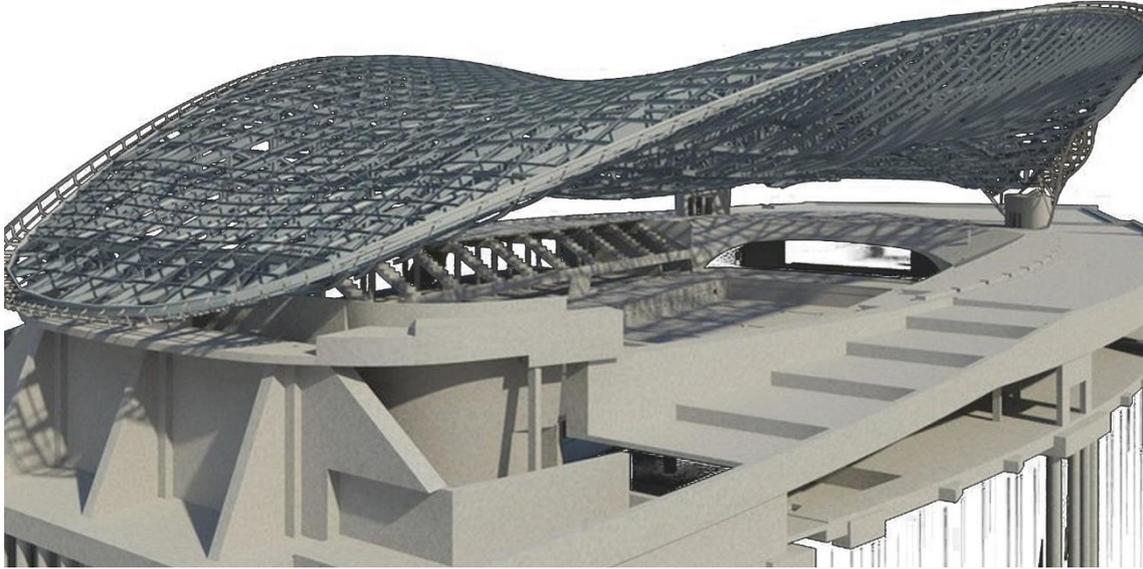


Imagen 38. Situación de la estructura de hormigón.

Vidrio: Se usó el vidrio para permitir la entrada de la máxima cantidad de luz natural posible en los espacios, incluyendo parte de los del sótano. Un total de 628 paneles de vidrio se utilizaron en la parte exterior tras concluir los Juegos Olímpicos. Los paneles están impresos con un patrón de matriz de puntos para reducir el brillo sobre la superficie del agua, evitando así reflejos excesivos o el llamado efecto lupa. (Culp, Cheyenne, 2017)

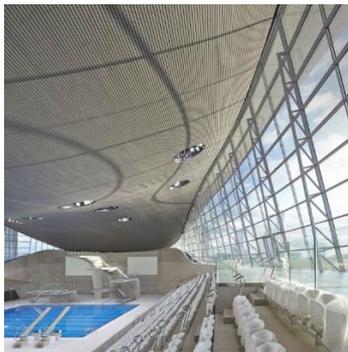


Imagen 39. Vista del vidrio desde las gradas.

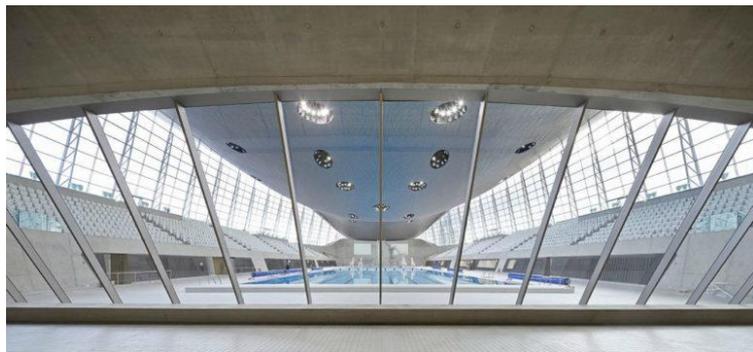


Imagen 40. Vidrio para iluminar el sótano.

Madera: Se utilizó una madera brasileña llamada Red Louro para el falso techo debido a su óptimo comportamiento en zonas húmedas. Esta madera también es conocida por tener gran resistencia frente a grafitis y el fuego, reduciendo así la necesidad de tratamientos químicos agresivos. (Culp, Cheyenne, 2017)

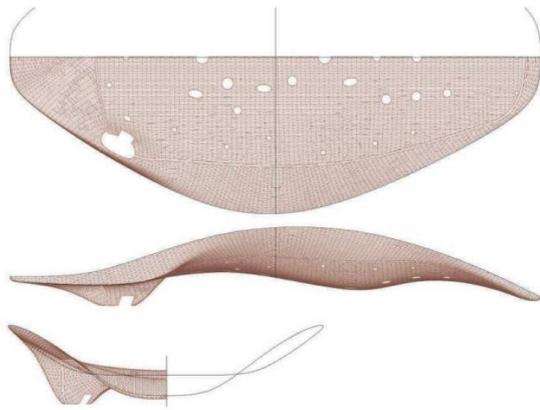


Imagen 41. Esquema de la disposición de la madera.



Imagen 42. Madera en la zona exterior.

4.2. Estrategias integradas.

Estas estrategias son necesarias en un ambiente en el que la calefacción, el aire acondicionado y el movimiento del aire trabajan juntos para proporcionar las condiciones adecuadas para los espectadores y atletas, al mismo tiempo que ahorran en consumo de energía. Debido a que el espacio creado por la cubierta es tan grande, se induce energía únicamente en la zona implicada, ya sea a través de cortinas de aire en los muros cortina o mediante el enfriamiento de los asientos de las gradas. De esta forma únicamente las zonas de uso, y no todo el volumen, alcanzan la temperatura adecuada. Por último, los sistemas de agua necesarios para las piscinas, sirven para reutilizar el agua que se usa para caldear el aire. Gracias a esto el agua también se reutilizará en las piscinas y en duchas e inodoros de forma que la misma cantidad de agua genere el doble del uso.

Movimiento del aire: El edificio se diseñó de forma que se usaran diferentes técnicas para la ventilación, usando métodos mecánicos, pero también naturales. Se crean por tanto estrategias basadas en el movimiento natural del aire, por el cual tiende a elevarse cuando está caliente y a descender cuando se enfría, para el sistema de enfriamiento y calefacción. Por ello el aire se suministra por conductos situados en distintos lugares del edificio que proporcionan aire fresco a las zonas de mayor actividad, las gradas. El sistema de ventilación emplea únicamente chorros y ventiladores de baja velocidad, evitando así corrientes de aire creando un ambiente agradable. (Culp, Cheyenne, 2017)

La zona de la piscina se proyecta como un sistema propio de calefacción. El aire se libera a través de las rejillas de ventilación en la pared de las gradas y es calentado por el sistema de suelo radiante en el pavimento de las piscinas. El movimiento natural permite que el aire fresco domine el ambiente, mientras que el aire frío desciende y es expulsado por el conducto de retorno que actúa tanto para el aire como para el agua de la piscina. De esta manera se genera un ambiente cómodo para los deportistas. (Culp, Cheyenne, 2017)

Debido a la atmósfera significativamente más fría en la zona de asientos en comparación con la de los atletas, los asientos forman parte de una zona distinta a la de la piscina. Cada asiento suministra su propia ventilación debajo de este, que suministra el aire frío directamente al usuario. A medida que el aire va aumentando su temperatura, comienza a elevarse y es recogido por los retornos en la parte superior de las gradas. (Culp, Cheyenne, 2017)

Este sistema almacena cantidades de exceso de calor que se reutiliza y canaliza hacia los sistemas de conductos para calentar más tarde el agua de las piscinas y para el suelo radiante. (Culp, Cheyenne, 2017)

Una consideración importante fue acondicionar la cubierta, originalmente no estaba previsto, pero tras un estudio se descubrió que el ahorro energético era mayor al acondicionarlo. Las dificultades de aislar adecuadamente la cubierta frente a las humedades de la piscina para evitar condensaciones eran mucho mayores que la energía perdida al acondicionarlo. (Culp, Cheyenne, 2017)

El encuentro entre el muro cortina y la cubierta era de gran importancia debido a los puentes térmicos generados en este punto, para evitar esto, el muro cortina se introdujo en el interior del techo y posteriormente fueron unidos por una lámina impermeable que reduce al máximo la condensación a la vez que evita el puente térmico.

Además, por la parte interior se genera una corriente de aire pues un sistema de calefacción introducido en los montantes calienta el aire cercano haciendo que este ascienda, de esta forma el aire sube por el muro cortina hasta enfriarse al entrar en contacto con la cubierta y desciende lentamente hacia las gradas. [Fig. 4] (Culp, Cheyenne, 2017)

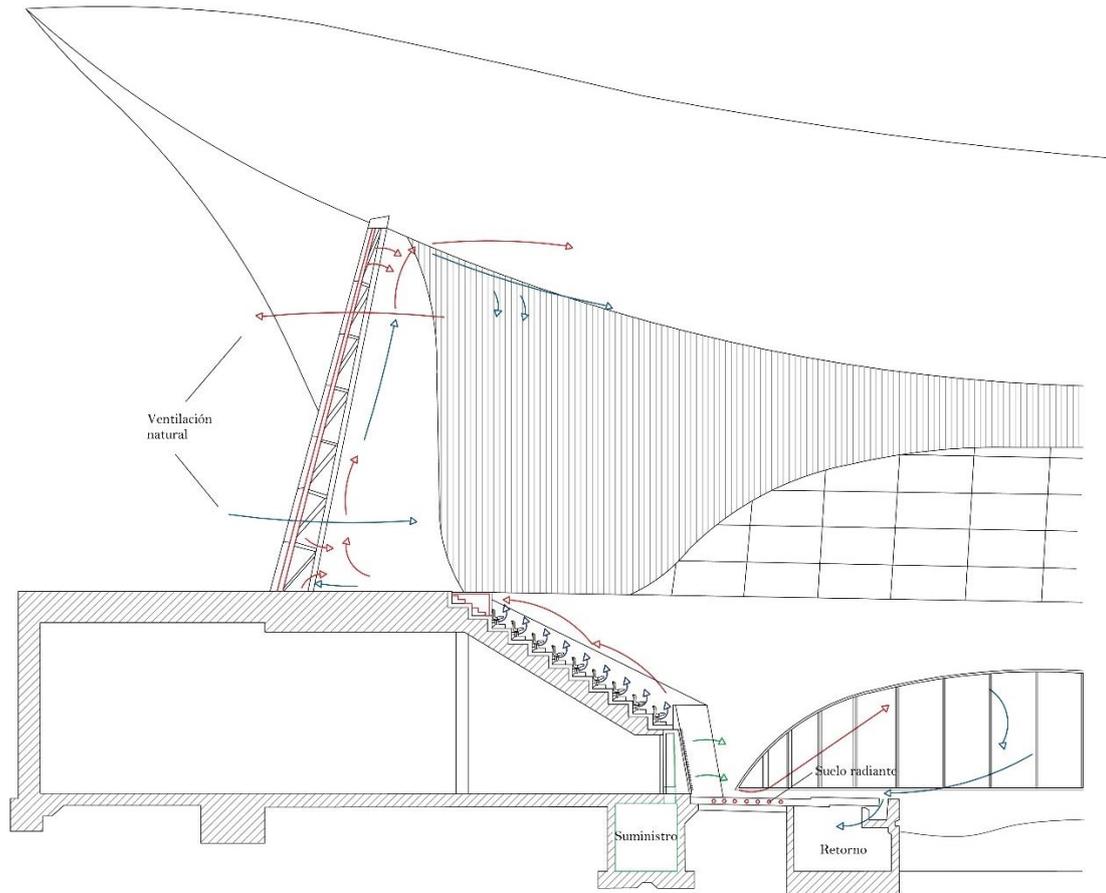


Imagen 43. Esquema del funcionamiento de la ventilación y movimiento del aire.

Calefacción y refrigeración: Como se ha comentado anteriormente estos sistemas se basan en la distinción del edificio por zonas, esto favorece la posibilidad de alcanzar las necesidades ambientales sin influir en la totalidad del espacio haciendo coincidir la totalidad del edificio junto con la cubierta a una misma temperatura, lo que requeriría un excesivo gasto de energía y no se podría conseguir la temperatura óptima en cada una de las zonas. Estos se encuentran integrados con los sistemas de agua, gracias a las piscinas y otros elementos como las duchas para limitar el desperdicio de energía y aumentar al máximo su eficiencia. (Culp, Cheyenne, 2017)

El muro cortina se generó proyectando unos montantes agrandados, por los cuales se hacía circular el agua para la calefacción. Estos montantes utilizan la presión del agua de los tubos superiores en inferiores para desplazar el agua, esta agua caliente el aire en la base del muro y este sube hasta la parte superior donde se enfría y desciende. Este movimiento del aire impide la formación de condensaciones. (Culp, Cheyenne, 2017)

Sistema del agua: Una sala de filtración centralizada es el eje generador de este sistema. Ubicada en la piscina de competición y la de entrenamiento. Este centro filtra y recircula el agua a todas las piscinas a la vez y recolecta el agua de las duchas y la redistribuye para las aguas grises en los retretes. Aportando así un gran ahorro del agua utilizada siendo este una de las técnicas más respetuosas con el medio ambiente del edificio. (Culp, Cheyenne, 2017)

“Los sistemas de tratamiento de agua incorporan floculación utilizando cloruro de polialuminio; Filtración de velocidad media en lechos de arena de alta calidad, de un solo grado y de 1 metro de profundidad; radiación ultravioleta de presión media; calefacción; y control automático de ph y pre cloro residual. El sistema de filtración eliminará partículas de hasta 1 micra.”

“Otros elementos ecológicos incluyen el control cercano de los parámetros químicos para minimizar el uso de químicos y la reducción de los subproductos de desinfección, y la recuperación del agua de retrolavado con su propio sistema de tratamiento especialmente diseñado para que el agua de retrolavado recuperada se use para la descarga del inodoro en todo el complejo.” (Zaha Hadid, 2011).

Se proyecta un enorme canalón que recorre la cubierta recogiendo toda el agua de lluvia que se distribuye hasta la gran pared verde en el lado sur del edificio. De esta forma se controla el desperdicio del agua y el desbordamiento del agua de lluvia por las fachadas provocando la esorrentía. [Fig. 5]

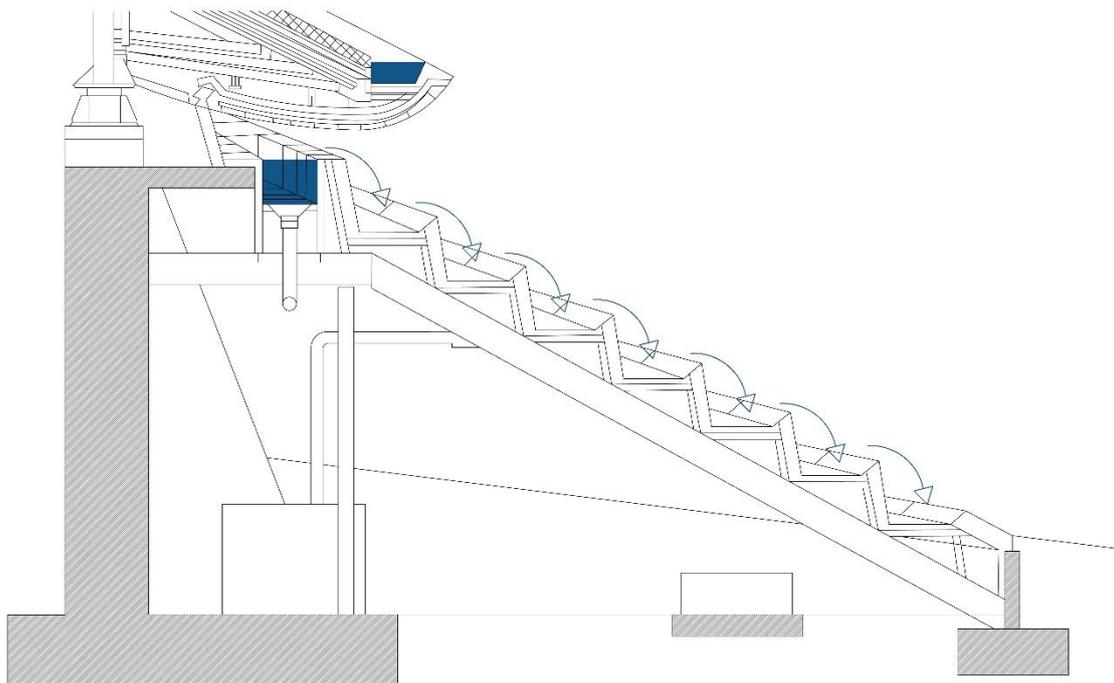


Imagen 44. Esquema del funcionamiento de la recogida de aguas pluviales.

Encuentro Gradas Auxiliares: Como ya se ha explicado Zaha Hadid diseñó dos etapas para el edificio. La primera se refiere al periodo en el que los Juegos Olímpicos estaban transcurriendo, en la cual el edificio disponía de dos alas de gradas en los laterales sobre una subestructura de aluminio adherida al edificio. La segunda etapa del edificio comienza con la conclusión de los Juegos, cuando esta subestructura se retira y se recicla, dejando un edificio como legado para la ciudad de Londres adquiriendo así un centro neurálgico para el deporte.

Estas gradas se proyectaron de forma que continuaran la forma curva de la cubierta, de forma que generasen una conexión casi perfecta en todo el recorrido de la subestructura. Se deja un espacio entre ambas para evitar que sean dañadas entre sí por los movimientos térmicos, por lo que se coloca entre ambas un tejido deflector a lo largo de todo el perímetro de forma que este pudiese ser retirado sin dificultad una vez terminaran los eventos deportivos. (Culp, Cheyenne, 2017)

También se colocó una lámina impermeable para sellar la junta entre la madera, la canaleta y la subestructura evitando así la entrada de agua durante la fase Olímpica. Se colocó una tela perpendicular a esta junta, en los laterales de las gradas como remate de esta. Y finalmente, una tela de PVC para recubrir los laterales de las gradas a modo de cerramiento y protección de los usuarios. (Culp, Cheyenne, 2017)

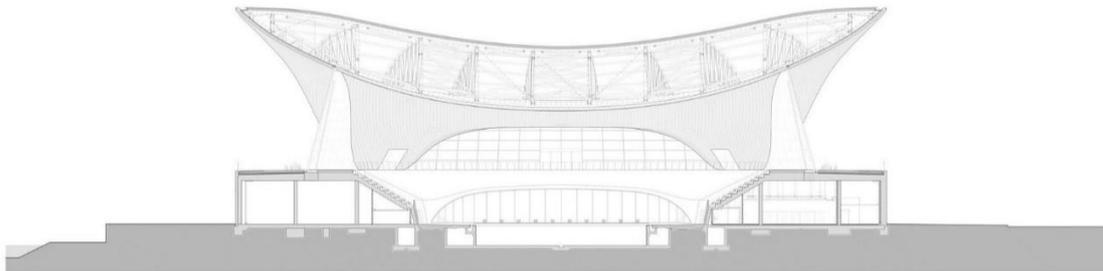


Imagen 45. Sección del edificio con el formato final.

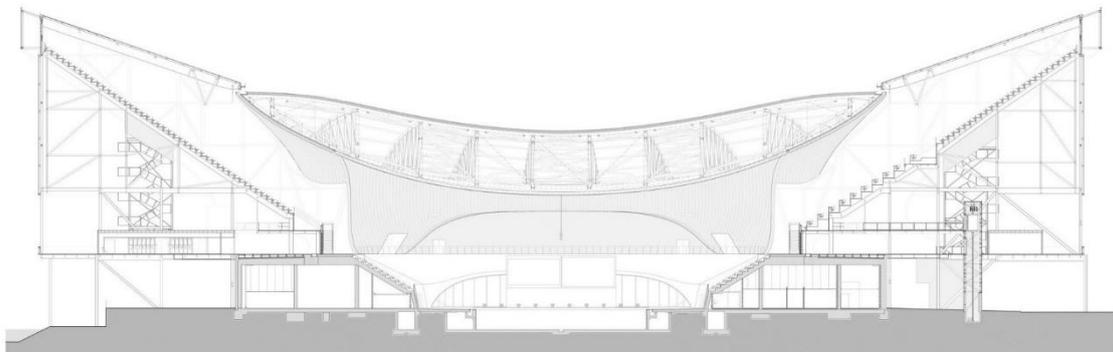


Imagen 46. Sección del edificio con el formato durante los Juegos Olímpicos.

4.3. Esquema estructural.

Uno de los principales desafíos del proyecto fue el desarrollo de la estructura de la cubierta en forma de ola de 36.000 m², apoyada únicamente en dos núcleos de hormigón y un muro de escasos 21 metros. Con esto se consigue un espacio libre de columnas de 160 metros de largo y 90 metros de ancho.

La estructura consiste en un diafragma con tres únicos apoyos, el muro y dos especies de pilares. La forma principal es la de un diamante con su parte más ancha en la mitad del tramo. Fabricada en su totalidad con secciones en forma de H orientadas verticalmente y unos tirantes del mismo canto que las barras para facilitar la construcción de las uniones. (Culp, Cheyenne, 2017)

Las cerchas se disponen perpendicularmente apoyándose en las uniones del “diamante”. Las cargas de las cerchas exteriores recaen sobre las cerchas principales transversales, las cuales descansan sobre las dos cerchas principales que apoyan en los elementos de hormigón. Esta disposición genera una transmisión de carga en forma de arco desde los apoyos circulares hasta el muro. (Culp, Cheyenne, 2017)

En estado de carga uniforme, los dos arcos generados por la estructura se quiebran entre si, por lo que se forma un aro de compresión. En los extremos de las alas, al generarse un cambio de geometría aparecen tensiones que se asumen por el lazo de tensión que se proyecta en el centro y con ayuda de las cerchas principales. Para simplificar el calculo se asume que la estructura tiene forma de cúpula, que al formar un ángulo con la normal de 30° se genera un aro de compresión. (Culp, Cheyenne, 2017)

Para garantizar que el techo se comporte de la manera proyectada y para minimizar los efectos de la subestructura, los extremos norte se apoyan en el hormigón mediante rotulas y en el muro sur se realiza siguiendo el mismo método, en tres puntos sobre el muro de hormigón. Los dos apoyos exteriores del muro tienen libertad para desplazarse en ambos sentidos, pero el central solo lo puede hacer en el sentido del eje central del edificio, para evitar que el empuje sea atraído por la coartación del movimiento del muro y permitir la libre expansión de la cubierta por cambios de temperatura. (Culp, Cheyenne, 2017)



Imagen 47. Estructura del edificio.

4.4. Eficiencia energética.

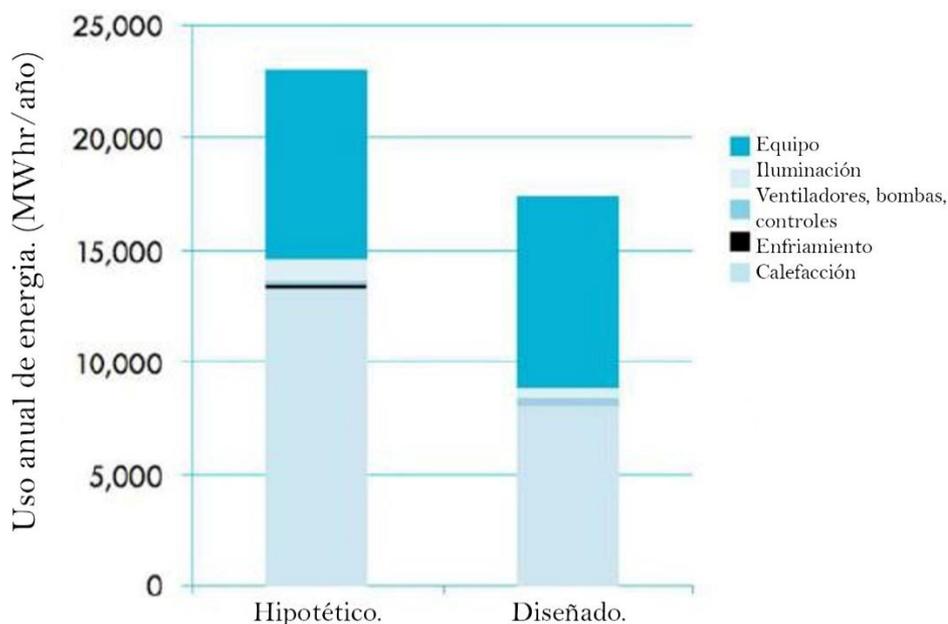
En un principio se diseñó un sistema mecánico de ventilación para las gradas temporales, pero finalmente se decidió en uso de la ventilación natural, esto logró un ahorro de 56 toneladas de carbono y un coste de más de 278.000€. (Culp, Cheyenne, 2017)

Uno de los requisitos iniciales era eliminar los hidrofluorocarbonos de los sistemas de refrigeración, pues tras estudiarse se comprobó que la climatización por estos sistemas de todo el centro acuático, equivaldría a un consumo de energía durante un ciclo de vida de 25 años de un hogar medio del Reino Unido. Por lo que la instalación de hidrocarburos significó un gran descenso en el potencial de calentamiento global. (Culp, Cheyenne, 2017)

Gracias al diseño del edificio se ha logrado una reducción del 32% de la demanda de agua potable, un ahorro de 18 megalitros al año. Esto ha sido posible gracias a la implantación de accesorios de flujo bajo en las duchas, grifos con apagado automático e inodoros de descarga simple. (Culp, Cheyenne, 2017)

Todo ello acompañado de la recirculación y filtración del agua de lluvia y de las piscinas tanto para aguas grises como para los sistemas de calefacción.

El edificio no pudo en un principio conectarse a la red de agua no potable del recinto olímpico debido a la escasez de espacio en el canal de servicio que se conecta al suministro principal. Como alternativa se instaló un sistema de reciclaje de aguas grises de unos 59.000€ para explotar la gran cantidad de agua residual producida tras el filtrado del agua anteriormente comentada. Aproximadamente un tercio de toda esta agua se reutiliza para uso no potable como inodoros, ahorrando así gran cantidad de agua. (Culp, Cheyenne, 2017)



4.5. Levantamiento en 3D.

En el siguiente apartado se adjuntan una serie de vistas del levantamiento mediante programas de modelaje en 3D y fotos de la realización de una maqueta que representa la forma del volumen generado por la cubierta, junto con el revestimiento de madera del edificio.

En esta representación se pueden apreciar las distintas partes comentadas del edificio durante la generación de la memoria. Los tres apoyos, el volumen general formado por la ondulación de la cubierta donde se resguardan las piscinas de competición y de buceo, y el voladizo que se forma dando lugar a la generación del hall exterior.

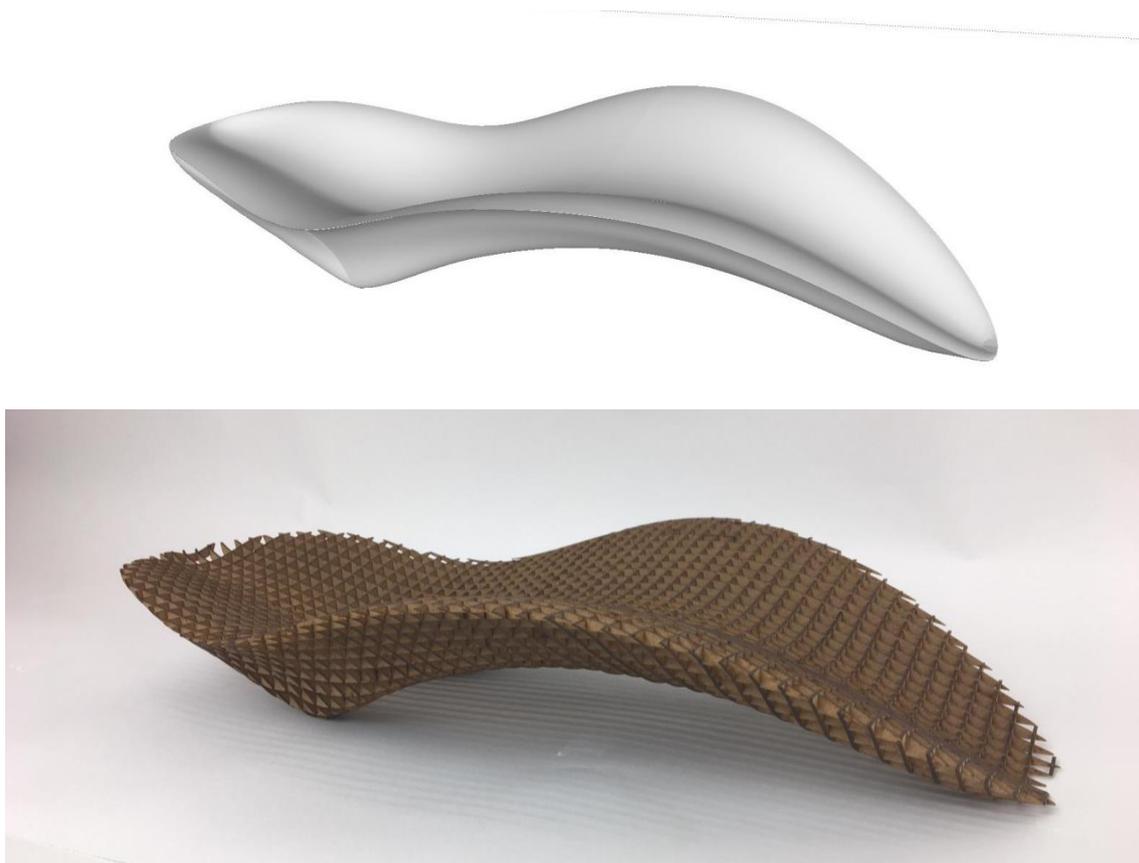


Figura 1. Representación 3D y maqueta de la cubierta del edificio.

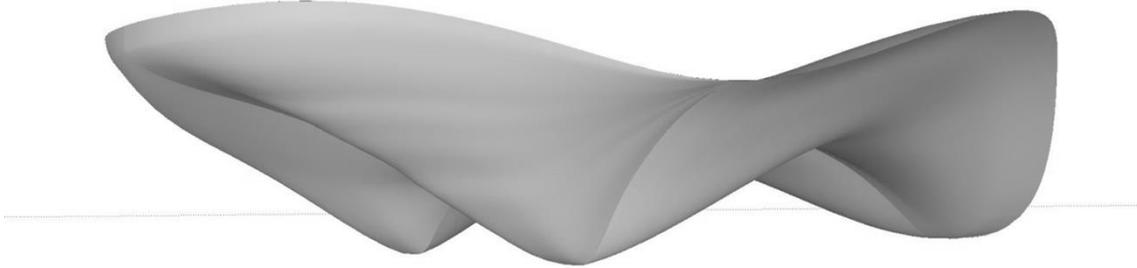


Figura 2. Representación 3D y maqueta de la cubierta del edificio.

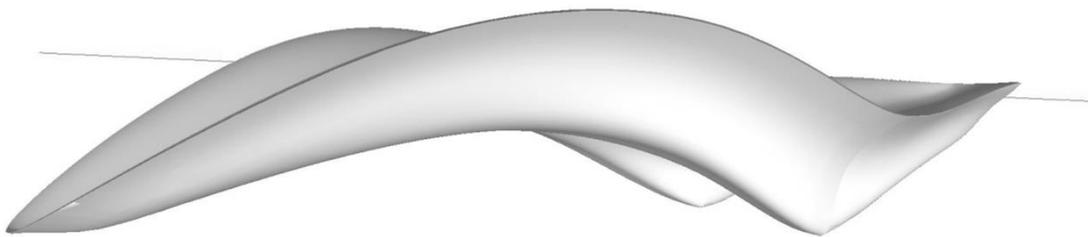


Figura 3. Representación 3D y maqueta de la cubierta del edificio.

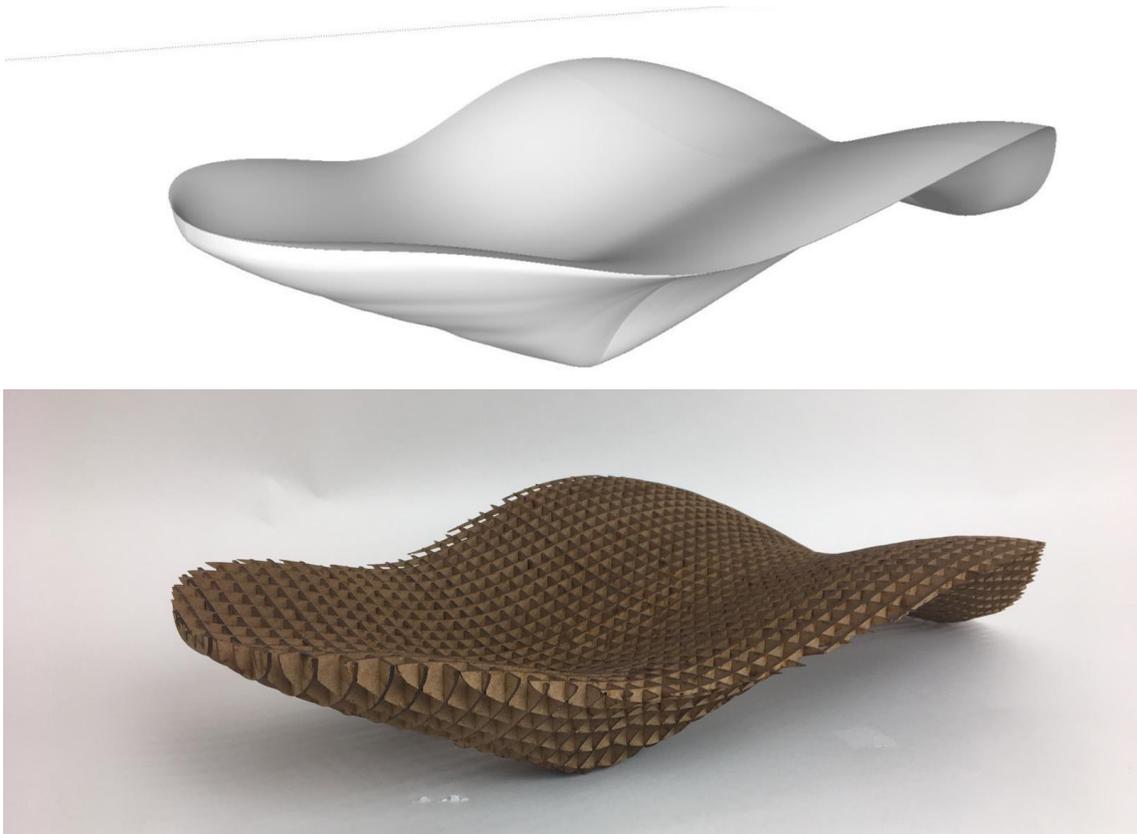


Figura 4. Representación 3D y maqueta de la cubierta del edificio.

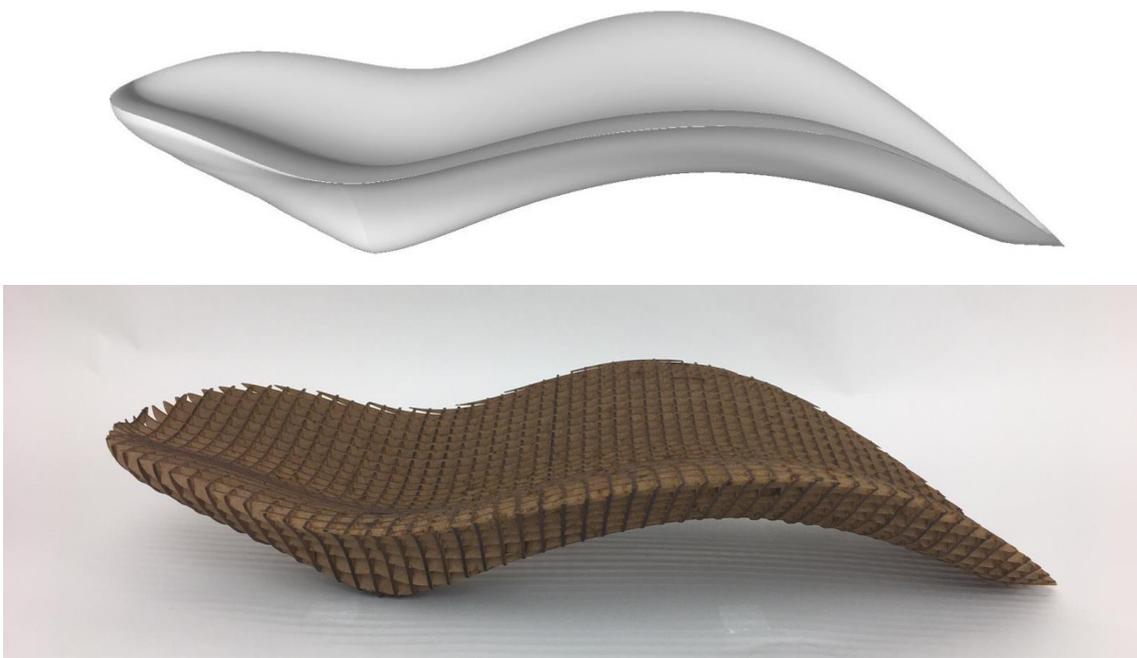


Figura 5. Representación 3D y maqueta de la cubierta del edificio.

4.6. Detalles constructivos.

Encuentro Cubierta-Fachada.

Los muros cortinas fueron usados como elemento de relleno entre los cimientos de hormigón y la estructura de acero de la cubierta una vez concluidos los eventos olímpicos.

La fachada, especialmente lo que supone el muro cortina, fue tratado de una forma minuciosa y detallada, desde la proyección del diseño estructural hasta los elementos de calefacción y refrigeración. Estas fachadas debían ser autosuficientes, proyectando cristalerías de grandes dimensiones con amarres de acero sobre una estructura metálica. Este sistema permitió que las instalaciones de calefacción circularan por el interior de los montantes agrandados evitando así puentes térmicos uno de los elementos de mayor importancia en cuanto a la transmisión térmica.

Uno de los puntos de más importancia a tratar es el encuentro entre el muro cortina y la cubierta, pues se deducía una inseguridad térmica en el cerramiento en ese punto. Para evitar el puente térmico, se creó una cavidad en el encuentro entre ambos, penetrando el muro en el interior de la cubierta. Esta cavidad fue rodeada y unida al sistema de aislamiento del techo, esta técnica favoreció a reducir las condensaciones en el encuentro. (Culp, Cheyenne, 2017)

Para esto se genera un movimiento del aire gracias al juego de calefacción interior y exterior combinada con la de los montantes. De esta forma se logra que el aire caliente ascienda a lo largo del muro cortina creando una ligera corriente de aire hasta que, en la cavidad, en contacto con la cubierta, este aire comienza a enfriarse y desciende lentamente hacia la zona de gradas. Esto evita la formación de corrientes de aire pesadas que puede ser incomoda para espectadores y atletas a la vez que evita las condensaciones en el muro cortina.

La fachada esta formada por un revestimiento de madera brasileña que genera una cámara de aire muy ventilada, acompañada de una lana de roca de 10cm con una conductividad térmica (λ) de 0.039w/mk, un contrachapado de madera de 2cm con una $\lambda=0.14$ w/mk. Logrando una $U=0.337$ w/m²k de la fachada.

Por otro lado, la cubierta se diseña mediante un acabado de chapa grecada de acero con una conductividad térmica (λ) de 15w/mk, una capa de lana de roca de 20cm con $\lambda=0.039$ w/mk, un tablero OSB de espesor 5cm con $\lambda=0.12$ w/mk. Logrando una $U=0.173$ w/m²k de la cubierta. A esto se le suma la resistencia producida por el movimiento del aire generado en el interior de la cubierta.

Finalmente, el muro cortina está formado por la estructura de acero y el vidrio formado por un perfil CW50 de la casa Reynaers, con un doble vidrio de 6mm generando así una $U=0.8$ w/m²k.

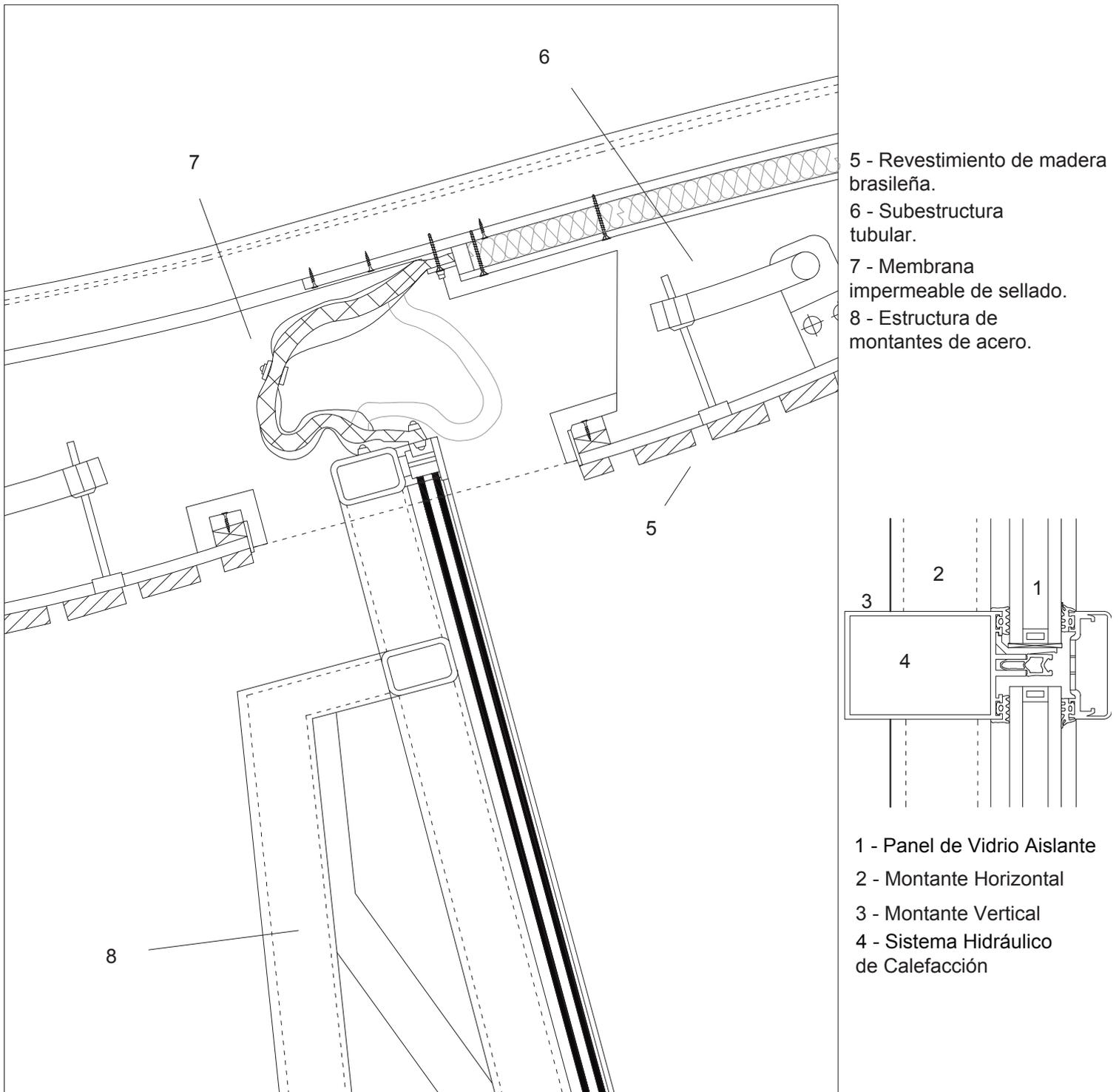
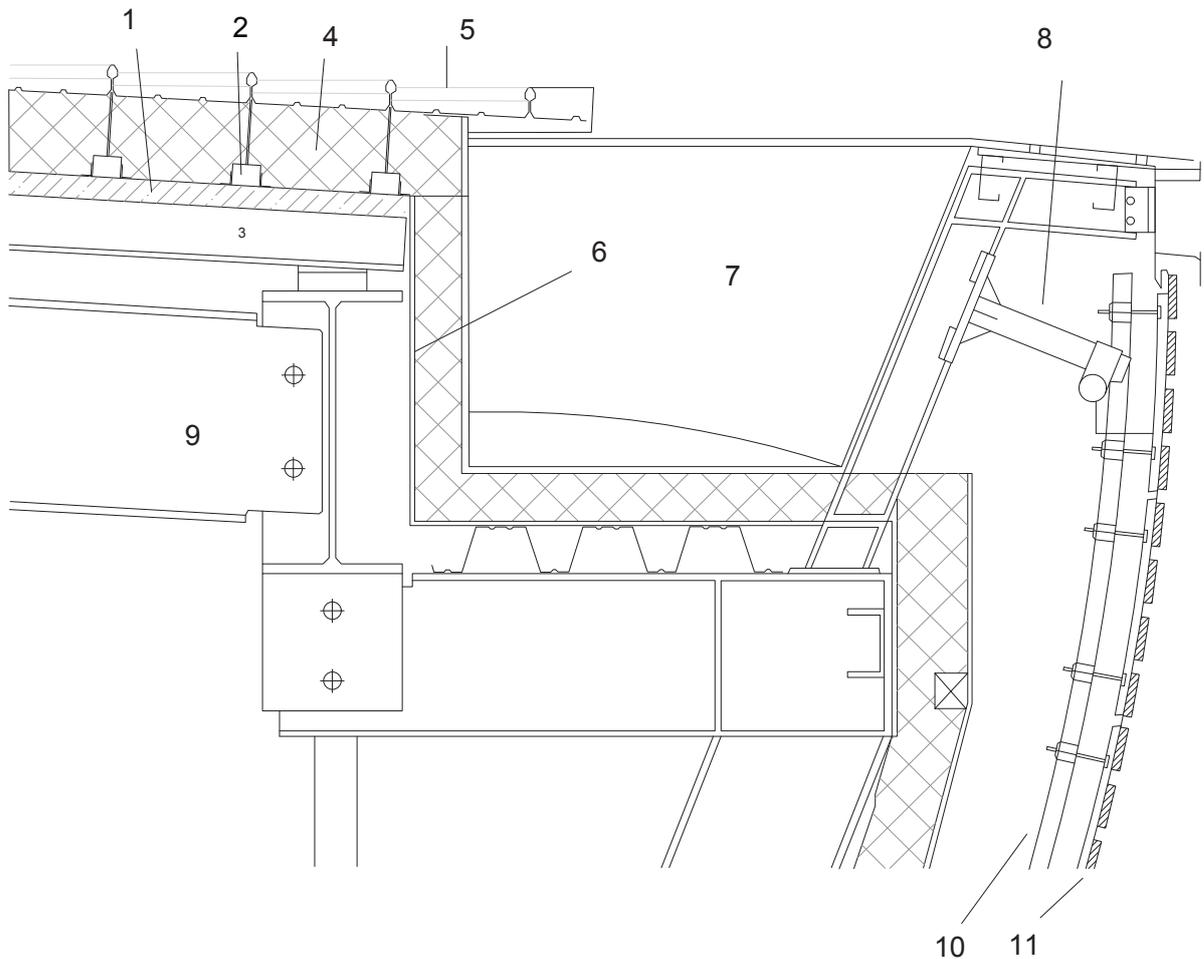


Figura 6. Encuentro entre la cubierta y el muro cortina.

Canaleta de recogida de agua.

Una enorme canaleta recorre todo el perímetro de la cubierta, recogiendo gran cantidad del agua de lluvia, esta es usada como suministro de gran pared verde situada en el lado sur del edificio. Esto sirve en gran parte como método de aprovechamiento del agua para colaborar con la calefacción y de otro lado impide que el agua de lluvia almacenada en la cubierta golpee en las fachadas evitando así que se generen problemas causados por la escorrentía.



- 1- Tablero de madera OSB.
- 2- Soporte de acabado.
- 3- Chapa grecada.
- 4- Aislamiento lana de roca.
- 5- Acabado final de chapa grecada machihembrada.

- 6- Tablero laminado contrachapado.
- 7- Canaleta de recogida de agua.
- 8- Subestructura tubular.
- 9- Estructura principal.
- 10- Tubulares secundarios.
- 11- Acabado de madera brasileña.

Figura 7. Detalle de la canaleta.

Espacio de cubierta.

La cubierta esta formada por una serie de cerchas dispuestas en abanico. Estas apoyan únicamente en tres soportes de hormigón y se enlazan con una subestructura de formado por cerchas de atado entre ellas. Sobre los extremos laterales estas cerchas se abren y vuelan sobre el espacio exterior donde durante los juegos se situaban las gradas auxiliares.

Sobre estas se colocaron capas de aislamiento térmico e impermeabilizantes y sobre estas finalmente se colocó el acabado con una lámina de aluminio grecada, la capacidad de despiece oblicuo de estas permitía la creación de un aspecto dinámico a las formas onduladas.

Por la parte interior del edificio la cubierta esta revestida por 37.000 laminas de madera brasileña, creando una continua superficie fluida y ondulada.

En un principio la cubierta no iba a estar acondicionada, pero tras investigar, se llegó a la conclusión de que era más rentable que el aislar adecuadamente todo el espacio debido a su dificultad de ejecución. Para, esto se generaron una serie de ventiladores sincronizados de forma que mantengan el aire del interior de la cubierta en continuo movimiento de forma que junto con el aislamiento se eviten las condensaciones.

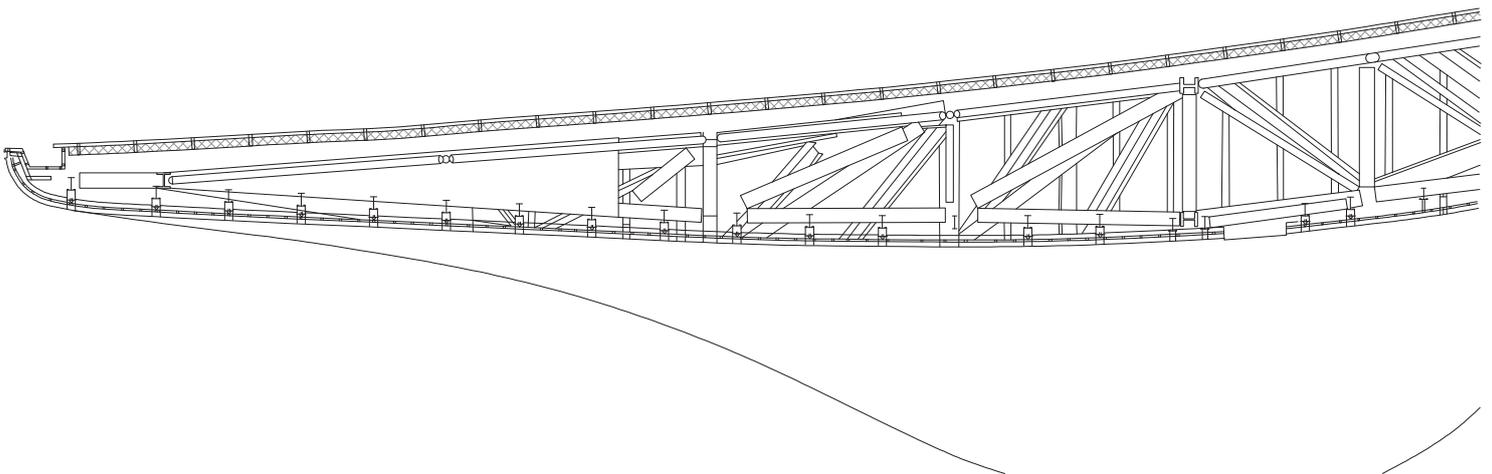
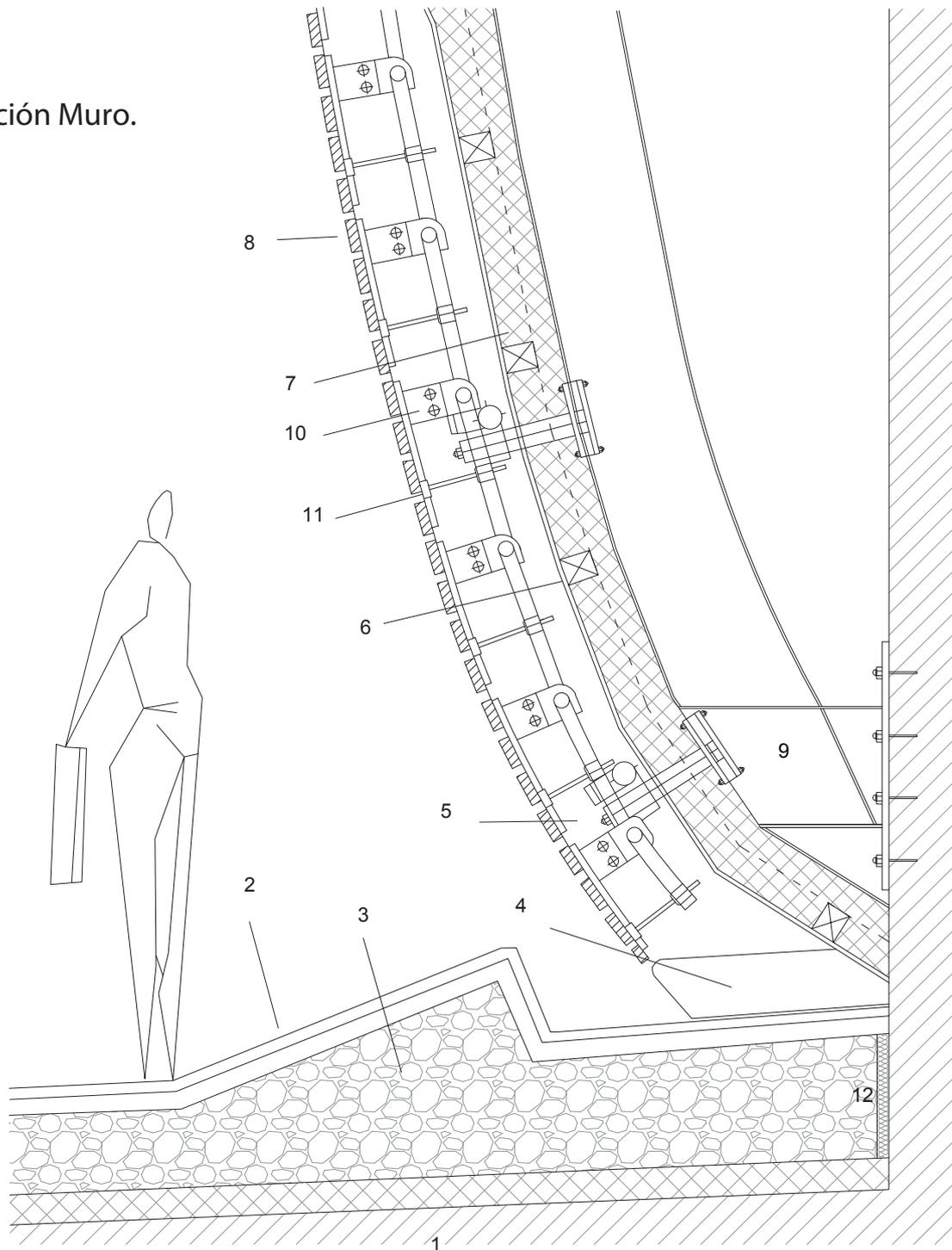


Figura 8. Sección constructiva de la cubierta.

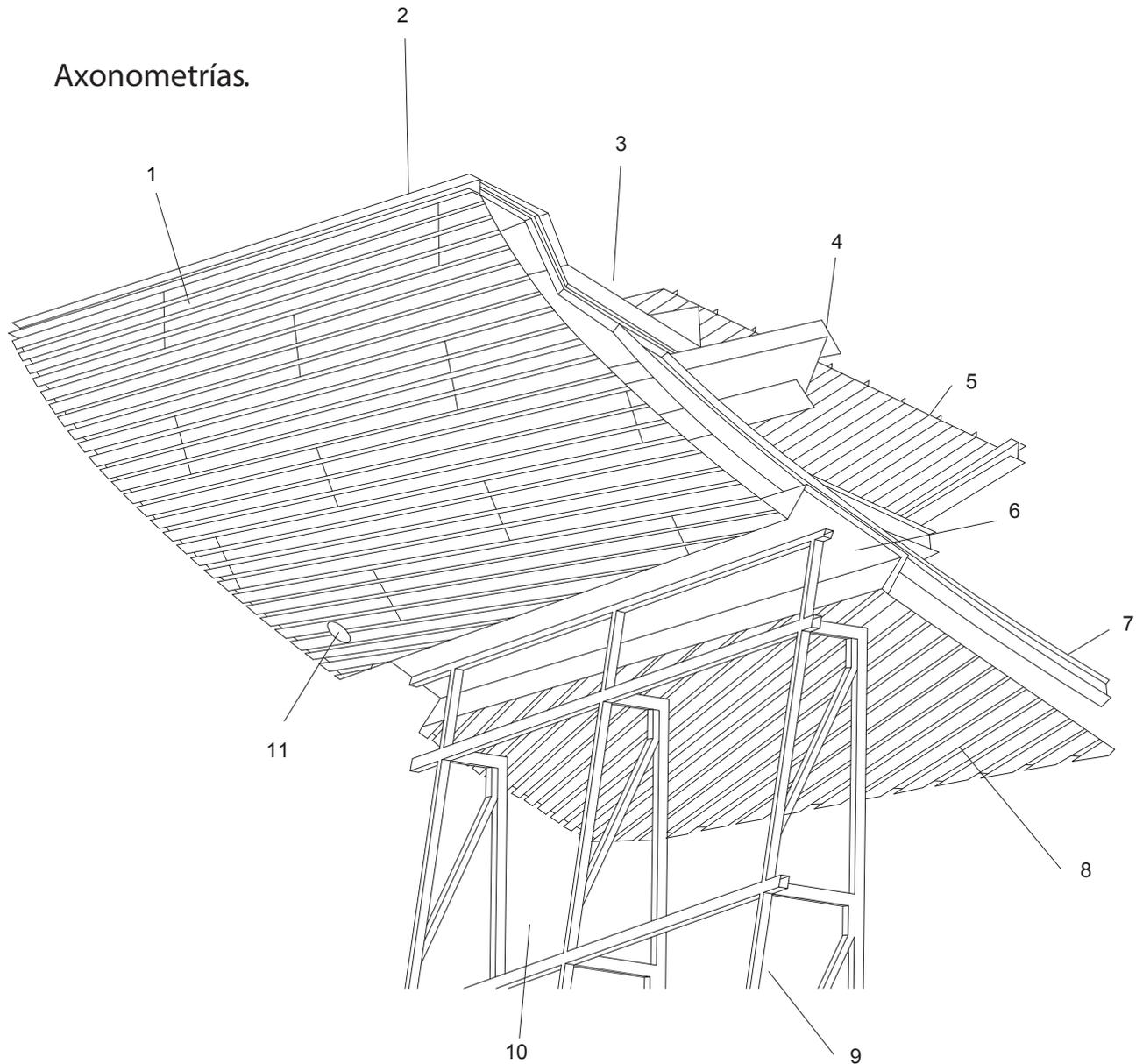
Sección Muro.



- 1- Forjado de hormigón.
- 2- Capa asfáltica impermeable.
- 3- Hormigón aligerado.
- 4- Prefabricado de hormigón.
- 5- Subestructura tubular.
- 6- Tablero contachapado de madera.

- 7- Aislamiento lana de roca.
- 8- Acabado de madera brasileña.
- 9- Estructura principal.
- 10- Anclaje principal.
- 11- Anclaje regulable.
- 12- Junta de dilatación.

Figura 9. Detalle del encuentro entre el muro y el podio.



1- Revestimiento exterior de madera Red Louro respaldada con aislamiento térmico y acústico.

2 - Conexión al interior de la canaleta.

3 - Canaleta de recogida de agua.

4 - Estructura principal de acero.

5 - Acabado de cubierta. Chapa grecada.

6 - Canal de encuentro con fachada.

7 - Subestructura de acero.

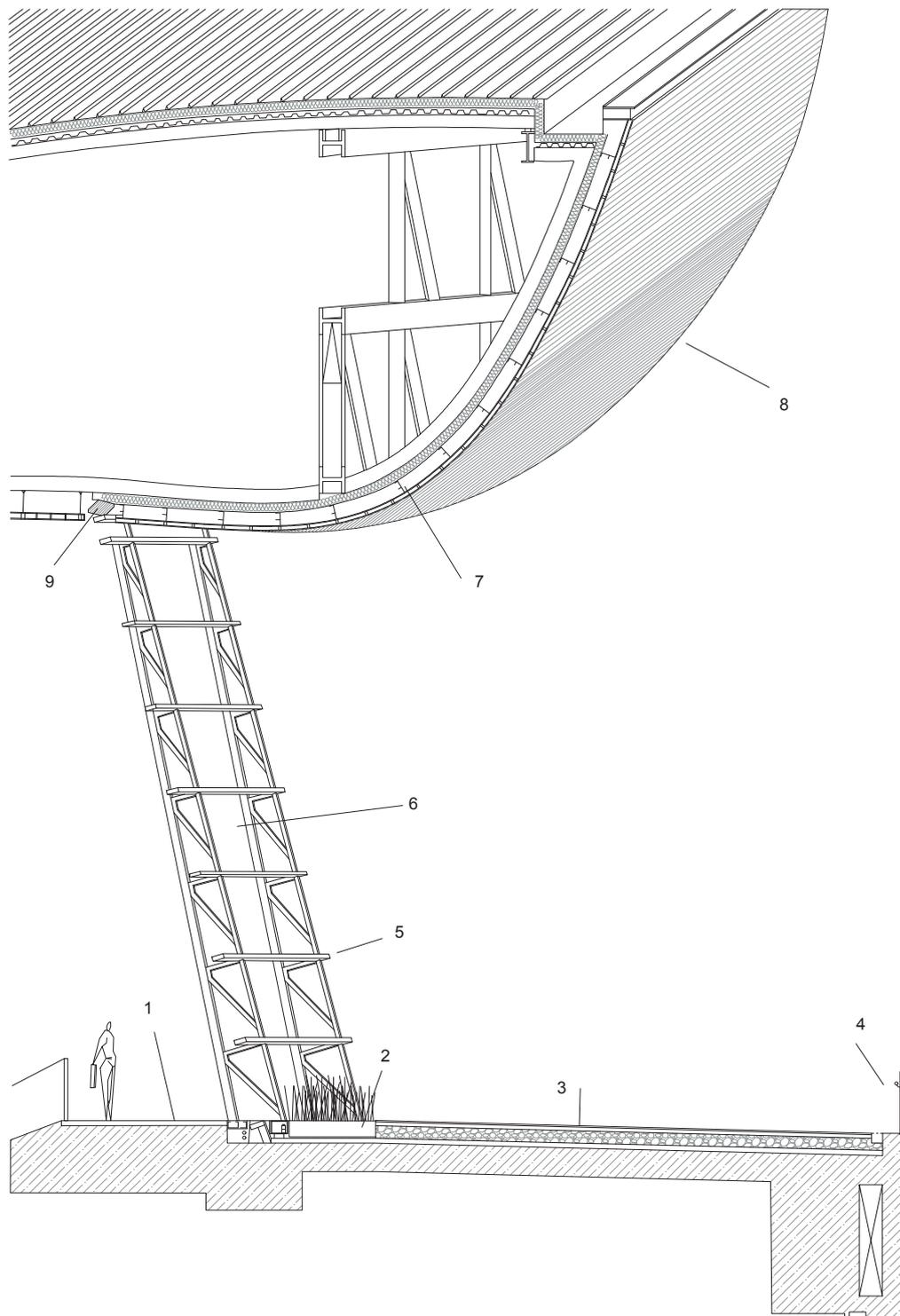
8 - Revestimiento interior de madera Red Louro con colaboración de Abedul con respaldado con aislamiento térmico y acústico.

9 - Montante hueco sobredimensionado para el almacenamiento del sistema de calefacción.

10 - Estructura del muro cortina.

11 - Downlight exterior.

Figura 10. Axonometría del encuentro entre el muro cortina y la cubierta



1- Pavimento con acabado de resina.
2- Elemento verde sobre una capa de 20cm de tierra.
3- Pavimento duro de asfalto.

4- Balastrada perimetral de metal con barandilla tubular continua.
5- Perfil de acero de la estructura del muro cortina con superficie acristalada.

6- Vidrio templado y laminado.
7- Subestructura de acero.
8- Revestimiento de Madera con tratamiento contra la intemperie.
9- Membrana impermeable y hermética para permitir el movimiento del techo.

Figura 1 1. Axonometría constructiva de parte del edificio.

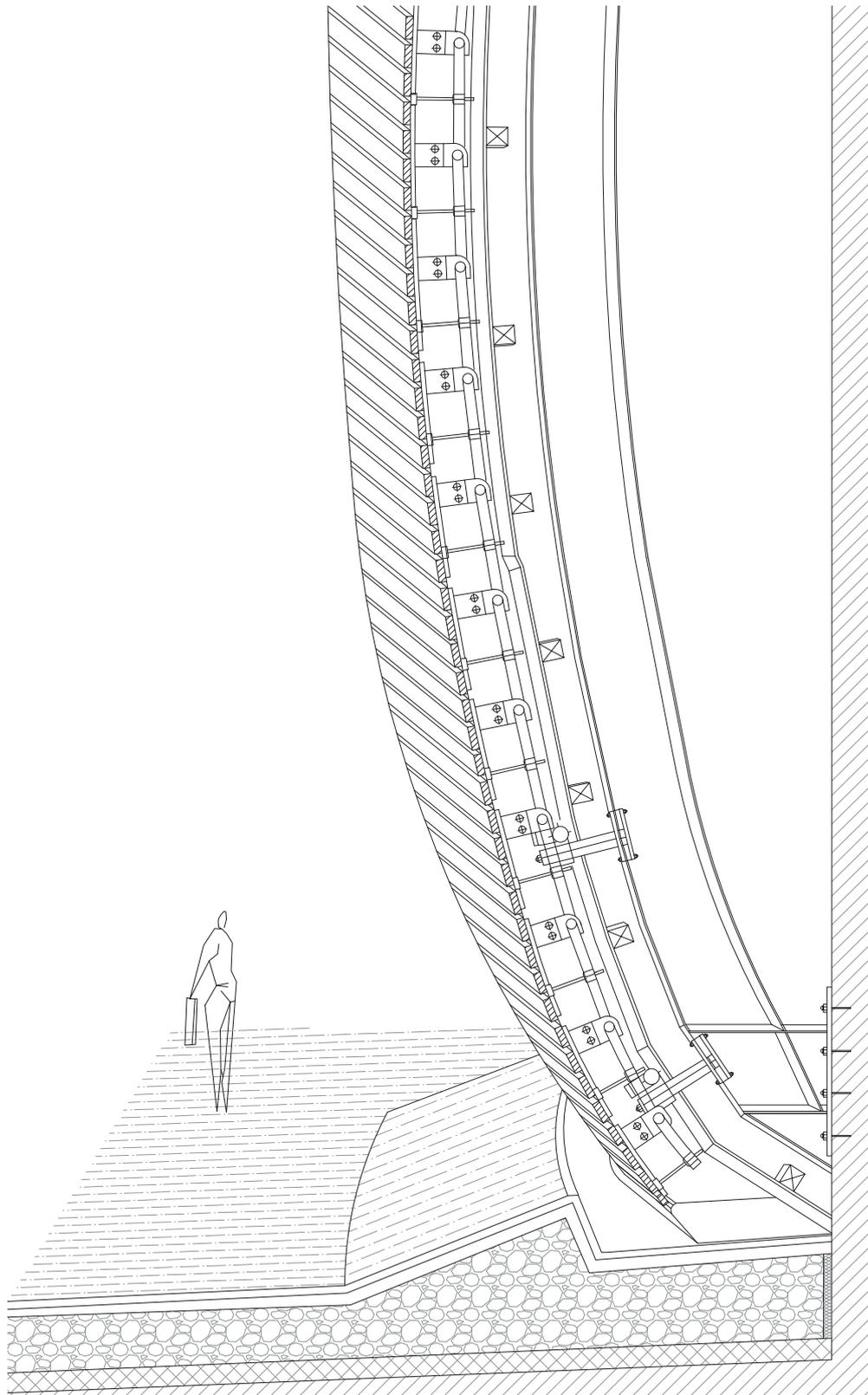


Figura 1 2. Perspectiva de la sección constructiva del muro.

5. Conclusiones.

Tras un exhaustivo e inmersivo estudio sobre la obra de Zaha Hadid y sobre la vida de esta, durante el desarrollo de la memoria se explica la habilidad de esta arquitecta para construir y diseñar modelos alejados para las posibilidades de muchos. No solo por la sutileza de la forma de sus edificios como es el caso del Centro Acuático de Londres, sino también por la cantidad de técnicas realizadas para solventar todo tipo de inconvenientes que puedan aparecer.

De esta forma hemos aprendido que solo una mente experta en el campo de las matemáticas unida a una gran capacidad de proyección, junto con una visión de la sociedad totalmente diferente a la europea es capaz de crear un nuevo estilo arquitectónico y de demostrar que todo en la arquitectura es posible.

Como hemos explicado Zaha Hadid da solución a todas las premisas impuestas por el promotor, pero no se queda ahí, sino que va más allá aportando nuevas soluciones como los sistemas totalmente innovadores de calefacción o de reutilización del agua como las técnicas de construcción y el tratamiento del terreno.

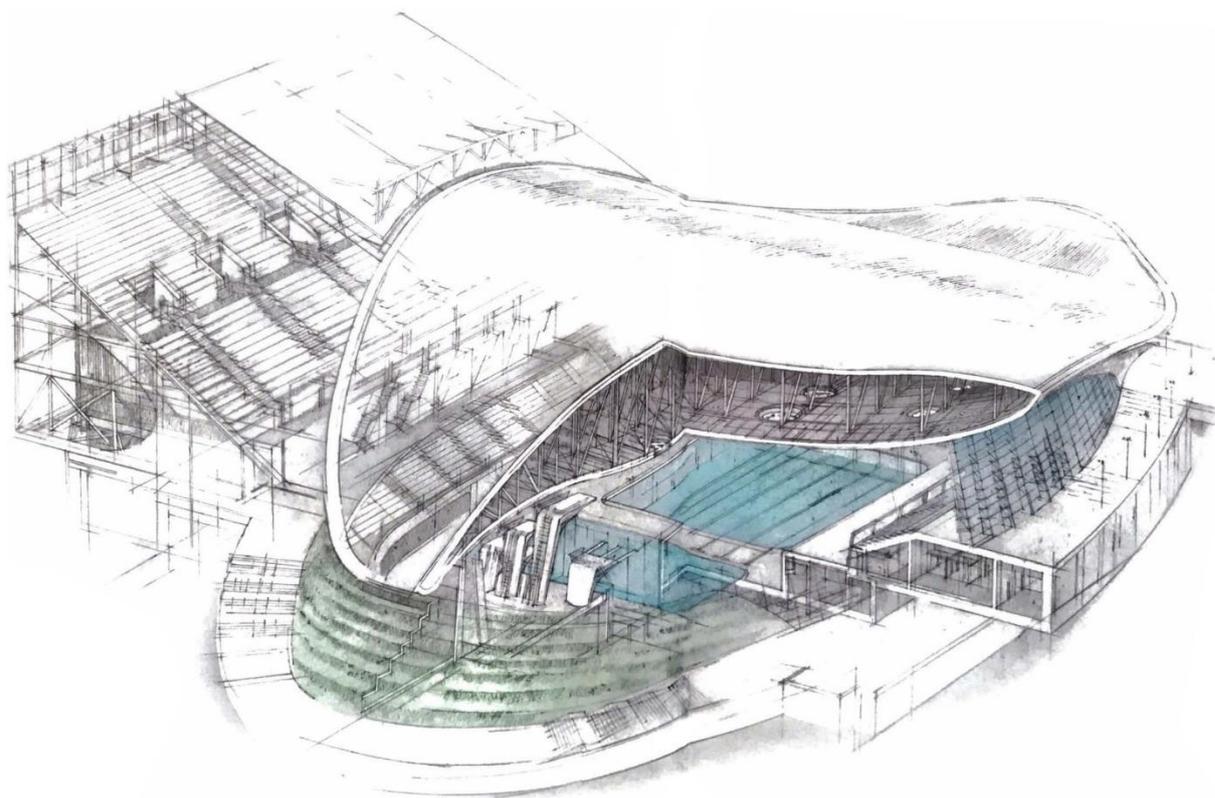
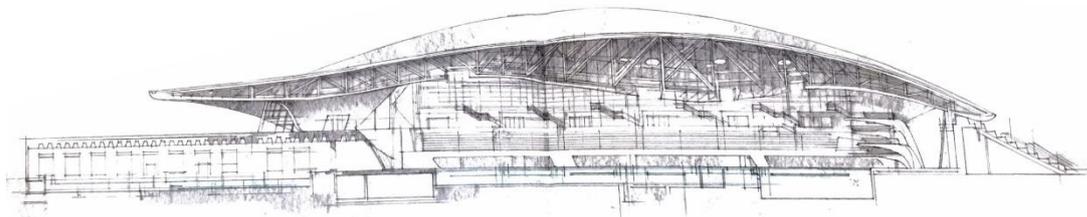
Utiliza aquellos materiales que son más adecuados para un ambiente húmedo como es un recinto para albergar piscinas de gran tamaño y los proyecta de forma que se integren con el espacio exterior e interior mejorando la experiencia del usuario.

Otro punto a señalar es que, pese a la dificultad visual de sus edificios, las técnicas constructivas no son para nada complicadas de ejecutar. Un ensamble ingeniosamente diseñado permite forrar todo el edificio con lamas de madera volando sobre una subestructura tubular que se ancla entre ella y se sostiene combinándose con un entrelazado de cerchas que vuelan entre las piscinas de soporte a soporte. Demostrando así la importancia de planificar correctamente la construcción.

Por lo tanto, me gustaría concluir diciendo que las obras de Zaha Hadid son puramente arquitectura, una combinación de diseño atemporal, fresco y con un estilo moderno unido a una capacidad de construir de una manera sencilla formas imposibles, un uso inherente de la materialidad que se combina con las más avanzadas técnicas para disminuir el gasto energético, uso excesivo del agua y emisiones de CO².

“Si no te comes el miedo, no consigues nada”

Zaha Hadid, El país 13 enero 2008



6. Bibliografía.

Webs, Libros, Revistas y Artículos.

- APROXIMACION A LA ARQUITECTURA DE ZAHA HADID. Real academia de Mia Santelmo. (2016) Disponible en:
<<https://www.realacademiasantelmo.org/2016/06/01/aproximacion-a-la-arquitectura-de-zaha-hadid/>>
- BESTKY, AARON. (1950-2016). *The Complete Zaha Hadid*. Londres: Thames & Hudson, 2017.
- BESTKY, AARON. *Zaha Hadid. The Complete Buildings*. Nueva York, USA: Rizzoli, 1998.
- BRIDGET, LOLA. Centro Acuático de Londres. Disponible en:
<<https://es.slideshare.net/o0oLiTao0o/diapos-viza>>
- CENTRO ACUATICO DE LOS JUEGOS OLIMPICOS DE LONDRES 2012. Plataforma Arquitectura. (2012). Disponible en: <<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects>>
- COLOMBO, MONICA. (2011). *Maestros de la Arquitectura. Zaha Hadid*. Barcelona: Salvat, D.L. 2011.
- CULP, CHAYENE. London Aquatic Center Case Study. (2017) Disponible en:
<https://issuu.com/bintou_coulibaly/docs/london_20aquatic_20template_20-11.1>
- EL CROQUIS nº 52 *Zaha Hadid. 1983-1991*. Madrid. España: El Croquis, 1991.
- EL CROQUIS nº 73 *Zaha Hadid. 1991-1995*. Madrid. España: El Croquis, 1995.
- EL CROQUIS nº 102 *Zaha Hadid. 1996-2001*. Madrid. España: El Croquis, 2001.
- JODIDIO, PHILIP. *Zaha Hadid: Complete Works 1979-2009*. Köln: Taschen, 2009.
- JODIDIO, PHILIP. *Zaha Hadid: Complete Works 1979-2013*. Köln: Taschen, 2013.
- LA ARQUITECTA QUE NO PUDO HACER SUS SUEÑOS REALIDAD. El español. (2016) Disponible en: <https://www.elespanol.com/cultura/arte/20160331/113738958_0.html>
- MEJORES OBRAS CONSTRUIDAS ZAHA HADID. Arquitectura y diseño. (2019). Disponible en: <https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/mejores-obras-construidas-zaha-hadid_2066>
- RUBIO, ANTONIO. (2010). *Descubrir el Arte. Zaha Hadid*. Madrid: Arquitectos Pritzker. 2010.
- SERRAZANETTI, FRANCESCA. *Zaha Hadid: Inspiration and Process*. Milan: Moleskine, 2011.
- SCHUMACHER, PATRIK. *Zaha Hadid Major and Recent Works*. Londres: Thames & Hudson, 2004.

WORDPRESS.(2014) Las Mejores Ideas de Jeugenio. Disponible en:

<<https://lasmejoresideasdejeugenio.wordpress.com/2014/04/17/ingenieria-y-arquitectura-de-vanguardia-centro-acuatico-de-londres/>>

ZAHA HADID. BIOGRAFÍA, OBRA Y EXPOSICIONES.(2018) Alejandra de Argos. Disponible en: < <http://www.alejandradeargos.com/index.php/es/completas/32-artistas/581-zaha-hadid-biografia-obras-y-exposiciones>>

ZAHA HADID VIDA Y OBRA. Moove Magazine. (2016) Disponible en:

<<https://moovemag.com/2016/04/zaha-hadid-vida-y-obra-de-la-arquitecta-que-lo-cambio-todo/>>

ZAHA HADID. El país. (2008) Disponible en:

<https://elpais.com/diario/2008/01/13/eps/1200209212_850215.html>

ZUKOWSKY, JOHN & POLLEY, ROBBIE. *Architecture Inside + Out*. Londres: Thames & Hudson, 2018.

ZUÑIGA, ALICIA. Trampolines y Plataformas de Salto Acuático Olímpicos. (2017)

Disponible en: <<https://riunet.upv.es/handle/10251/102435>>

Créditos fotográficos.

Imagen 1: Zaha Hadid.

< <https://designhome.fr/design-story/createurs/disparition-de-zaha-hadid/> >

Imagen 2: Museo Guggenheim. Frank Lloyd Wright. Nueva York.

< <http://masdearte.com/centros/solomon-r-guggenheim-museum-2/> >

Imagen 3: Museo Guggenheim. Frank Gehry. Bilbao.

< <https://www.elindependiente.com/tendencias/2017/10/06/museo-guggenheim-bilbao-cumple-20-anos/> >

Imagen 4: Estación de bomberos de la fábrica de Vitra. 1994. Zaha Hadid. Weil am hein, Alemania.

< https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/mejores-obras-construidas-zaha-hadid_2066 >

Imagen 5: Centro de Arte Contemporáneo Rosenthal. 2003. Zaha Hadid. Cincinnati, Ohio.

< <https://www.bleublanc.mx/tendencias/10-edificios-de-zaha-hadid-que-transformaron-la-arquitectura-mundial/2018/11/> >

Imagen 6: BMW Central Building.

< <https://www.dezeen.com/2016/06/26/video-interview-amanda-levete-zaha-hadid-bmw-central-building-radical-piece-of-thinking-movie/> >

Imagen 7: Tondonia Winery Pavilion.

< <https://www.flickr.com/photos/hansbrinker/2132144506> >

Imagen 8: Centro de ciencia Phäno.

< <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/centro-de-ciencias-phaeno/> >

Imagen 9: Puente de la Exposición Internacional de Zaragoza.

< https://www.heraldo.es/tags/lugares/pabellon_puente.html >

Imagen10: MAXXI Museo nazionale.

< https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/mejores-obras-construidas-zaha-hadid_2066 >

Imagen 11: Palacio de la Ópera de Cantón.

< https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/mejores-obras-construidas-zaha-hadid_2066 >

Imagen 12: Evelyn Grace Academy.

< <https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-stirling-prize/evelyn-grace-academy> >

Imagen 13: Riverside Museum.

< http://www.luigimichelettiaward.eu/winners/dettaglio_winner.asp?id=71 >

Imagen 14: Wangjing SOHO.

< https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/mejores-obras-construidas-zaha-hadid_2066 >

Imagen 15: Havenhuis.

< <https://mygodshot.com/havenhuis/> >

Imagen 16: Heydar Aliyev Cultural Center.

< <https://www.eoi.es/blogs/imsd/project-management-heydar-aliyev-cultural-center/> >

Imagen 17: Render exterior Centro Acuático.

< <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects> >

Imagen 18: Master Plan del Parque Olímpico.

< <https://helmofthepublicrealm.com/2012/08/> >

Imagen 19: TWA Flight Center.

< <http://architecturalvisits.com/es/2016/01/21/twa-terminal-saarinen/> >

Imagen 20: Dongdaemun Design Plaza.

< <https://www.videoblocks.com/video/4k-timelapse-of-the-dongdaemun-design-plaza-at-night-seoul-south-korea-bhoco-wbj38fs2yf> >

Imagen 21: Estadio Nacional de Japón.

< <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/772177/descartan-diseno-de-zaha-hadid-para-el-estadio-olimpico-de-tokio-2020/55d4a8aae58ecea1ec000142-descartan-diseno-de-zaha-hadid-para-el-estadio-olimpico-de-tokio-2020-foto> >

Imagen 22: Al Wakarah Stadium.

< <https://www.dezeen.com/2013/11/24/zaha-hadid-dismisses-vagina-stadium-jibes-as-ridiculous/> >

Imagen 23: Proceso de diseño del edificio.

< <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects>>

Imagen 24: Diseño del edificio entrono al eje ortogonal.

<https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/mejores-obras-construidas-zaha-hadid_2066 >

Imagen 25: Alzado sur de edificio sobre el podio.

< <https://arqa.com/en/architecture>>

Imagen 26: Pilotes como sustento de la estructura.

<https://www.heraldo.es/tags/lugares/pabellon_puente.html >

Imagen 27: Recorrido de circulación de planta primera.

<https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/mejores-obras-construidas-zaha-hadid_2066 >

Imagen 28: Recorrido de circulación de planta baja.

<https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/mejores-obras-construidas-zaha-hadid_2066 >

Imagen 29: Pilotes como sustento de la estructura.

<<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects> >

Imagen 30: Construcción de la cubierta sobre soportes.

<<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects> >

Imagen 31: Proceso constructivo del Centro Acuático de Londres.

<<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects> >

Imagen 32: Armado de trampolines.

<<https://www.eoi.es/blogs/imsd/project-management-heydar-aliyev-cultural-center/> >

Imagen 33: Disposición de los trampolines.

<<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects> >

Imagen 34: Situación durante los Juegos

<<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects>>

Imagen 35: Render situación tras finalizar los Juegos.

<<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects>>

Imagen 36: Alzado sur durante los Juegos.

<<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects>>

Imagen 37: Alzado sur tras finalizar los Juegos.

<<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects>>

Imagen 38: Situación de la estructura de hormigón.

<<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects>>

Imagen 39: Vista del vidrio desde las gradas.

<<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects>>

Imagen 40: Vidrio para iluminar el sótano.

<https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/mejores-obras-construidas-zaha-hadid_2066 >

Imagen 41: Esquema de la disposición de la madera.

<https://elpais.com/diario/2008/01/13/eps/1200209212_850215.html>

Imagen 42: Madera en la zona exterior.

< <https://moovemag.com/2016/04/zaha-hadid-vida-y-obra-de-la-arquitecta-que-lo-cambio-todo/>>

Imagen 43: Esquema del funcionamiento de la ventilación y movimiento del aire.

< https://issuu.com/bintou_coulibaly/docs/london_20aquatic_20template_20-11.1>

Imagen 44: Esquema del funcionamiento de la recogida de aguas pluviales.

< https://issuu.com/bintou_coulibaly/docs/london_20aquatic_20template_20-11.1 >

Imagen 45: Sección del edificio con el formato final.

< <https://lasmejoresideasdejeugenio.wordpress.com/2014/04/17/ingenieria-y-arquitectura-de-vanguardia-centro-acuatico-de-londres/> >

Imagen 46: Sección del edificio con el formato durante los Juegos Olímpicos.

< <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-143493/centro-acuatico-de-los-juegos-olimpicos-de-londres-2012-zaha-hadid-architects> >

Imagen 47: Estructura del edificio.

< <https://moovemag.com/2016/04/zaha-hadid-vida-y-obra-de-la-arquitecta-que-lo-cambio-todo/> >