



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

**EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS:  
TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN Y  
SOSTENIBILIDAD.**

TENNIS EQUIPMENTS: TECHNOLOGY,  
CONSTRUCTION AND SUSTAINABILITY.

Autor

**Daniel Polo Serrano**

Director

**Belinda López Mesa  
Fernando Kurtz**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2017





Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad** Zaragoza

**ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ZARAGOZA**

**MEMORIA**

**EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA  
EL TENIS: TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN  
Y SOSTENIBILIDAD.**

TENNIS EQUIPMENTS: TECHNOLOGY,  
CONSTRUCTION AND SUSTAINABILITY.

Autor: Daniel Polo Serrano

Director: Belinda López Mesa y Fernando Kurtz

Fecha: Fecha de entrega

DECLARACIÓN DE  
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. DANIEL POLO SERRANO,

con nº de DNI 72998891L en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)  
GRADO, (Título del Trabajo)

**EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS: TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN  
Y SOSTENIBILIDAD.**

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 26 DE JUNIO DEL 2018

Fdo: DANIEL POLO SERRANO





## INDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.	1
1.2. ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO.	1
<b>2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL TENIS Y SU REGLAMENTO.</b>	<b>3</b>
2.1. INTRODUCCIÓN.	3
2.2. EL TENIS EN FRANCIA.	3
2.3. EL TENIS EN INGLATERRA.	4
2.4. LAWN TENNIS.	5
2.5. NACIMIENTO DEL TENIS MODERNO.	5
2.6. EVOLUCIÓN TÉCNICA.	6
<b>3. ELEMENTOS BÁSICOS EN LOS EQUIPAMIENTOS PARA EL TENIS.</b>	<b>7</b>
3.1. INTRODUCCIÓN.	7
3.2. DIMENSIONES DE LA PISTA.	7
3.3. TIPO DE PISTA.	8
3.3.1. Aspectos técnicos de las superficies.	8
3.3.2. Tierra batida.	9
3.3.3. Superficie dura.	9
3.3.3.1. Hormigón poroso o aglomerado asfáltico.	9
3.3.3.2. Carpetas.	10
3.3.4. Césped.	11
3.3.4.1. Césped natural.	11
3.3.4.2. Mantenimiento.	11
3.3.4.3. Césped artificial.	12
3.3.4.4. Mantenimiento.	12
3.4. GRADERÍO.	13
3.5. CUBIERTA.	16
<b>4. ACERCAMIENTO A LOS EQUIPAMIENTOS DEL TENIS MODERNO: WIMBLEDON Y ROLAND GARROS.</b>	<b>17</b>
4.1. WIMBLEDON	17
4.1.1. Introducción.	17



EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS:  
TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD.

---

4.1.2.	<i>Historia.</i>	17
4.1.3.	<i>Las pistas de Wimbledon.</i>	18
4.1.3.1.	Centre Court.	18
4.1.3.1.1.	Cubierta.	19
4.2.	ROLAND GARROS	21
4.2.1.	<i>Inicios.</i>	21
4.2.2.	<i>Pista Philippe-Chatrier.</i>	21
4.3.	DE LOS ESTADIOS CLÁSICOS A LOS MODERNOS.	22
<b>5.</b>	<b>LA CAJA MÁGICA, DOMINIQUE PERRAULT, MADRID, 2008.</b>	<b>23</b>
5.1.	INTRODUCCIÓN.	23
5.1.1.	<i>Dominique Perrault, en busca de una arquitectura invisible.</i>	23
5.1.2.	<i>Reinventar el lugar.</i>	26
5.2.	EL CONCURSO.	29
5.3.	EL PROYECTO.	31
5.3.1.	<i>Datos del proyecto.</i>	31
5.3.2.	<i>Concepto.</i>	33
5.3.3.	<i>Planos.</i>	35
5.4.	CONSTRUCCIÓN.	38
5.4.1.	<i>La fachada.</i>	38
5.4.2.	<i>La cubierta.</i>	39
5.4.2.1.	Tecnología de la cubierta.	42
5.5.	SOSTENIBILIDAD.	45
5.5.1.	<i>Edificio multifuncional.</i>	45
5.5.2.	<i>El lago.</i>	46
5.5.3.	<i>Climatización.</i>	48
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIÓN.</b>	<b>50</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>51</b>



## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Fresco de tumba en Roma 51 d.c. ....	3
Ilustración 2: Fresco en Sicilia S IV d.c. ....	3
Ilustración 3: “Le Jeu de paume” ....	4
Ilustración 4: Vencedores del primer torneo de Wimbledon. ....	4
Ilustración 5: “Mujeres junto al mar” 1901. ....	5
Ilustración 6: “Tennisplatz” ....	5
Ilustración 7: Cartel publicitario de Wimbledon ....	5
Ilustración 8: dimensiones de una pista reglamentaria. Según ITF. ....	7
Ilustración 9: Medidas reglamentarias de la red. ....	8
Ilustración 10: Roland Garros 2017. ....	9
Ilustración 11: Pista U.S. OPEN 2017 ....	9
Ilustración 12: Abierto de Australia 2017 ....	10
Ilustración 13: Pista central de Wimbledon. ....	11
Ilustración 14: Pista de Tenis en Césped artificial. ....	12
Ilustración 15: Sección de La Caja Mágica. ....	13
Ilustración 16: Ángulo de visibilidad. ....	14
Ilustración 17: Línea de visibilidad. ....	15
Ilustración 18: Cubierta móvil caja mágica (imagen 1); Cubierta retráctil Centre Court (imagen 2); Philippe Chatrier descubierta (imagen 3). ....	16
Ilustración 19: Torneo de Wimbledon 1877. ....	17
Ilustración 20: Centre court Wimbledon sin techo. 2006. ....	19
Ilustración 21: Centre court Wimbledon con techo, 2009 ....	19
Ilustración 22: Esquema de funcionamiento de uno de los 10 trusses del sistema de cubierta. ....	20
Ilustración 23: Roland Garros, 1928. ....	21
Ilustración 24: Philippe-Chatrier, 2017 ....	21



EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS:  
TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD.

---

Ilustración 25: Centre Court, Philippe Chatrier y pista central de La Caja Mágica. ....	22
Ilustración 26: Vista general de Wimbledon, Roland Garros y La Caja Mágica. ...	22
Ilustración 27: Croquis Usinor-Sacilor, 1988-1991 .....	23
Ilustración 28: Croquis centro de estudiantes, Seúl, 2004-2008. ....	24
Ilustración 29: Biblioteca nacional de Francia. 1985-1999.....	24
Ilustración 30: Piscina y velódromo, Berlín 1992-1999 .....	24
Ilustración 31: La caja mágica, Madrid, 2002-2009.....	25
Ilustración 32: Emplazamiento de la caja mágica. Revitalización del río Manzanares. ....	26
Ilustración 33: Croquis de intenciones urbanísticas. La caja mágica .....	27
Ilustración 34: Proyecto ganador, La Caja Mágica. ....	30
Ilustración 35: Croquis de proyecto.....	33
Ilustración 36: Planta cota 567,20 m.....	35
Ilustración 37:Planta cota 563,20 m. ....	35
Ilustración 38: Planta cota 571,20 m.....	35
Ilustración 39:Planta cota 583,45 m. ....	36
Ilustración 40: Alzados sur y oeste. ....	36
Ilustración 41:Alzados norte y oeste. Secciones de la caja mágica. ....	37
Ilustración 42: Nudo entre la cubierta y soporte de fachada (cangrejo). ....	38
Ilustración 43: Caja Mágica de día. ....	39
Ilustración 44: Caja Mágica de noche. ....	39
Ilustración 45: Cubierta Pista central, abierta y desplazada.....	39
Ilustración 46: Sección cubierta principal, La Caja Mágica.....	40
Ilustración 47: Cubierta estadio 3 desplazada. ....	40
Ilustración 48: Sección Explotada. ....	41
Ilustración 49: Detalle constructivo del mecanismo de elevación de la cubierta.	42
Ilustración 50: Las cubiertas de la caja mágica y sus 27 posiciones posibles. ...	43



## EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS: TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD.

---

### INDICES

Ilustración 51: Proceso constructivo de la cubierta.....	44
Ilustración 52: Madison Square Garden, Nueva York, durante partido de NBA, NHL y un concierto. ....	45
Ilustración 53: Vista aérea del conjunto de La Caja Mágica .....	46
Ilustración 54: Funcionamiento de un humedal artificial.....	47
Ilustración 55: Combinación de sistemas (estructura y climatización).....	48





# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.

El presente estudio realizado pretende demostrar que la arquitectura ha sido y será la mejor herramienta para poder entender todos los cambios que ha sufrido el tenis, junto con sus normas. Además, también se pretende mostrar que es la mejor solución para adaptarse a la evolución progresiva entre la sociedad y las personas que conviven en ella.

A su vez, hay multitud de focos de acción desde los cuales la arquitectura podría dar respuestas a los problemas generados por la sociedad, y que se plasman en edificios públicos como la *Caja Mágica* de Dominique Perrault, la cuál se va a analizar en el siguiente estudio.

Así pues, se van a considerar y a examinar los temas constructivos, de sostenibilidad y los referentes a la tecnología del edificio de Perrault. De esta manera se podrá ver, cómo precisamente son estos aspectos ya mencionados, los que han generado los mayores cambios en los equipamientos dedicados a este deporte.

## 1.2. ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO.

El estudio se centrará inicialmente en describir la historia y la evolución que ha sufrido este deporte a lo largo de los años. Primeramente, se mostrarán sus inicios en los monasterios, en los cuáles se practicaba sin público y con la palma de la mano. Seguidamente, se expondrá su posterior desarrollo durante la época de la industrialización, lo que supuso un gran crecimiento social para dicho deporte, en el ámbito más popular. Por otro lado, también se expondrá como la práctica *amateur* masiva hace que nazcan los primeros torneos profesionales. Se finalizará esta primera visión histórica, mostrando los avances en la técnica del juego y sus diferentes variantes.

Así mismo, y sin perder de vista los principales objetivos del trabajo, se estudiarán los elementos fundamentales capaces de generar un complejo para la práctica del tenis y su público. También se estudiará cada elemento por separado, viendo su propia evolución y los distintos avances que se han realizado hasta el momento. De esta manera, y analizando los elementos ya mencionados, se podrá entender el complejo como un sólo conjunto.

Seguidamente, se hará un análisis de los equipamientos más emblemáticos del deporte a estudiar, como lo son, Wimbledon y Roland Garros. A su vez, se podrá ver como estos grandes complejos han sufrido variaciones en dichos elementos a lo largo de su historia.



## EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS: TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD.

---

Finalmente, se analizará el complejo deportivo principal del presente estudio, la *Caja Mágica*, exponiendo el recorrido arquitectónico de Dominique Perrault a lo largo de toda su carrera. Para concluir, se estudiará en profundidad los tres puntos fundamentales del trabajo ya mencionados: tecnología, construcción, y sostenibilidad. De este modo se podrá observar, cómo dichos aspectos han sido y son capaces en la actualidad de dar respuesta a las necesidades del espectador y del deportista, sin obviar las posibles necesidades futuras que la sociedad pudiera demandar.



## 2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL TENIS Y SU REGLAMENTO.

### 2.1. INTRODUCCIÓN.

El deporte ocupa un lugar relevante en las sociedades modernas. La consecución de resultados deportivos a nivel internacional parece atraer mucho el interés de las naciones, que dedican importantes recursos humanos, técnicos y económicos.

Los cambios en la reglamentación, en las superficies y en la táctica, han forjado un deporte clásico, pero con continuas variaciones, que permiten mantener su interés en los diferentes ámbitos.



Ilustración 1: Fresco de tumba en  
Roma 51 d.c.



Ilustración 2: Fresco en Sicilia S IV  
d.c.

Como ocurre en otros muchos deportes, las primeras documentaciones, de los este tipo de deportes jugados con pelota, están relacionadas con ceremonias y ritos religiosos. La ilustración más antigua que se conoce data de más de 2000 años a.C. y se encuentra en Egipto, en la tumba de Beni Hassan.

Estos juegos eran una parte importante en la sociedad de las civilizaciones antiguas. Es en Grecia donde se encuentran abundantes pruebas que afirman su importancia. Destaca la pelota de cuero de 7,5 cm. de diámetro, cosida con cordel y tela y llena de serrín, hallada en Tebas. Los griegos denominaban genéricamente "Sphairistiké" a los juegos de pelota que practicaban golpeándola con las manos hacia el campo contrario, existiendo dos modalidades: el "Feninde" y el "Harpastron".

En tiempos de Aristóteles y Platón se estudiaron las trayectorias de la pelota y los rebotes, y la relación con la densidad del aire y la fuerza de la gravedad. Se dejaron escritas más de veinte páginas sobre los diferentes tipos de golpes.

La decadencia del imperio romano, y la oscura edad media, llevan a la decadencia de estos juegos. Es en esta época cuando se hace el primer escrito sobre un juego de pelota debidamente reglamentado y donde se cita la palabra "tenis".

### 2.2. EL TENIS EN FRANCIA.

En Francia el juego tiene una vertiente claramente clasista, ya que la Iglesia y la Corte son sus máximos exponentes. Una prueba de estos, son los documentos eclesiásticos de los siglos XII al XIV, donde sólo se habla de seminaristas, curas,

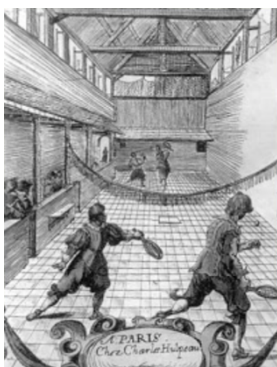


Ilustración 3: "Le Jeu de paume"

abades e incluso, obispos que juegan a la paume larga o corta, es decir, en campo abierto o cerrado y prohibida entre los laicos.

El jeu de la paume es la forma con la que se conoció durante siglos al tenis en Francia, y es el antepasado directo del tenis actual. En sus inicios se golpeaba la pelota con la palma de la mano y posteriormente con palos, guantes, paletas, hasta llegar a la raqueta. Se practicaba por tres o más adversarios a cada lado, existiendo dos modalidades: el "lounge paume" (palma larga), que se jugaba al aire libre; y el "courte paume" (palma corta), que se jugaba en espacios cerrados. Con el paso del tiempo, la palabra "courte" se convertirá en "court", que es el nombre que franceses e ingleses dan a la pista de tenis.

## 2.3. EL TENIS EN INGLATERRA.

En Inglaterra aparecen, de igual modo, los diferentes deportes en los que se impulsa o se golpea una pelota con la mano o mediante algún artificio (palos, guantes, redes, raqueta, etc.).

A la mayoría de estos deportes se les denomina en sus inicios de la misma forma, tennez (tenga usted). La palabra es de origen francés, y derivó a la fonética actual a causa de la pronunciación inglesa. Finalmente acabó evolucionando hasta llegar a tenis.

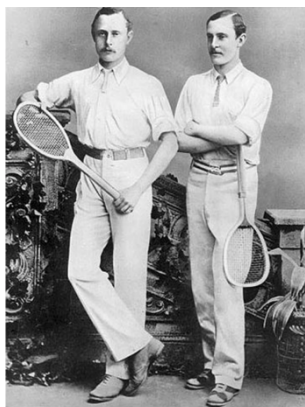


Ilustración 4: Vencedores del primer torneo de Wimbledon.

Su popularidad durante el siglo XVI no se limitaba exclusivamente a Francia o Inglaterra, sino que abarcaba la mayoría de los países europeos. En el año 1555, Antonio Scaino escribió el primer tratado que se conocía sobre el juego: *Tratatto del Giuocco della Palla*, donde se codificaron las reglas y el manual técnico.

El tipo de golpeo con la raqueta o con la mano provoca los primeros estudios de la época, y se demuestra que con la raqueta los peloteos pueden durar más. Su inclusión planteó la posibilidad de ampliar las medidas de la pista.

El acceso al trono de los reyes de la casa de Angulema en Francia, y los Tudor en Inglaterra, marca el inicio de la Edad de Oro del tenis, que perdurará entre los siglos XVI y XVII. La gran popularidad del tenis empieza a hacer necesario otro libro de reglas recogidas por otro profesional, llamado Forbet, en 1559. Posteriormente, en el siglo XVII, coincidiendo con la Revolución Francesa, comienza su declive.

## 2.4. LAWN TENNIS.

El resurgimiento del tenis a finales del siglo XIX tiene dos nombres propios: el mayor Wingfield y el mayor Gem. El mayor Wingfield intuyó las posibilidades de este nuevo deporte desde una vertiente estrictamente comercial. El 23 de febrero de 1874 deposita en la oficina de patentes su invento, perfeccionado del antiguo jeu de paume al cual bautiza sphairistike.

Constaba de una caja, que se vendía al precio de cinco guineas, y que contenía cuatro raquetas, dos pelotas, redes y un libro de reglas. Posteriormente, dos nuevas revisiones de las reglas, consideraron el cambio de nombre. Se pasó de sphairistike a lawn tennis convirtiéndose en un deporte de masas, y consiguiendo salir del ámbito más cerrado de la aristocracia.

## 2.5. NACIMIENTO DEL TENIS MODERNO.

El lanzamiento definitivo del tenis se debe, sin duda, al All England Croquet Club, el actual Wimbledon. La pista rectangular (23,77 x 8,23), la altura de la red a 0,99m, el sistema de puntuación del Real Tenis, y la aproximación de la línea de servicio a la red, fueron algunas de las variaciones que se introdujeron en 1877 cuando el club organizó su propio torneo. Es a partir de aquí, cuando se considera que empieza la historia del tenis moderno.



Ilustración 5: "Mujeres junto al mar" 1901



Ilustración 6: "Tenisplatz"



Ilustración 7: Cartel publicitario de Wimbledon

En el año 1888 se funda la LTA (Lawn Tennis Association). La LTA y sus normas, reglamentaron el tenis en todo el mundo hasta la fundación de la Federación Internacional de Tenis el año 1912.

En 1899, Dwhig Davis, un aficionado al tenis de la Universidad de Harvard, planteó un trofeo que disputarían la selección inglesa y la americana, denominado "International Championship Cup". La eliminatoria se disputó en 1900, adoptando el nombre de "Davis Cup".

Con Kramer aparece la industrialización, la estadística, y finalmente la actividad comercial y el sindicalismo en el tenis. Así mismo fue conocido por planificar cuidadosamente la temporada y por transformar el tenis en un juego más vertical, basado en el servicio y la volea.

Todo este movimiento creó la división entre profesional y amateur. Los jugadores profesionales no podían jugar los campeonatos organizados por la Federación Internacional. En el año 1968 se consideran los torneos abiertos, donde pueden participar todos los jugadores. En el año 1971, se creó el circuito profesional, la WCT (World Championship Tennis), y en el año 1972 los tenistas se dividen de nuevo creando la ATP o Asociación de Tenistas Profesional.

Posteriormente, en el año 1879, en Dublín, donde se abrió el primer campeonato a las mujeres, y en el año 1973 cuando se las reconoce dentro del tenis profesional.

El tenis fue uno de los deportes presentes en la primera olimpiada moderna celebrada en Grecia en el año 1896. Después de unos años en los que desaparece de este ámbito. Finalmente vuelve en las olimpiadas de Los Ángeles.

## 2.6. EVOLUCIÓN TÉCNICA.

La evolución táctica del deporte siempre ha ido condicionada a los cambios del reglamento, del material, las innovaciones de los jugadores, y a los diferentes métodos de entrenamiento.

Inicialmente el tenis era monótono, se jugaba desde la línea de fondo y con un servicio por debajo. S.W. Gore y los hermanos Renshaw fueron los primeros en desarrollar un juego desde la red.

La reacción, ante el juego agresivo, la implantó P.F. Hedow con los globos, que eran la defensa del juego de red. El juego ofensivo tuvo su papel y más tarde fue el predominante, a lo cual ayudó la bajada de la red el año 1883. Antes de 1900, los golpes cortados eran los más utilizados y permitían el juego preciso y un gasto muy pequeño de energía. La forma de evitar estas desventajas fue justo a la inversa, golpear la pelota con un fuerte efecto liftado. Después de los golpes con efecto hubo un período de golpes planos jugados con la muñeca totalmente firme, lo cual exigía un juego de pies preciso, golpeando la pelota a una mayor altura. La siguiente generación de tenistas juntaba los ataques a la red y el juego desde la línea de fondo. Variaba el tempo del juego, la longitud de sus golpes y su posición en la pista, jugaba con éxito tanto en el fondo de la pista como en la red.

Hasta 1932, los golpes desde el fondo de la pista predominaban más que la volea. La llegada de la nueva escuela americana supuso un juego basado en un servicio muy duro y un excelente juego de red. Un cambio muy significativo fue el uso del revés a dos manos en 1974.

### 3. ELEMENTOS BÁSICOS EN LOS EQUIPAMIENTOS PARA EL TENIS.

#### 3.1. INTRODUCCIÓN.

Una de las posibles aproximaciones a un equipamiento de estas características

En esta parte fracturaremos un complejo tenístico tipo en sus partes más básicas y las analizaremos por separado. Seremos capaces entonces de analizar sus características más elementales, y sólo entonces seremos capaces de entender un complejo que aune a todas ellas.

¿Qué necesitamos para un complejo tenístico de primer nivel mundial?

Necesitaremos unas pistas con las medidas reglamentarias, con una superficie de juego determinada (dura, tierra batida o césped), con un graderío que permita que los espectadores puedan disfrutar del deporte y una cubierta que nos permita resguardarnos de las inclemencias del tiempo.

#### 3.2. DIMENSIONES DE LA PISTA.

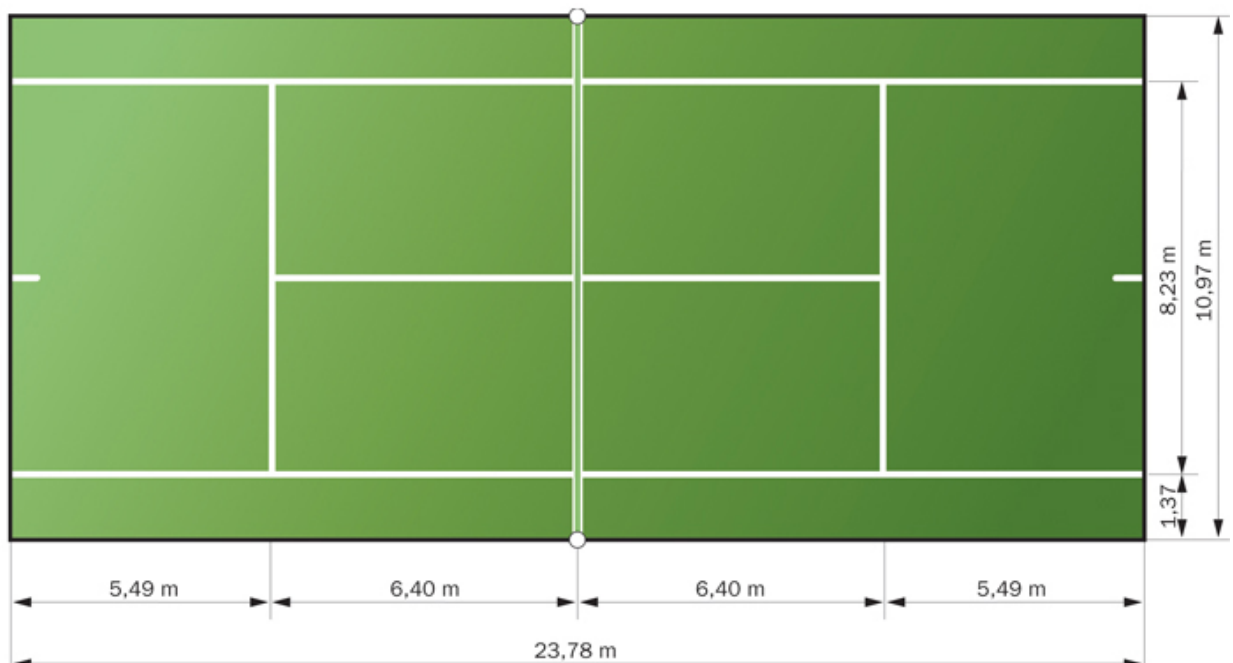


Ilustración 8: dimensiones de una pista reglamentaria. Según ITF.

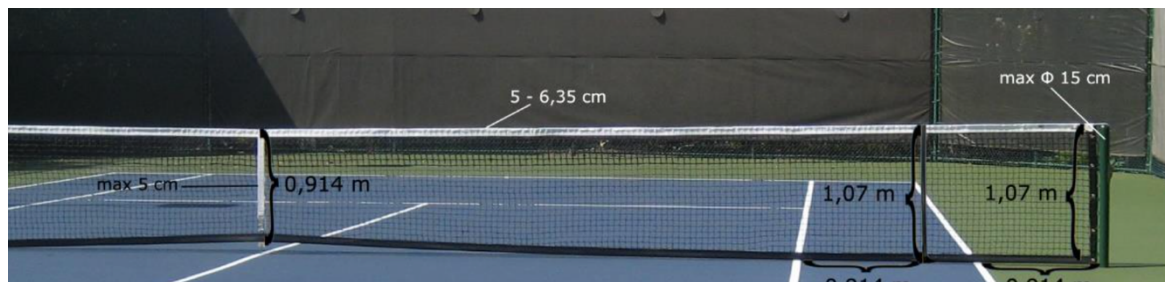


Ilustración 9: Medidas reglamentarias de la red.

### 3.3. TIPO DE PISTA.

#### 3.3.1. Aspectos técnicos de las superficies.

El tenis se practica en diferentes superficies, y sus propiedades afectan de manera directa al estilo y calidad del juego:

**Fricción:** es la resistencia relativa que presenta la superficie cuando impacta la pelota de tenis. Se mide con el coeficiente de fricción (COF). Mientras más rugosa sea la superficie mayor será el coeficiente de fricción, causando una reducción de la velocidad horizontal de la pelota, por lo que la superficie será más lenta.

**Restitución de la energía:** es la energía no absorbida por la superficie de juego después del impacto de la pelota. El coeficiente de restitución (COR) es la relación entre la velocidad horizontal después del rebote de la pelota y la velocidad vertical antes del impacto. Una superficie con un menor COR se suele percibir como una superficie más lenta.

**Topografía y dimensiones:** se refiere a la regularidad geométrica de la superficie, la pendiente y la planicidad diseñadas para ayudar al drenaje, y las ubicaciones relativas de las señalizaciones de la pista.

**Consistencia:** este aspecto se refiere a la uniformidad de las propiedades de la superficie sobre toda el área de juego, su estabilidad con el transcurso del tiempo el uso y el mantenimiento.



### 3.3.2. Tierra batida.

Las pistas de tierra batida son de esquisto triturado, piedra o ladrillo. Estas pistas ralentizan el rebote de la pelota y lo producen alto en comparación con pistas de hierba o duras. Las pistas de arcilla son más baratas de construir, pero tienen un mantenimiento más costoso. La superficie debe ser laminada para preservar la planicidad y su contenido de agua debe estar equilibrado. Además, requieren una pendiente para el escurrimiento.

En general, la composición este tipo de pistas diversas capas:

1. Polvo de ladrillo rojo entre 0,5 y 1cm.
2. Pastilla compuesta por mezcla de áridos entre 5-15cm.
3. Graba triturada compuesta de una mezcla de grava con arena de entre 1-5 centímetros.
4. Encachado de grava con diámetro de entre 5-10 centímetros.
5. Encachado de grava con diámetro de entre 15-25 centímetros.

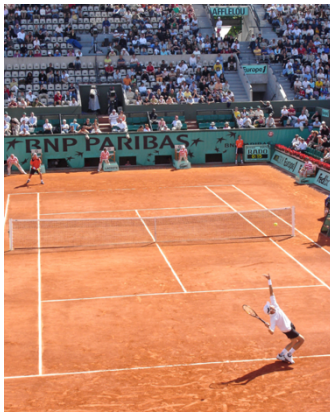
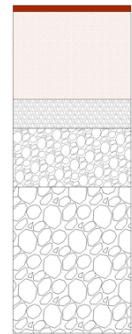


Ilustración 10: Roland Garros 2017



La "pastilla", dependiendo de su espesor, es la que consigue una pista más rápida o más lenta. El principal inconveniente que se presentan este tipo de pistas es su mantenimiento, costoso debido a la cantidad de agua que necesitan el polvo de ladrillo o arcilla, y la mano de obra necesaria.

### 3.3.3. Superficie dura.

#### 3.3.3.1. Hormigón poroso o aglomerado asfáltico.

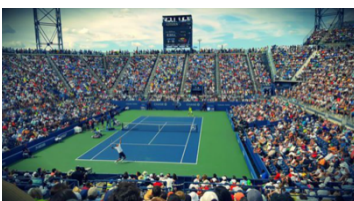


Ilustración 11: Pista U.S. OPEN 2017

Este tipo de pistas poseen las mismas capas que una pista de arcilla, salvo que, en lugar de las capas de caliza y arcilla roja, se coloca hormigón poroso con un espesor de entre 5 y 15cm. Las pistas de conglomerado asfáltico suprimen la capa de hormigón poroso por otra de alquitrán de entre 5 y 15cm. Poseen una buena absorción de agua y un coste de mantenimiento bajo. Son superficies rápidas, uniformes y más predecibles.

La cantidad de arena mezclada con la pintura de la capa superior de la superficie, y el tamaño de sus granos, determina la velocidad de rebote y la fricción

de la pelota. Mientras más arena se utilice en la capa superior, más lenta será la pista, y con granos de arena más grandes ralentizará la velocidad del juego.

Composición general de este tipo de pistas:

1. Acrílico azul (texturizado, pigmentado, resina).
2. Colchón de amortiguación de goma de 2 cm
3. Colchón grueso de goma de entre 5 – 15 cm.
4. Relleno acrílico de 10 cm.
5. Subbase de Hormigón o asfalto de 25 cm.



### 3.3.3.2. *Carpetas.*

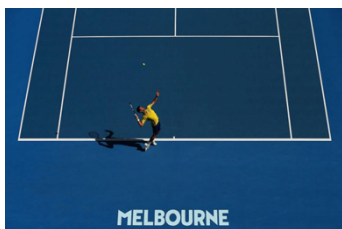


Ilustración 12: Abierto de Australia  
2017

Tienen la misma base que las de cemento o asfalto, pero la última capa está formada por una serie de resinas de diferentes materiales y espesores. Como desventaja, no absorben el agua y la última capa es demasiado abrasiva, derivando en un permanente desgaste de los materiales.

“Carpeta” es un término que se utiliza en el tenis para designar cualquier cubierta extraíble. Se suele emplear en eventos temporales, bajo techo y estadios multipropósito. La carpeta es, en general, una superficie rápida con un bajo coeficiente de rebote (COR).

Características de la pista del abierto de Australia:

1. Australian Open Blue (revestimiento texturado y pigmentado de resina).
2. Plexicushion.
3. Capa de base de Plexicushion.
4. Relleno acrílico de 10cm.
5. Subbase de hormigón o asfalto de 25 cm.





### 3.3.4. Césped.

#### 3.3.4.1. Césped natural.



Ilustración 13: Pista central de Wimbledon.

Son las pistas con la superficie más rápida. Las pistas de tenis de césped fueron en su momento las superficies más comunes. En la actualidad hay pocas pistas con este tipo de superficie debido a sus altos costes de mantenimiento. Deben ser regadas y segadas con frecuencia, además de que, sufren mucho con las inclemencias del tiempo.

Composición de la pista central de Wimbledon:

1. Césped.
2. Capa de raíces (23% de contenido de arcilla) con un espesor de 25 cm.
3. Encajado de grava de diámetro 5 cm y espesor de 25cm.
4. Encajado de grava con un espesor de 25cm.
5. Capa drenante.



#### 3.3.4.2. Mantenimiento.

**Riego:** La cantidad de agua de riego que necesita la planta está en función de muchos factores como la cantidad de evaporación de humedad del suelo y la transpiración de las hojas. Hay que tener en cuenta que, si se utilizan aguas residuales, éstas pueden ser beneficiosas para las plantas, pero pueden llegar a ser perjudiciales para las personas, sobre todo en campos deportivos donde el jugador interactúa directamente con el césped, por lo que se requiere un control químico. Es necesario un riego abundante tras la fertilización para disolver, en parte, los gránulos y facilitar la absorción.

**Segado:** Es una operación de corte de las hojas del césped. Evita la tendencia a encamar y espigar, y permite mantener las hojas y tallos a una altura compatible con las necesidades de juego. Una siega más frecuente aumenta la densidad de la alfombra. La siega se realiza con máquinas de cuchillas y éstas pueden ser rotativas o helicoidales. Las rotativas dan un corte imperfecto, pero permiten cortar el césped a cualquier altura requerida, en cambio las helicoidales dan una excelente calidad de corte y permite siegas a alturas más bajas.

### 3.3.4.3. *Césped artificial.*



Ilustración 14: Pista de Tenis en Césped artificial.

Este tipo de pistas se construyen sobre una superficie de hormigón poroso o un conglomerado asfáltico.

El césped artificial disminuye los efectos perjudiciales de la lluvia, el hielo y la humedad que aparecen en la mayoría de las superficies. Absorbe el agua de la lluvia, y la humedad que se filtra a través del material poroso, dejando la superficie de juego en perfecto estado. El coste de mantenimiento es reducido.

Composición de la pista central de Wimbledon:

1. Césped artificial
2. Impermeabilizante
3. Capa ciega 25cm.
4. Piedra 25cm.
5. Drenaje.



### 3.3.4.4. *Mantenimiento.*

**Cepillar el césped artificial periódicamente.** Haciéndolo en sentido contrario a la dirección de las fibras. También recolocaremos la arena de sílice.

**Regarlo.** Una vez al mes o cada dos meses sería, siendo más frecuente en el verano. No se recomienda regar si las temperaturas están bajo cero ya que el hielo puede ir desgastando la base de latex con el paso de los años.

**Reposición de arena de sílice.** Con el viento y el tránsito, la arena puede acumularse en un sitio, desplazarse, o incluso puede disminuir la cantidad de la misma. Es recomendable, por tanto, reponerla. Así, el césped se mantendrá erguido.

### 3.4. GRADERÍO.

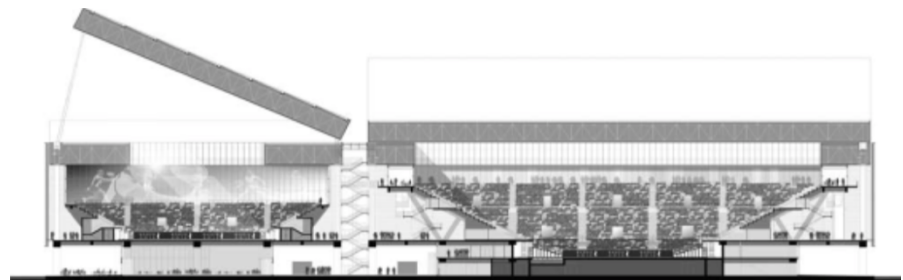
En la actualidad, todos los estadios están formados por un graderío, donde los espectadores puedan sentarse para ver el partido de una forma más cómoda. Además de por una cubierta, opcional, que les otorga protección frente a las inclemencias del tiempo.

El sistema estructural más adecuado de un estadio depende de múltiples factores siendo, en muchas ocasiones, las razones económicas las que ponderen en favor de uno u otro material. De este modo, los proyectos deben construirse con los mejores recursos disponibles en el país donde se ejecuten, cumpliendo con la normativa legal, y con los reglamentos técnicos locales e internacionales en vigor. En algunos países, por ejemplo, el acero es la opción preferida para ejecutar la estructura principal del estadio; en otros su uso puede estar muy restringido por rigurosas normativas de protección contra incendios.

Generalmente, el material más empleado suele ser el hormigón. Destaca su uso en forma de prefabricados, ya que tiene la ventaja de la fabricación, y reduce sustancialmente el plazo del proceso de ejecución. Por otro lado, el proceso de ejecución de todas las piezas está mucho más controlado, al llevarse a cabo en una fábrica, lo que se traduce en un aumento de la seguridad. A pesar de sus ventajas, no siempre resulta la mejor opción, como puede ser en estadios de reducida capacidad. Al no haber un número suficiente de elementos seriados, la fabricación de forma previa no suele resultar rentable.

La topografía del lugar pesa mucho en la búsqueda de una solución constructiva. En terrenos con desnivel es posible apoyar directamente las tribunas sobre el suelo, elevando menos la altura del estadio, pero perdiendo área útil para la creación de locales bajo tribuna. En la mayoría de las ocasiones el terreno es llano, de modo que las tribunas sobresalen del terreno, y por tanto, creciendo el estadio en altura.

La elección de un material constituye, además, una importante decisión arquitectónica. Materiales como el hormigón tienden a la realización de estadios más pesados donde la estructura es muy visible. Esto implica una arquitectura más sincera y natural. Las estructuras de acero, por el contrario, suponen una drástica reducción del peso y permiten configurar todos los espacios y superficies del estadio de una forma mucho más libre. Por este motivo, son las preferidas para



*Ilustración 15: Sección de La Caja Mágica*

recintos multifuncionales ya que, al salvar una mayor luz, el movimiento de terrenos de juego, gradas o techos resulta mucho más sencillo.

Encima de la estructura, ya sea metálica o de hormigón, se deben ejecutar los graderíos. El carácter repetitivo y seriado de estos elementos hace muy fácil su construcción con elementos de hormigón prefabricado. La ejecución de las tribunas resulta muy rápida. Una vez fabricadas y trasladadas al estadio, tan sólo hace falta colocarlas mediante grúas. Tras la unión con las vigas del graderío, sólo queda la inclusión de los asientos.

Las dimensiones mínimas de estos elementos se regulan siguiendo criterios de seguridad. Los asientos deberán ser individuales, estar fijados en el suelo y tener un respaldo de como mínimo de 30 cm de altura. Estos respaldos contribuyen a aumentar los niveles de confort. Además, deberán ser irrompibles, no inflamables y capaces de resistir las inclemencias del tiempo sin deteriorarse ni perder el color. Los asientos de las personas VIP deberán ser más grandes y cómodos, y estar ubicados a la altura de la línea media del campo, separados de los otros sectores del recinto.

Debe haber suficiente espacio para las piernas entre las filas, con el fin de garantizar que los espectadores no toquen con las rodillas el asiento de la fila de delante. Asimismo, deben poder moverse sin grandes problemas cuando todos los asientos estén ocupados. A fin de garantizarlo, se recomienda una distancia mínima de 80 cm de respaldo a respaldo. Los asientos abatibles son una solución recomendable para dicha situación, aunque tienen la desventaja de ser más susceptibles a roturas en caso de uso inadecuado.

La anchura de los asientos es muy importante, tanto para el confort como para la seguridad de los espectadores. Por esto, la anchura mínima es de 45cm, aunque no se recomiendan asientos con una dimensión menor de 50cm. Los asientos VIP y VVIP deberán tener una anchura mínima de 60 cm, y un mayor nivel de confort, disponiendo de apoyabrazos.

La identificación de las filas y asientos deberá estar en un lugar perfectamente visible, de manera que puedan localizarse fácilmente. Es importante que todo el procedimiento de entrada al estadio y acceso a las localidades se lleve a cabo de forma rápida y segura.

La proximidad del aficionado al terreno de juego es proporcional a la calidad visual que éste puede llegar a tener: la sección tipo surge como resultado de dotar

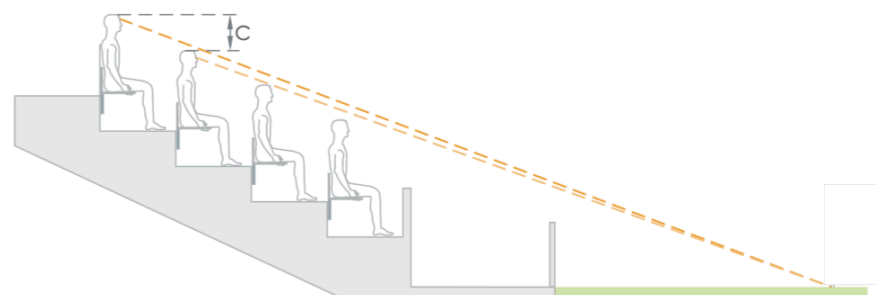


Ilustración 16: Ángulo de visibilidad.

de las mejores condiciones de visibilidad al mayor número posible de aficionados. Este criterio justifica que, según la ubicación dentro del estadio, el precio de la entrada pueda variar enormemente. La isóptica es la herramienta encargada de revelar los parámetros con los que el espectador puede ver un espectáculo con unos criterios mínimos de calidad.

El ángulo de visibilidad, que define la inclinación de la grada, es el resultado de la unión de los puntos de los ojos de los espectadores de las diferentes filas con

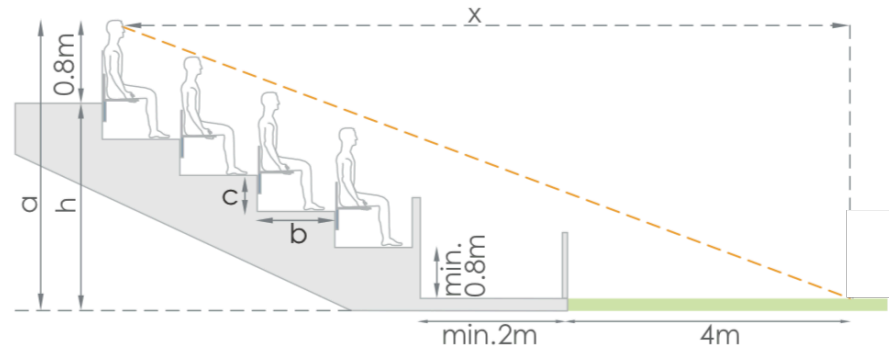


Ilustración 17: Línea de visibilidad.

el punto más cercano del terreno de juego. Para que dicha visión nunca se vea obstaculizada por el espectador de la fila de delante, se determina un “valor C” o diferencia de altura entre una fila y su contigua. Valores altos indican una menor probabilidad de que aparezcan obstáculos, sin embargo, en estadios de gran aforo esto aumenta considerablemente la altura de la tribuna, generando problemas de visión y confort. Todo estadio presenta una línea de visibilidad óptima, que vendrá definida por las diferentes medidas que conforman una tribuna. De este modo, cuánto más cerca esté la inclinación del estadio de dicha línea, de mejores condiciones de visibilidad dispondrá el recinto.

La línea de visibilidad determina, además, el área que va a ocupar el estadio. Por ejemplo, los recintos con tribunas poco inclinadas, alejarán al espectador del terreno de juego, y amplían la superficie que ocupa el estadio en planta. Para evitar este tipo de situaciones límite, donde las tribunas están muy distanciadas del terreno de juego, se disponen de unas medidas horizontales máximas que garantizan unas correctas condiciones de visibilidad.

### 3.5. CUBIERTA.

En la actualidad, no es obligatorio que todas las tribunas de un estadio estén completamente cubiertas. Sin embargo, la notable mejora del nivel de confort de los espectadores hace muy recomendable su construcción. Las cubiertas de los estadios ubicados en climas húmedos protegen de la lluvia y el viento mayoritariamente, mientras que las situadas en climas cálidos dan cobijo del sol y el calor.

En la mayoría de situaciones la mejor solución es la cubierta retráctil, posibilitando el uso del estadio en condiciones meteorológicas extremas y convirtiéndolo en un recinto más viable para otros eventos como conciertos. Sin embargo, resultan muy caras y sólo se construyen en los mejores estadios del mundo.

Cubrir un estadio precisa de soluciones estructurales muy complejas con el fin de eliminar la presencia de cualquier obstáculo visual en los graderíos.

Por otro lado, destacan las enormes cargas que estos sistemas asumen debido: al peso propio de la estructura, al gran número de dispositivos que incorporan como sistemas de iluminación y a las sobrecargas derivadas de viento y agua. Por todo esto, el material que rentabiliza al máximo la luz y el peso a soportar es el acero, siendo utilizado ampliamente en la mayoría de las estructuras de cubierta. Como forma de contrarrestar este gran déficit, cada día se trabaja más con materiales de cubrición que aligeren lo máximo posible el peso total.

A pesar de estos inconvenientes, en la actualidad, son varios los estadios que presentan cubiertas retráctiles. Su construcción resulta aún más compleja de realizar que una cubierta fija completa, pues la distribución de cargas varía bastante en función de si la cubrición es total o parcial. Arquitectos e ingenieros deberán determinar el mejor diseño estructural para la cubierta del estadio, aunque es importante destacar que su decisión dependerá en gran medida del presupuesto disponible. En caso de que el estadio sólo deba estar parcialmente cubierto, se dará prioridad a la tribuna principal. En ella se sitúan los asientos más caros, la zona VIP/VVIP y los diferentes medios informativos.



Ilustración 18: Cubierta móvil caja mágica (imagen 1); Cubierta retráctil Centre Court (imagen 2); Philippe Chatrier descubierta (imagen 3).

## 4. ACERCAMIENTO A LOS EQUIPAMIENTOS DEL TENIS

### MODERNO: WIMBLEDON Y ROLAND GARROS.

#### 4.1. WIMBLEDON

##### 4.1.1. Introducción.

El Campeonato de Wimbledon es el torneo de tenis más antiguo del mundo y considerado como el más prestigioso de todos. La superficie sobre la que se juega es hierba, conservando esta superficie desde su creación. El evento se lleva a cabo en el Club All England, en el suburbio de Wimbledon, y tiene lugar en los meses de junio y julio. Las categorías existentes del torneo son: individuales y dobles tanto masculinos como femeninos y dobles mixtos. Además tiene competiciones de categorías junior y otros eventos adicionales.

##### 4.1.2. Historia.

La historia de esta Grand Slam comienza en 1868 con la creación del club All England Lawn Tennis and Croquet Club, ubicado en Worple Roas, Wimbledon. Es en 1875 cuando se incorpora el tenis en césped como uno de los deportes practicados en el club y de esta manera, dos años después, el club es renombrado como All England Croquet and Lawn Tennis Club. En 1882, la actividad exclusiva del club era el tenis, por lo que la palabra croquet fue sacada del nombre del club. Sin embargo, después de unos años, por el sentimentalismo generado, se reincorpora dicha palabra en el título.



Ilustración 19: Torneo de Wimbledon 1877.

En 1968 comienza la era open, en la que jugadores profesionales podían inscribirse al torneo, considerado hasta ese entonces como uno de los mejores del tenis amateur.

Hoy en día Wimbledon es considerado como el principal torneo de tenis en el mundo. Se han llevado a cabo mejoras en las instalaciones, aumentando más pistas de hierba, remodelando las cubiertas para que la lluvia no sea un impedimento. También se han aumentado el número de asientos de los estadios, así como un aumento de establecimientos para la comodidad, tanto de jugadores como de espectadores.



### *4.1.3. Las pistas de Wimbledon.*

En el torneo de Wimbledon existen un total de diecinueve pistas, todas de hierba, en las que se desarrollan todos los eventos.

Las pistas principales son Centre Court y Nº1 Court, usadas sólo durante la duración del campeonato de Wimbledon. La Centre Court fue inaugurada en 1922, cuando el All England Lawn Tennis and Croquet Club se trasladó a Church Road. Tiene una capacidad de 15000 espectadores, incluyendo un palco para que la familia real pueda apreciar los partidos; en el 2009 se le instaló en techo replegable, para proteger a los jugadores de las inclemencias del clima. La segunda pista más importante, la Nº 1 Court, fue construida en 1997, para reemplazar a la antigua demolida por no contar con mucha capacidad para espectadores. Esta nueva pista cuenta con 11000 localidades.

#### *4.1.3.1. Centre Court.*

Para el primer Campeonato de Wimbledon en 1877, había un total de 12 pistas distribuidas en una cuadrícula de 3 x 4. Esto cambió en 1881, cuando las dos pistas centrales se combinaron para formar la Centre court. El nombre se mantuvo cuando el club se trasladó a su sitio actual en Church Road en 1922. No fue hasta que se añadieron otras cuatro pistas en 1980, cuando la ubicación del Court Central en el terreno coincidía con su nombre.

La capacidad inicial de la centre court no se conoce. En 1881, se construyeron stands cubiertos temporales (A, B y C) en tres lados de la pista, y en 1884, el stand A se convirtió en una plataforma permanente. Seguidamente, en 1885, se planteó la conversión de los stands B y C. En 1886, los tres stands se unieron en las esquinas para formar una estructura continua. Los stands se ampliaron considerablemente en 1906, y posteriormente, en 1909 se construyó un nuevo stand B que aumentaba la capacidad en 600 asientos. En 1914 la capacidad de asientos se incrementó de 2,300 a 3,500 y esto se mantuvo sin cambios hasta el cambio al nuevo terreno en Church Road.

La pista central sufrió daños por bombas durante la Segunda Guerra Mundial cuando cinco bombas golpearon la centre court durante un ataque aéreo, en octubre de 1940. Se destruyeron 1.200 asientos en el estadio, y aunque el juego se reanudó después de la guerra en 1946, la tribuna no estaba completamente reparada hasta 1949.





El techo de la pista central original de 1922, que cubre parcialmente las gradas, se ha modificado varias veces. En 1979, se aumentó en un metro para permitir que la capacidad se incrementase en 1,088 asientos. El trabajo de construcción adicional se produjo en 1992 con un reemplazo del techo y una estructura modificada que permitió a 3.601 asientos tener una vista más clara de la pista.



Ilustración 20: Centre court Wimbledon sin techo. 2006.

Finalmente, se instaló un techo retráctil completo en 2009, y la capacidad aumentó a 15,000 asientos. Se agregaron seis filas de asientos al nivel superior en los lados este, norte y oeste. Se crearon nuevas instalaciones para los medios, cuadros de indicadores que incluyen videos, y cuadros de comentarios para reemplazar a los que actualmente se encuentran en el nivel superior. Se instalaron nuevos asientos más anchos y se agregaron nuevas escaleras y ascensores adicionales.

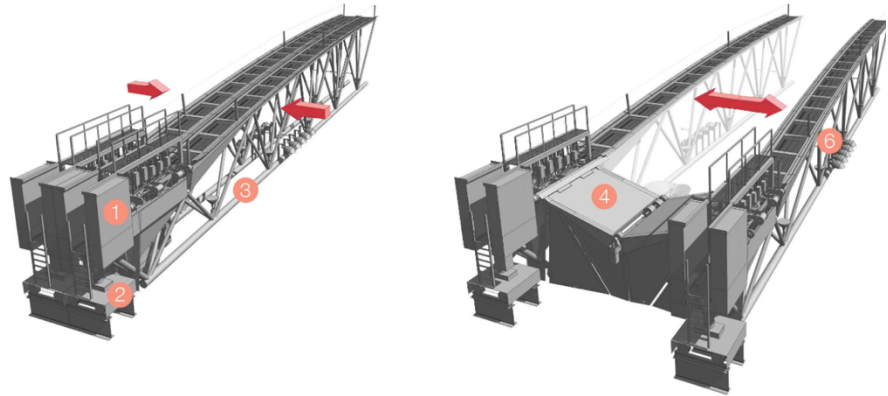
#### 4.1.3.1.1. *Cubierta.*



Ilustración 21: Centre court Wimbledon con techo, 2009

Después de muchos años de debate entre jugadores, aficionados y medios, el All England Club. Finalmente se decidió construir un techo retráctil para cubrir toda la pista, y de esta manera, evitar las inclemencias del tiempo. El trabajo de construcción comenzó con la eliminación del techo existente sobre las gradas al final del campeonato de 2006. No hubo techo sobre las gradas para el evento de 2007, y hubo partes fijas de la nueva construcción que fueron visibles al año siguiente. La estructura retráctil del techo estaba lista para el Campeonato 2009, se presentó en abril de 2009, y se probó durante un partido de exhibición el 17 de mayo de 2009.

El techo tarda hasta 10 minutos en cerrarse, tiempo durante el cual se suspende el juego. Por otro lado, el tiempo de transferencia desde el exterior al interior, es decir, el tiempo que tarde el volumen en aclimatarse por completo, puede ser de hasta 45 minutos. Durante este espacio de tiempo el sistema de aire acondicionado aclimata el estadio de casi 15,000 asientos. Las reglas del torneo



*Ilustración 22: Esquema de funcionamiento de uno de los 10 trusses del sistema de cubierta.*

para la quincena de Wimbledon dictan que el techo, una vez cerrado, debe permanecer así hasta el final del partido. Así pues, algunos partidos pueden completarse cubiertos a pesar de que el sol ha vuelto a salir.

El techo fue diseñado por SCX Special Projects Ltd, y los controles para movilizar el techo fueron diseñados por Fairfield Control Systems Ltd. Moog suministró el sistema de control eléctrico que comprende: actuadores eléctricos, servomotores, servo-accionamientos y controladores de circuito cerrado.

Los diez trusses del techo pesan cada uno 100 toneladas, y el peso total, incluidas las piezas no móviles, es de 3.000 toneladas. El área total del techo cuando está completamente desplegado es de 5,200 m<sup>2</sup>.

## 4.2. ROLAND GARROS

### 4.2.1. *Inicios.*

Los precedentes del prestigioso torneo francés se sitúan en el año 1891. El torneo nacional de tenis vio la luz en París, regido por la Union des Sociétés Françaises de Sports Athlétiques (USFSA). Esta federación era la encargada en la época, de la organización de los eventos deportivos en el país. En sus inicios, el torneo podía ser jugado únicamente por tenistas que perteneciesen al club.

Bautizado como el Campeonato de Francia, y bajo un carácter amateur, hubo únicamente 5 participantes y con una escasa repercusión que ha ido en aumento tras los años.

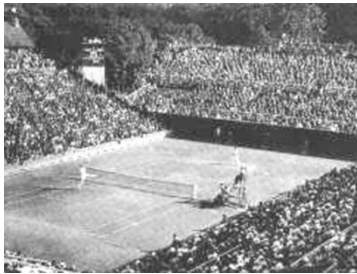


Ilustración 23: Roland Garros, 1928

Esta exclusividad para sus miembros continuó hasta la edición de 1925. Durante este año se regulan las normas de participación, abriéndose a cualquier jugador extranjero. Por este motivo, el evento cambió su nombre por el actual: Torneo Internacional de Francia de Roland Garros.

Con motivo de la consecución del título de Copa Davis para Francia en la edición de 1927 se proyectó la construcción de un recinto que albergase desde entonces los encuentros tenísticos del torneo parisino. Se inauguró en 1928 bajo el nombre de Stade Roland Garros.

### 4.2.2. *Pista Philippe-Chatrier.*



Ilustración 24: Philippe-Chatrier,  
2017

La Pista Philippe-Chatrier es la pista central en el Stade de Roland Garros. Construida en 1928, posee actualmente un aforo de 15.166 espectadores. Lleva el nombre de Philippe-Chatrier, jefe de la Federación Francesa de Tenis. Ayudó a traer de vuelta al tenis a los Juegos Olímpicos de Verano en 1988.

Las gradas tienen el nombre de los "Cuatro Mosqueteros", que dominaron el tenis en los años 1920 y 30. Fueron Jacques "Toto" Brugnon, Jean Borotra, Henri Cochet y René Lacoste.

Es la pista más imponente del complejo de la Porte d'Auteuil. Alberga los partidos más importantes, así como todas las finales.

### 4.3. DE LOS ESTADIOS CLÁSICOS A LOS MODERNOS.

Si se comparan ambos ejemplos antes mencionados con La Caja Mágica, se puede apreciar cómo las diferencias son inexistentes. En todos ellos las dimensiones y los materiales utilizados son de idénticas características.

Por lo tanto, si lo que se pretende buscar son diferencias, se deberá fijar la atención en todo lo que rodea a estas grandes pistas. La época en la que se proyectan cada uno de los recintos, y todas las características de la sociedad de del momento. Todos estos factores condicionan, y mucho, todas las prestaciones y relaciones que pueda tener ésta con su entorno y con la sociedad. Los edificios deben adaptarse a las necesidades de la sociedad a la que son contemporáneos. Por lo tanto, las grandes diferencias entre los edificios del siglo XX y nuestro proyecto, serán todas las nuevas soluciones que propone apoyado en la tecnología, la construcción y la sostenibilidad, entre otras.

Todos los avances en las nuevas tecnologías, ligadas a la sociedad, a la construcción o a cualquier ámbito, junto con una preocupación por la ubicación del complejo, los gastos generados por la propia concepción del edificio o los posteriores durante su uso diario, o lo que es lo mismo la sostenibilidad de la actuación, hacen que las nuevas instalaciones cumplan cada día más con las exigencias y necesidades básicas de los usuarios.

A los edificios de épocas anteriores sólo les queda adaptarse a estos nuevos cambios y avances en las tecnologías y construcción para adecuarse y perdurar.

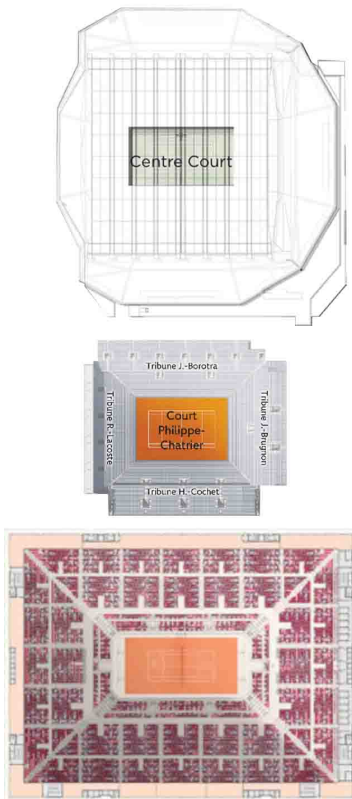


Ilustración 25: Centre Court, Philippe Chatrier y pista central de La Caja Mágica.



Ilustración 26: Vista general de Wimbledon, Roland Garros y La Caja Mágica.

## 5. LA CAJA MÁGICA, DOMINIQUE PERRAULT, MADRID, 2008.

### 5.1. INTRODUCCIÓN.

#### 5.1.1. *Dominique Perrault, en busca de una arquitectura invisible.*

“El vacío es un escenario a la espera de acción” Dominique Perrault.

La caja mágica se basa en una estética de negación de la arquitectura: no quiere ser un edificio. Asentado como un objeto ajeno, en medio del parque Manzanares, este calculado retraimiento no es una estrategia de rechazo, sino de provocación.

La estrategia de distanciar la presencia del edificio es un principio constante que Perrault ha explorado y aplicado a lo largo de su obra. Manipula la apariencia de su arquitectura, enmascarando deliberadamente tanto el contenido funcional, como la configuración espacial del edificio.

Para comprender mejor la lógica de esta seducción inversa, tan perfectamente materializada en la caja mágica, resulta útil recorrer la aparición de esta estética de negación en la obra del arquitecto francés. Perrault ha desarrollado básicamente dos recursos diferentes, pero relacionados. El primero consiste en incrustar el edificio en el terreno, ocultándolo a la vista de manera literal, mientras que el segundo consiste en esconderlo tras un velo engañoso y seductor. Se quiere contribuir con ello a una mejor comprensión, tanto de la lógica como del propósito del planteamiento general del arquitecto.

La estrategia de incrustaciones en el terreno aparece, por primera vez, en un pequeño proyecto de ampliación para el centro de conferencias de Usinor-Sacilor (1988-1991). En este proyecto se incorpora el planteamiento arquitectónico de Perrault: liberar la arquitectura de la obligación de la representación y de la autorrepresentación. El arquitecto decide disimular la nueva función debajo de la construcción existente. Para un visitante situado delante del edificio, la ampliación es, por tanto, virtualmente invisible. Sólo una segunda mirada desvela que el foso alrededor de la villa, es la cubierta acristalada de la sala de conferencias. Esta estrategia garantizó el cumplimiento de todas las exigencias de conservación del patrimonio: un edificio invisible no necesita adaptarse a un monumento catalogado.

Poco tiempo después, ganó el concurso para biblioteca Nacional de Francia. Por primera vez, intentó materializar su planteamiento en un edificio de nueva planta. Lo consiguió mediante la elevación artificial del terreno a través del zócalo. En su interior hay un par de niveles bajo rasante, y se encaja y oculta la mayor parte del programa de la biblioteca. Únicamente las estanterías, situadas en las cuatro torres en esquina que representa libros abiertos, quedan fuera de ese contenedor “invisible”.

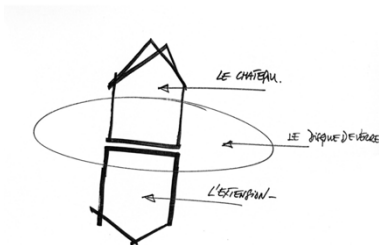


Ilustración 27: Croquis Usinor-Sacilor, 1988-1991



## EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS: TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD.

---

En la Villa One, 1992, una casa de vacaciones en el campo, materializó la idea de una arquitectura no representativa con una radicalidad inflexible. La vivienda está completamente hundida en el terreno y sólo es visible desde el jardín privado. La villa one demuestra la posibilidad de una arquitectura que puede existir sin representación.

Perrault exploró este planteamiento simultáneamente en un proyecto de escala mucho mayor, la piscina olímpica y el velódromo de Berlín 1992-1999. Aunque los dos bloques programáticos del conjunto se articulan como volúmenes monumentales, no se muestran así ante la ciudad debido a que no se alzan exentos, sino rodeados de un zócalo masivo de terreno. Para explorar el interior de los edificios, hay que descender por el talud hasta las profundidades de la gruesa plataforma.

Uno de sus proyectos más radicales es el de la Ciudad de la cultura de Galicia de Santiago de Compostela 1999. Se sitúa completamente bajo tierra, en el interior del monte. Sólo el delgado filo de un volumen acristalado emerge del terreno para llevar luz natural a los espacios subterráneos del museo. El proyecto consiste casi solo en el espacio negativo, abraza el primitivo ideal de la cueva.

En el centro de estudiantes de la Universidad, en Seúl (2004-2007), Dominique buscó el mismo efecto, ya que mediante la excavación de una larga zanja en el terreno permite la entrada de luz ambos lados. El acceso se resuelve mediante una larga rampa y una espectacular escalinata. Desde el interior de la zanja la sensación es la de encontrarse entre dos edificios muy largos, mientras que desde el exterior, esos mismos edificios sólo se perciben como los jardines que tapizan sus cubiertas.



Ilustración 29: Biblioteca nacional de Francia. 1985-1999



Ilustración 30: Piscina y velódromo, Berlín 1992-1999

Obviamente, no siempre es posible incrustar un edificio en el terreno. Es en esos casos, donde Dominique usa otra estrategia para disimular la objetualidad de la arquitectura: pretende deshacer la presencia del edificio volviendo mudas sus fachadas.

En los archivos del departamento de Mayenne duplica su superficie con la adición de una nueva edificación con idéntico volumen. Su fachada consiste en un entramado de aluminio cerrado con tablas de madera dispuestas en horizontal. Las tablas de madera no se mueven, y la fachada está siempre cerrada, dado que los archivos no necesitan luz natural.

En la biblioteca Nacional de Francia, Dominique colocó paneles opacos detrás de la fachada de vidrio de las torres de libros. Era un dispositivo necesario, funcionalmente, para proteger los ejemplares del exceso de radiación solar. También a nivel simbólico pretende deconstruir la convención de que un edificio de vidrio debe ser transparente.

Para la mediateca Central de Venissieux 1997 2001, Perrault ha refinado esta transferencia mediante la construcción de una sofisticada fachada de vidrio, consistente en dos hojas separadas de este material. El espacio entre ambas se rellena con paneles metálicos perforados y actúan como protección contra el calor y el deslumbramiento.

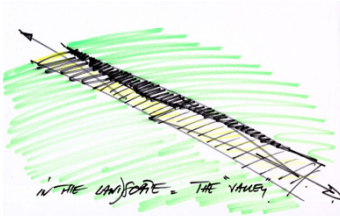


Ilustración 28: Croquis centro de estudiantes, Seúl, 2004-2008.



Este interés por crear relaciones ambiguas entre interior y exterior culmina finalmente en la obsesión de Perrault por las mallas metálicas.

En la caja mágica, la malla metálica no separa el vacío (exterior) del lleno(interior), sino que media entre uno y otro. Por ambas caras de la malla corre el aire. De hecho, las fachadas de malla metálica de la caja mágica enmarcan un espacio que de otro modo no existiría. Además de cómo envolvente del recinto deportivo, funciona como una interfaz entre el estadio en sí y la ciudad que lo rodea. La mayor parte del área cubierta por la malla, en los lados este, sur y oeste, sirve de acceso a las tribunas y otras funciones colectivas; la pieza alargada norte, sin embargo, forma parte de un itinerario urbano que conecta las zonas residenciales. El arquitecto en este caso decidió incluir dicho itinerario urbano peatonal atravesando el volumen, de modo que los peatones tienen que atravesar el edificio.



Ilustración 31: La caja mágica, Madrid,  
2002-2009

La malla contribuye a entrelazar los espacios urbanos y arquitectónicos mediante la disolución del objeto arquitectónico, autista, a través de los flujos de movimientos y las relaciones espaciales con la ciudad. Por lo tanto, sería incorrecto describir simplemente la fachada de malla metálica como la piel del cuerpo edificado, pues funciona, más bien, como una membrana integrada en el mucho más complejo cuerpo urbano.

Perrault ve la arquitectura como un medio para confrontarnos con la realidad. Esta es la razón por la cual le gusta tanto el vacío, de hecho, quiere conservarlo e incluso exacerbarlo. Para ello acomoda el programa requerido de modo que no ocupe el vacío preexistente, sino que permita permanecer.

### 5.1.2. Reinventar el lugar.

Muchas de las cualidades más significativas del proyecto de la caja mágica guardan una estrecha relación con su origen, vinculado a la candidatura de la ciudad de Madrid como sede de los juegos olímpicos del 2012. Tanto Madrid como Londres apostaron por la recuperación de terrenos abandonados en sus periferias inmediatas. Ambas propuestas concentran la villa olímpica y los principales estadios en una estructura de “parque”. Se pretende asociar la creación de los complejos olímpicos a la recuperación de una parte deteriorada de sus periferias urbanas.

La remodelación del estadio de La Peineta de Antonio Cruz y Ortiz en San Blas, se inscribe en una apuesta por el reciclaje de instalaciones deportivas existentes conforme a las directrices de “austeridad” del Comité Olímpico Internacional. Por otro lado, tanto la caja mágica como el centro acuático de Juan José Medina, en San Blas, y el parque del arroyo de La Gavia de Toyo Ito, en Vallecas, construyeron apuestas arquitectónicas con voluntad de colocar a la ciudad en una posición óptima como centro organizador de eventos deportivos.

Esta intención explica la localización de la caja mágica en las márgenes del

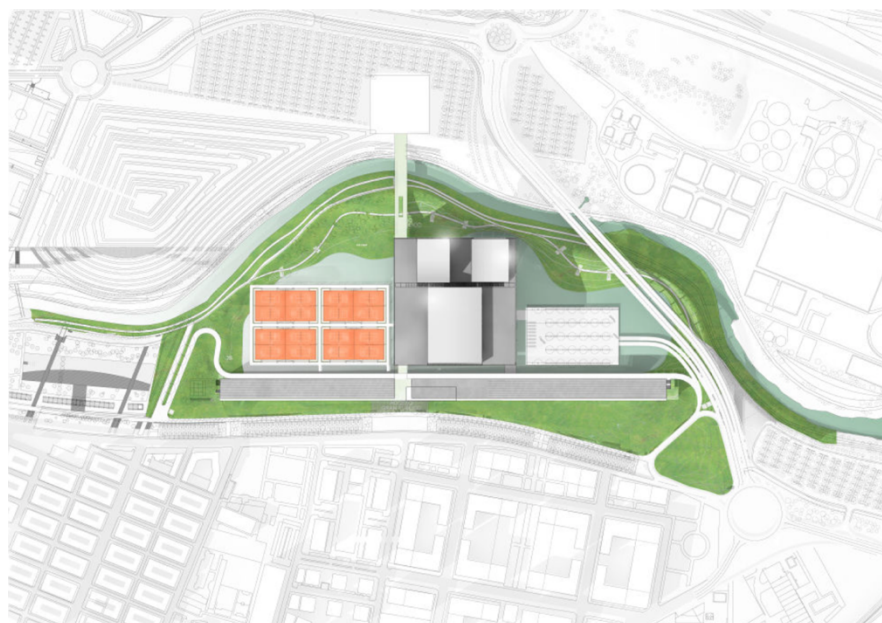


Ilustración 32: Emplazamiento de la caja mágica. Revitalización del río Manzanares.

río Manzanares en Villaverde. En la geografía de toda esta zona confluyen problemas ambientales, vinculados a los orígenes industriales del distrito, con severas problemáticas de cohesión social. Como no podría ser de otra manera una pieza clave de toda esta estrategia es la recuperación de los márgenes del río Manzanares.

#### **El río Manzanares, pieza clave del sistema verde de Madrid.**

El Manzanares es el “cordón umbilical” que une los dos espacios de mayor valor ambiental del área metropolitana. Por un lado, la Sierra del Guadarrama y por



el otro el parque de las cuencas bajas del Manzanares y el Jarama. Tras la operación de soterramiento de la M-30, el río Manzanares adquiere un nuevo potencial: el de reparar la dramática fisura entre el centro y la periferia. Así, al mencionado valor estratégico como corredor ambiental de escala territorial, se añade su potencialidad como nexo urbano.

El proyecto de Madrid Río, ha recuperado hoy los márgenes del tramo urbano del Manzanares como espacio público mediante la forestación de los espacios verdes. La naturalización del cauce, el acabado de las terrazas fluviales con tratamiento blando y accesible al público, y la prolongación del corredor verde principal hacia los densos tejidos residenciales del centro, como canales para incorporar el disfrute del río a la ciudad.

Los terrenos elegidos para la construcción de la caja mágica corresponden a un meandro, en la terraza baja del Manzanares, ocupado espontáneamente por huertos y casetas. Con el tiempo, estos cultivos recreativos derivaron en la formación de un verdadero núcleo de infravivienda y actividades marginales. La localización de la caja mágica en esta zona, supone la creación de una pieza con capacidad de atracción suficiente para desencadenar procesos de recualificación

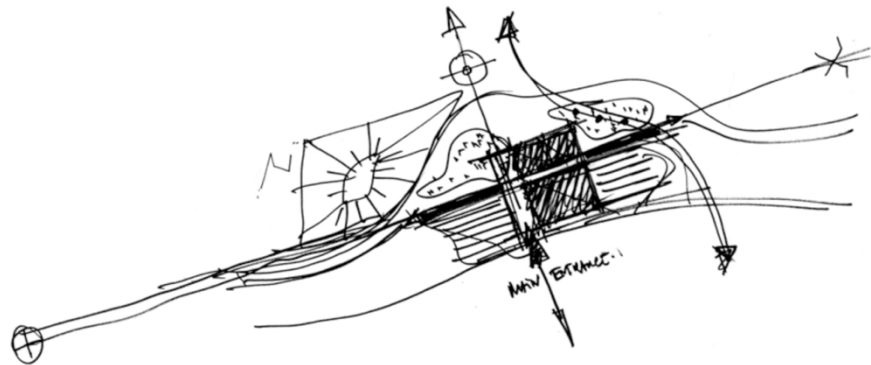


Ilustración 33: Croquis de intenciones urbanísticas. La caja mágica

de todo su entorno. Incluso permite alterar la percepción negativa que los madrileños tienen de esta parte del río, producto de un largo periodo de abandono y deterioro. Este tipo de estrategia no es nueva en Madrid; funcionó con éxito en la década de 1980 en los suelos de la antigua estación de Delicias, hoy parque Tierno Galván, mediante la localización del planetario como icono del nuevo espacio libre. A su vez, la recuperación del vacío ferroviario significó la puesta en valor de las calles Embajadores y Méndez de Álvaro, hoy en vías de transformarse en uno de los ejes de actividades innovadoras de la ciudad.

Desde una perspectiva urbana, los mayores aciertos del proyecto residen en la decisión y claridad con la que la arquitectura se enfrenta a un entorno "hostil", sin negarlo ni renunciar a la voluntad de constituirse en la catalizadora de su transformación. La dificultad del lugar es fuente de inspiración y estímulo para el proyecto.



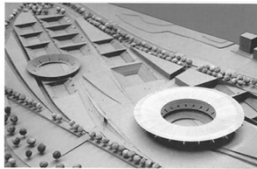
## EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS: TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD.

---

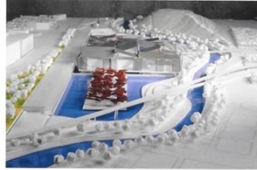
La carencia de referencias contextuales lo libera de las limitaciones de una integración puramente mimética en el paisaje, y la necesidad de generar un nuevo orden urbano y paisajístico sugiere la esterilidad de un entendimiento meramente icónico del objeto y el germen de otra ciudad posible.

Es acertada la opción de entender el proyecto como un conjunto de volúmenes articulado y permeable a los recorridos peatonales, a modo de prolongación del espacio público. La austeridad en los gestos y la expresa voluntad de no utilizar más formas de las necesarias encuentran en la caja mágica una inserción particularmente adecuada. La transparencia del cerramiento de las fachadas consigue evitar con brillantez que la rotundidad geométrica se convierta en sinónimo de rutina, simplicidad o excesiva gravedad, sugiriendo una relación entre el interior y el exterior que fortalece la percepción del conjunto como un dispositivo público integrado en un espacio libre también público. El recurso de elevar la losa del edificio principal sobre la cota natural de la lámina de agua y el terreno y sustentarla sobre pilotis recupera la vocación original, contribuyendo a enfatizar el efecto anti gravitatorio de la piel translúcida.

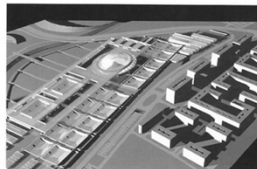
## 5.2. EL CONCURSO.



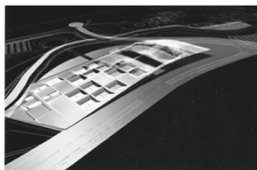
Eisenman Architects



Dominique Perrault Architecture (DPA)



Touza y Asociados



Rafael de La-Hoz Arquitectos



Ferrater & Asociados (CAB Office)



Marañón-Tuñón (M+T)

Junquera Arquitectos



Tonet Sunyer

Entre las razones del acuerdo emitidas por el jurado se hizo especial hincapié en aspectos de índole práctica como la notable estandarización del aspecto constructivo y un mantenimiento global sencillo. Además, se valoró el adecuado entendimiento del parque preexistente mediante una solución formal que, gracias a su compacidad volumétrica, permitía tanto una fácil gestión de los distintos espacios, como una acertada flexibilidad funcional.

La caja mágica fue impulsada por la necesidad de conformar un equipamiento estratégico que fuese capaz de alojar el nuevo combinado de tenis, y a su vez como refuerzo de la candidatura de la ciudad para albergar los juegos olímpicos de 2012. La actuación debía poner en servicio un nuevo espacio dotacional de escala urbana, e incorporar características inéditas en el entendimiento tradicional de un estadio deportivo.

A pesar de la eficacia de su denominación popular, el nombre de la caja mágica puede resultar un tanto equívoco, ya que en realidad agrupa dos edificaciones independientes: por una parte, el volumen que aglutina tres estadios, y por otra el pabellón longitudinal del tenis indoor. Ambos se disponen alrededor de un gran lago artificial de nueva creación, que reforesta y potencia el meandro del Manzanares gracias a la nueva incorporación de especies vegetales autóctonas y a un eficiente sistema de regeneración del agua. La conexión peatonal de los volúmenes entre sí y con el entorno más próximo se efectúa mediante un trabado sistema de puentes y pasarelas que multiplica y diversifica los recorridos, de la misma forma que ofrece nuevas perspectivas del complejo, y establece y refuerza la conexión de la caja mágica con el barrio de San Fermín y el parque del Manzanares, obra de Ricardo Bofill.

El programa del conjunto es realmente extenso, y bajo la sencillez de los volúmenes se agrupa una notable diversidad de usos. Con una superficie de más de 100.000m<sup>2</sup>, el complejo deportivo se compone de 3 pistas de tenis cubiertas o descubiertas (para 12.000, 5.000 y 3.000 personas de capacidad), 16 pistas de tenis exteriores, 5 pistas cubiertas (350 espectadores cada una), 6 pistas de entrenamiento, 1 piscina cubierta, así como la sede de la Federación Madrileña de Tenis, una escuela y un club dedicados a este deporte, un centro de prensa, y diferentes restaurantes y espacios reservados.

En líneas generales, se ha optado por segregar usos y organizar el programa descrito atendiendo al grado de especialización del usuario. En sección, la caja mágica, se organiza en dos niveles, de lo privado a lo público, y en sentido ascendente. En el nivel del lago (nivel -2) se ubican los espacios reservados a los jugadores, visitantes VIP y prensa, los servicios de entrenamiento, así como las instalaciones técnicas necesarias para el mantenimiento del edificio. Ocho metros más arriba, en el nivel de la calle (nivel 0) y con acceso desde el espacio público a través del sistema de pasarelas y conexiones peatonales se distribuyen los espacios destinados a los espectadores y los servicios asociados a ellos durante los días de partido u otros eventos.



Ilustración 34: Proyecto ganador, La Caja Mágica.

La envolvente constituye durante el transcurso del día una película filtrante, reflectante u opaca, mientras que por la noche deja atravesar la luz, sugiriendo así la actividad incesante del complejo y mostrando una casi total transparencia. Los paneles de malla de la caja mágica miden 25m de altura x 7,20m de anchura.



## 5.3. EL PROYECTO.

### 5.3.1. *Datos del proyecto.*

#### SUPERFICIES:

Total: 17Ha.

Edificio principal: 109.000 m<sup>2</sup>, planta 30.000 m<sup>2</sup>.

Lago ecológico: 30.000 m<sup>2</sup>.

Aparcamientos: 48.000 m<sup>2</sup>.

#### PROGRAMA:

##### Caja mágica:

Estadios (3): 12.500, 3.500 y 2.500 asientos.

Estadio 1: cubierta basculante y móvil de 103 x 73 m.

Estadio 2: cubierta basculante y móvil de 44 x 60 m.

Estadio 3: cubierta basculante y móvil de 44 x 60 m.

**Superficie:** 165 x 158 m.

**Superficie cubierta:** 35.159 m<sup>2</sup>

Acero laminado S355: 1.914 t.

Acero laminado S460: 442 t.

Acero S275: 1.675 t.

##### Graderío móvil (estadio 1):

1.176 plazas distribuidas en palcos.

##### Tenis indoor:

Superficie: 600 x 30 m

Zona norte: 5 pistas climatizadas con graderíos.

Zonas sur: 6 pistas cubiertas de entrenamiento.

Zona central: Federación de tenis de Madrid.

Centro de alto rendimiento.

##### Urbanización:



## EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS: TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD.

---

Zona norte: 16 pistas de tenis (tierra batida o césped).

Zona sur: aparcamiento Media Garden 252 plazas.

Otros: 3 lagos con cascadas

Humedales artificiales

Viales con taludes de gaviones.

Jardinería.

### **Aparcamientos exteriores:**

Aparcamiento 1 (entre el río Manzanares, calle Embajadores y la M-40) 1.614 plazas.

Superficie: 48.000 m<sup>2</sup>

Aparcamiento 2 (zona Camino de Perales) 361 plazas.

### 5.3.2. Concepto.

Concebido sobre una superficie de 16.5 hectáreas en antiguos terrenos abandonados situados entre la autopista y los terrenos baldíos de las vías de tren, el Centro Olímpico de Tenis, con una superficie de 100,000m<sup>2</sup>, se compone de 3 pistas de tenis cubiertas y descubiertas para 20.000 espectadores (12.000, 5.000 y 3.000 respectivamente), 16 pistas de tenis exteriores, cinco pistas cubiertas con capacidad para 350 espectadores cada una, seis pistas de entrenamiento, una piscina cubierta, así como la sede de la Federación Madrileña de Tenis, una escuela de tenis, un club de tenis, un centro de prensa, espacios reservados y restaurantes.

Los edificios en acero, aluminio, hormigón y vidrio se organizan sobre un gran lago artificial. Invitando al paseo, un sistema de puentes y pasarelas abren la posibilidad de múltiples recorridos, ofreciendo nuevas perspectivas espectaculares y conectando a la Caja Mágica con el barrio de San Fermín y con el Parque del Manzanares, obra de Ricardo Bofill.

La Caja Mágica se organiza en función de dos usos. Al nivel del agua (nivel -2) encontramos los espacios reservados a los jugadores, los servicios de entrenamiento y de recepción de jugadores, VIPs y prensa, así como las instalaciones técnicas. Ocho metros más arriba, al nivel de la calle (nivel 0), se encuentra el espacio destinado a los espectadores y los servicios asociados a estos durante los días de partidos u otros eventos.

Las tres pistas de tenis se adaptan a los diferentes usos del complejo deportivo. Montadas sobre grandes gatos hidráulicos, las tres cubiertas móviles permiten cada una tres configuraciones distintas: totalmente abiertas, semiabiertas o cerradas. El conjunto de las tres cubiertas se puede configurar en 27 posiciones diferentes: El techo de la pista central que mide 102mx70m y pesa 1.200 toneladas puede entreabrirse en posición vertical y elevarse unos 20m de altura.

En posición horizontal puede abrirse deslizándose en toda su amplitud. Las otras dos cubiertas miden 60m x 40m y pueden entreabrirse en vertical hasta formar un ángulo de 25 grados. Pueden también deslizarse de forma horizontal hasta dejar el estadio completamente a cielo abierto. Esta Caja Mágica, que se abre, se entreabre y se cierra según los usos del complejo deportivo, crea una silueta cambiante y viva en el paisaje.

El Centro Olímpico de Tenis de Madrid es la única instalación mundial que puede asegurar el desarrollo de tres partidos simultáneos, cubiertos o descubiertos. Esta cualidad le permite organizar no sólo encuentros deportivos del más alto nivel sino también otros tipos de eventos, conciertos, mítines políticos, desfiles de moda, etc.

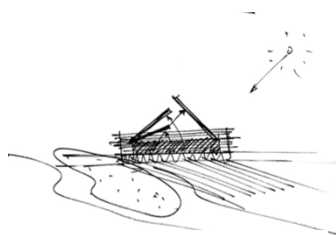


Ilustración 35: Croquis de proyecto.

Dominique Perrault ha desarrollado especialmente para este proyecto un tipo inédito de malla metálica. Esta envoltura de malla metálica es, según el momento del día, filtrante, reflectante u opaca. Centelleante durante el día, deja atravesar la luz, saliendo ésta del interior al exterior de noche, sugiriendo así la actividad incesante del complejo. Los paneles de malla de la Caja Mágica miden



## EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS: TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD.

---

24m de altura por 7,20m de anchura y constituyen igualmente un record de manufactura para un edificio de esta talla.

El nuevo icono de Madrid está dotado de un gran parque, siendo un espacio público tanto de día como de noche, tanto en momentos de competición como en otros. El barrio, que se beneficiará de un aparcamiento de 3.200 plazas, estará conectado con la ciudad por una red de pistas ciclistas y por el metro, cuya estación se encuentra a 5 minutos a pie del estadio.

La arquitectura de la Caja Mágica cambia la configuración de la ciudad de Madrid imponiéndose como un símbolo con fuerza, una nueva referencia fija, y una nueva puerta de entrada.



### 5.3.3. Planos.

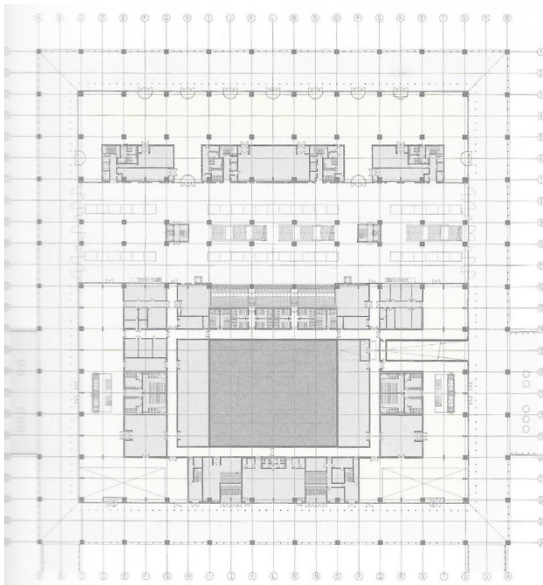


Ilustración 37: Planta cota 563,20 m.

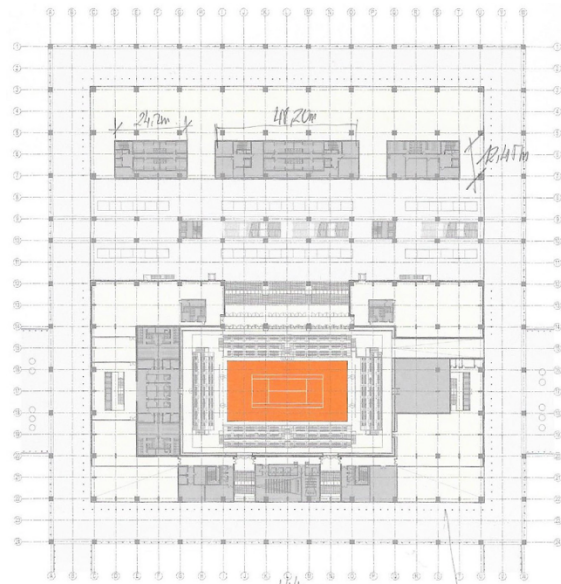


Ilustración 36: Planta cota 567,20 m.

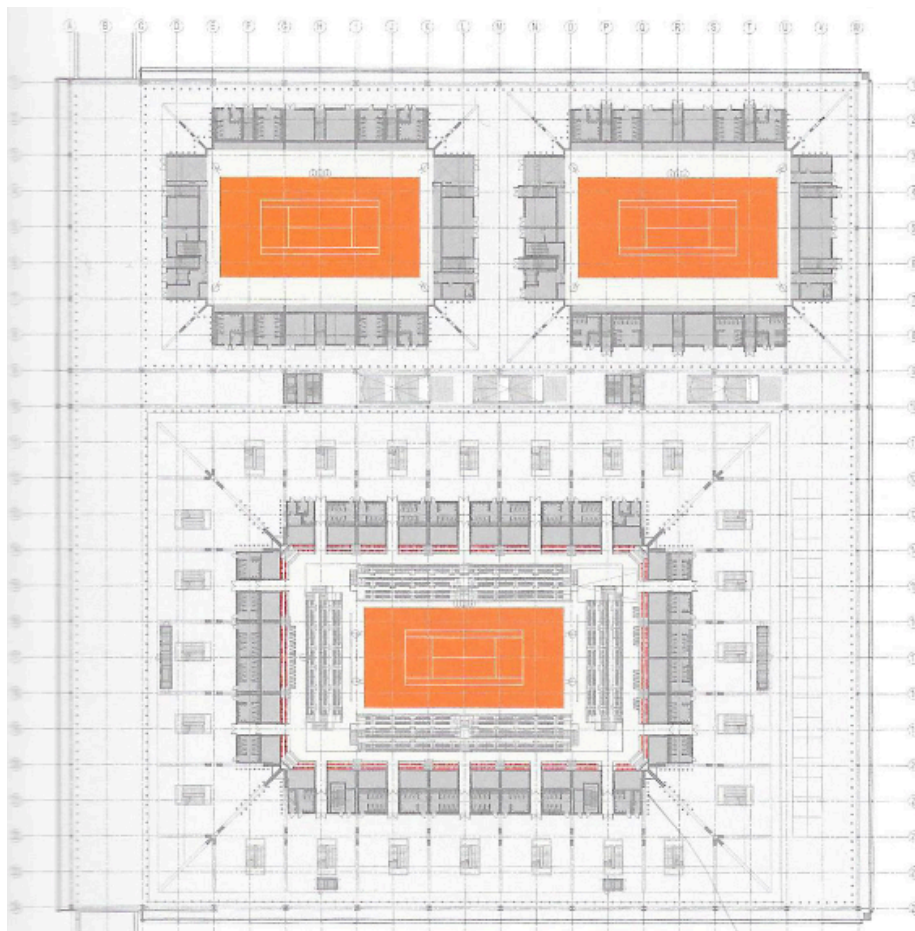


Ilustración 38: Planta cota 571,20 m.

# EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS: TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD.

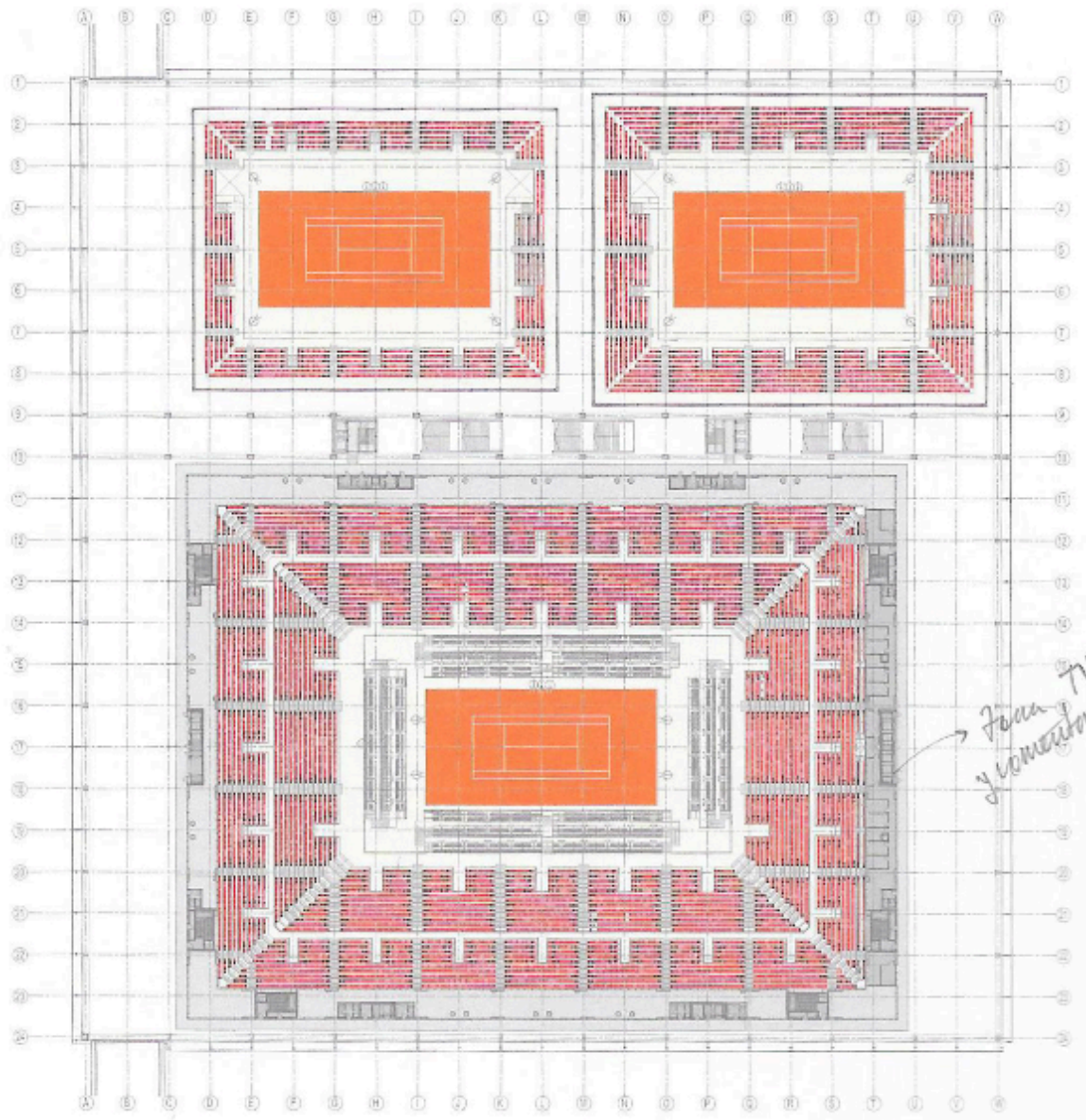


Ilustración 39:Planta cota 583,45 m.

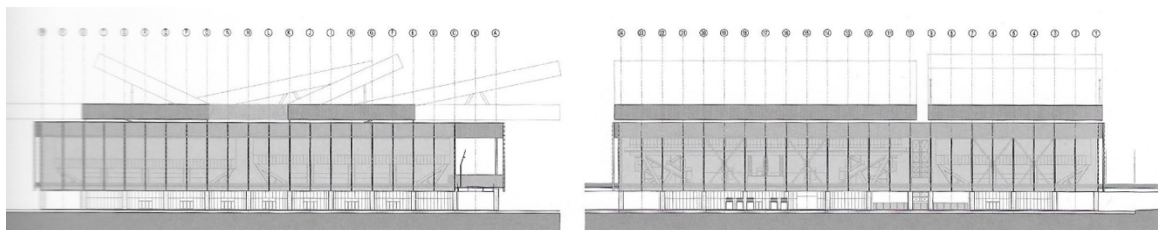


Ilustración 40: Alzados sur y oeste.

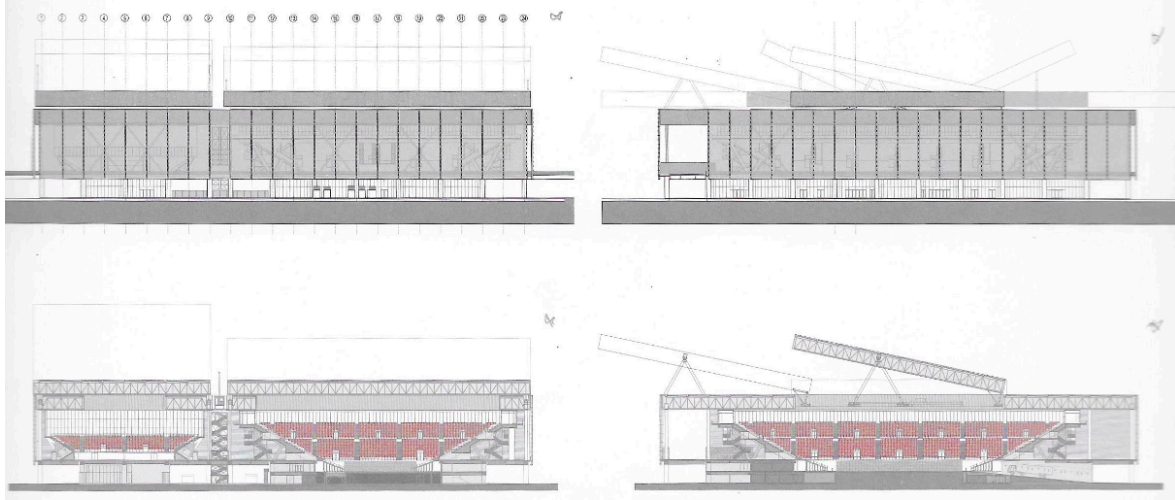


Ilustración 41: Alzados norte y oeste. Secciones de la caja mágica.



## 5.4. CONSTRUCCIÓN.

### 5.4.1. La fachada.

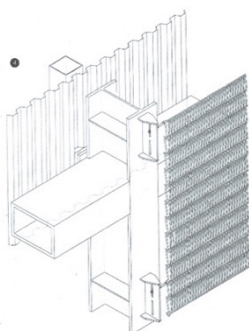
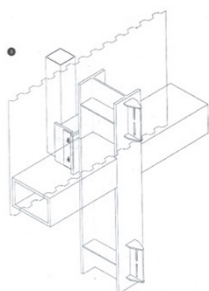
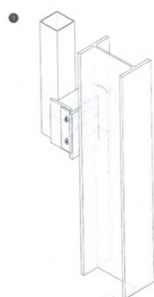
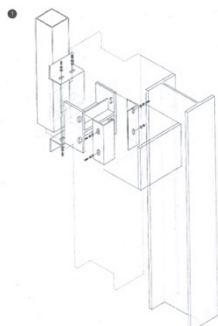


Ilustración 42: Nudo entre la cubierta y soporte de fachada (cangrejo).

La fachada de la caja mágica es el resultado de un largo proceso de investigación sobre la versatilidad del uso de las mallas metálicas llevado a cabo por Perrault. Los primeros modelos se iniciaron con la instalación del modelo “escale” en la Biblioteca Nacional de Francia (1996) donde el tejido metálico ya fue usado como elemento de cubrición de las escaleras de emergencia de las cuatro torres. A raíz de varios concursos y proyectos terminó siendo un cerramiento “total”. Las principales diferencias entre el proyecto de la caja mágica con cualquier otro hecho antes por el arquitecto, las determinan la radicalidad expresiva de la malla como la única conformadora del volumen y sus extraordinarias dimensiones. Toda esta radicalidad trajo consigo nuevas soluciones estructurales para soportar los inmensos paños de los bastidores de cierre del recinto, que corresponden aproximadamente a una superficie de 7m de ancho por 24m de alto.

La idea inicial del proyecto de ejecución era la de colgar literalmente la malla de la cubierta, de forma que mantuviera la tensión y la posición por su propio peso, para que se tuviesen que controlar sólo las deformaciones horizontales provocadas por el viento.

Esta idea chocaba de manera directa con la otra idea generadora del proyecto, “la caja”, el hecho de que la cubierta se pudiera elevar y desplazar de manera autónoma, junto con la variable dinámica del viento, hizo que el arquitecto buscara una nueva manera de sujetar esa malla de enormes dimensiones. Se decidió anclarla en la losa de hormigón del nivel +0, de modo que se empotraran en el borde del forjado de hormigón postensado los pilares del gran bastidor que sujeta cada uno de los paños del tejido metálico.

El primer aspecto técnico que había que resolver fue el propio dimensionamiento de estos bastidores, ya que debían de ser capaces de soportar, además del peso de la malla, la acción del viento sobre ella, y contar al tiempo con la menor presencia posible. El resultado fueron unos simples montantes verticales, dispuestos cada 7,20m entre los paños de la malla y apenas unidos entre sí en horizontal.

En diversos estudios anteriores a la construcción y dimensionamiento se demostró que era necesario establecer un control de las flechas que adoptaría la malla con vientos fuertes. Se decidió colocar tensores horizontales cada 1,5m que limitaran esa posible deformación a una oscilación mucho menor, y además no provocaran riesgo de rotura por fatiga de los anclajes.

Debía tenerse en cuenta también que los cables, al deformarse, transmiten a los pilares del bastidor, de 24m de longitud, unas tensiones horizontales a lo largo de toda su altura. Con estas condiciones se obtuvo la dimensión de los bastidores: un HEB 450 de acero galvanizado y 24m de altura. El conjunto quedó unido entre



Ilustración 43: Caja Mágica de día.



Ilustración 44: Caja Mágica de  
noche.

sí en la cabeza mediante vigas armadas por chapas de 45cm de canto que sirven de cierre al marco.

Una vez establecido el sistema estructural general, se acometió la definición de los detalles de anclaje. Por un lado, estaban las orejetas, que se colocaron en cada pilar cada 1,5m para anclar los cables horizontales. Otro paso relevante era el encuentro de la losa de nivel 0, ya que al hormigonar se había dejado en su canto una placa de acero de acero en espera de los pilares. Lo más complicado de diseñar y ejecutar fue el contacto con la cubierta, ésta debía ser un punto de apoyo de los pilares para que la fachada estuviera en equilibrio. Surgió la necesidad de diseñar un elemento de fijación con dos direcciones de desplazamiento libre, pero con una tercera fija. Se trata pues de dos piezas conformadas a partir de una serie chapas colocadas perpendicularmente entre sí, dispuestas en varias capas, y con los recursos necesarios para permitir el movimiento de los distintos elementos en las dos direcciones necesarias. Las piezas quedan unidas por tornillos que se introducen en ojales rasgados para asegurar el desplazamiento, y a su vez quedan soldados a la cubierta y a los pilares.

### 5.4.2. La cubierta.

A finales de 2004, la antigua EMS (empresa municipal del suelo) público una convocatoria para la redacción del proyecto de ejecución de las obras de la cubierta de la caja mágica. Se te acabo de proponer, desde el respeto al diseño arquitectónico de Perrault, soluciones de proyecto y obra para la cubrición del complejo, que comprendiesen tanto su propia estructura como el diseño Y construcción de los mecanismos el desplazamiento Y rotación de las tres cubiertas móviles, así como los pilares que soportasen el conjunto independientemente del



Ilustración 45: Cubierta Pista central, abierta y desplazada.

resto de la Estructura. Una vez presentadas las propuestas se fijaron otras dos condiciones adicionales: que le estructura no tuviese una deformación apreciable Y que no se alterase el canto de las cubiertas móviles, lo que implica que los mecanismos para llevar Y mover la cubierta deberían incluirse dentro de dicho espesor.

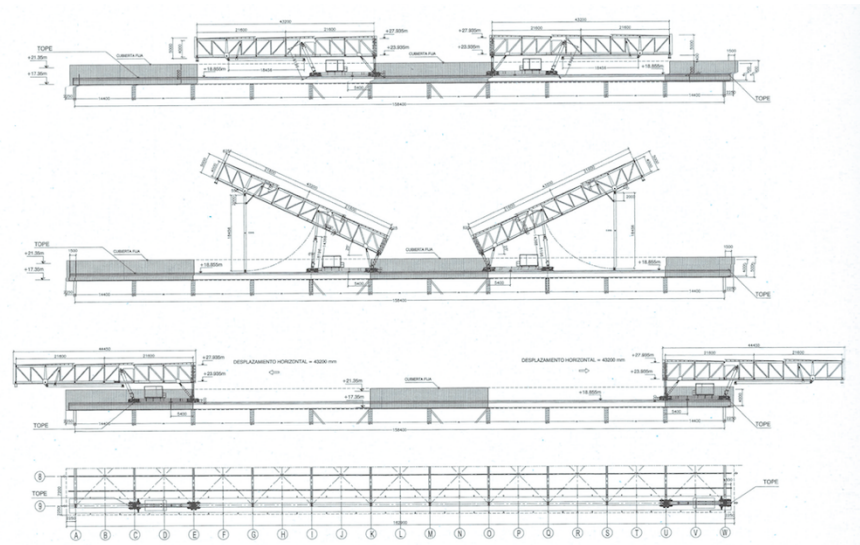


Ilustración 46: Sección cubierta principal, La Caja Mágica.

El diseño de la estructura que soporta la cubierta es relativamente complejo debido a la propia naturaleza de dicha cubierta. La Estructura deberá estar preparada para soportar las cargas de la cubierta en cualquiera de sus posiciones. Así pues, la cubierta y sus soportes forma una estructura independiente del resto de los elementos de la caja mágica. Dos conjuntos de pilares bordean el perímetro de los estadios, dejando un pequeño pasillo entre ambos recintos. Separados por una luz de 14,4 m, los pilares quedaron arriostrados en algunos paños por cruces de San Andrés para contar con la rigidez suficiente al viento Y contrarrestar los efectos provocados por el arranque y frenado de las cubiertas móviles.

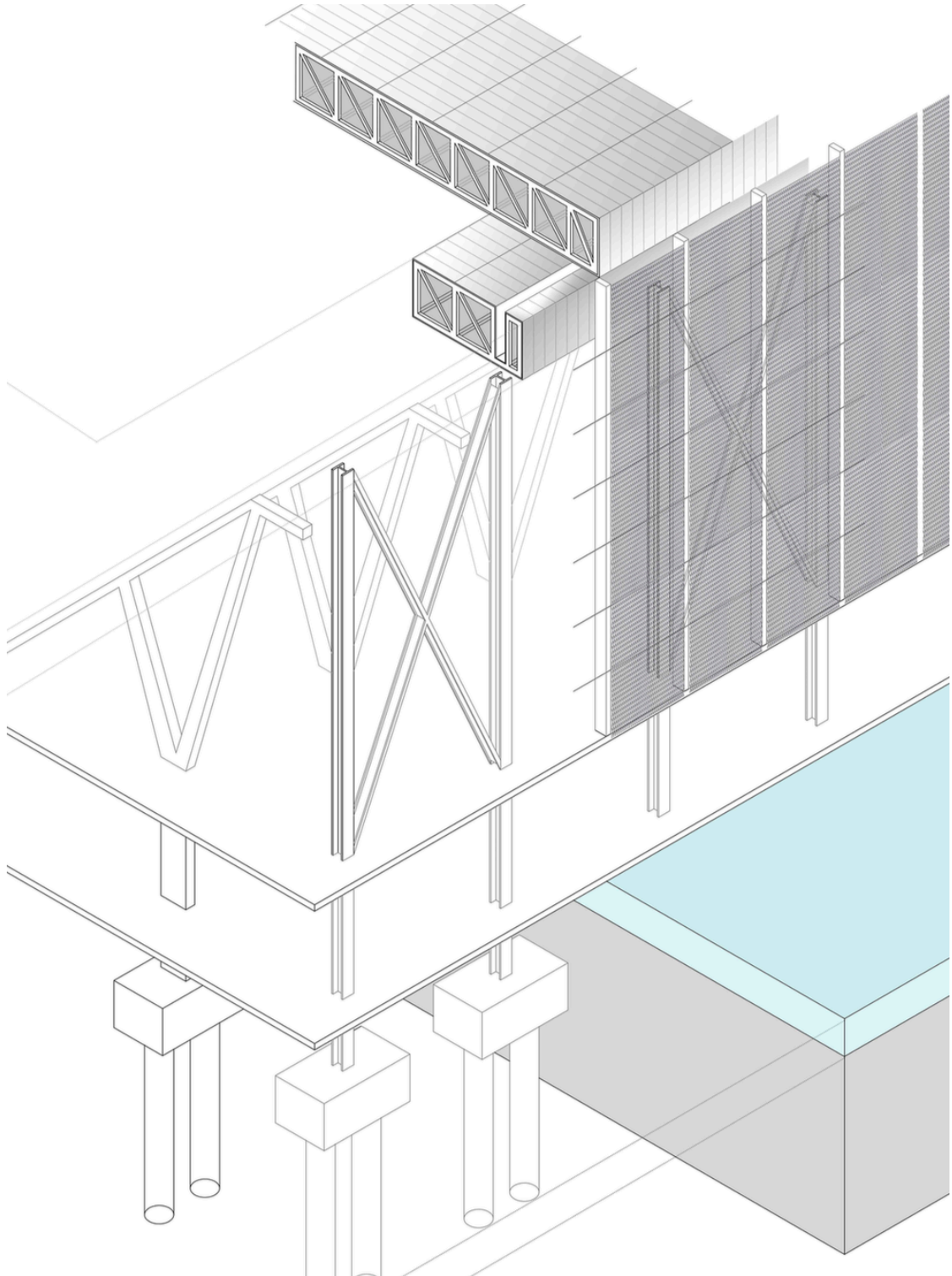
La cubierta fija de la caja mágica es una estructura convencional a base de cerchas de 4 m de canto entre ejes, que permite abrir grandes huecos sobre la superficie de cada pista. En los bordes longitudinales, unas vigas carril permite el desplazamiento de los carretones de las cubiertas móviles, que minimizan el posible ruido gracias a una solución mixta con el ala superior de hormigón.

La cubierta principal, que cubre una superficie de 105 x 73 m, permiten dos movimientos: traslación y giro. La traslación, con un recorrido máximo de 65 m, puede efectuarse en posición cerrado o girada, mientras que la rotación, de 12°, implica que la cubierta esté estacionada. Formada por grandes cerchas longitudinales de borde de 72 m de longitud, que apoyan en la estructura de los mecanismos de elevación, se sirve de una malla espacial convencional como relleno del resto de la retícula. Finalmente, una gran cercha perpendicular a las anteriores uno de los puntos de ataque de la estructura y las cerchas de borde. Los efectos térmicos pueden provocar que las ruedas de los carretones presionen con los carriles hasta impedir su movimiento, si bien, no ocasionan esfuerzos



Ilustración 47: Cubierta estadio 3 desplazada.

horizontales entre las ruedas Y los carriles. Sin embargo, los esfuerzos horizontales de viento no se reparten entre las dos alineaciones de rodadura, Sino que deben ser absorbidos por un solo carril.



*Ilustración 48: Sección Explotada.*







Las cubiertas móviles menores (de mecanismos de estructura idénticos entre sí, al ser simétricas) cuentan también con movimientos de traslación y giro. Pueden abrirse por rotación con un ángulo de  $25^\circ$ , si se encuentran cerradas, otro trasladarse sin girar, hasta las pistas de tenis quedan al descubierto. En la posición girada, una vez concluida la rotación, se despliega una barra que sirve como apoyo al extremo más alto de la cubierta. Por esta razón en el caso trasladado nuestro posible el giro, pues la barra de enclavamiento no tiene dónde apoyarse, de hecho, esta posición transmite visualmente cierta impresión de vuelco, aunque estructuralmente esté controlado gracias al hormigonado de las dos últimas alineaciones de cerchas. En cualquier caso, las dimensiones de  $44 \times 62$  m de estas cubiertas las hacen menos problemáticas que la principal. Su estructura, a base de 4 m de canto entre los ejes, determina un modelo de vigas articuladas que alcanza mayor espesor en el perímetro.

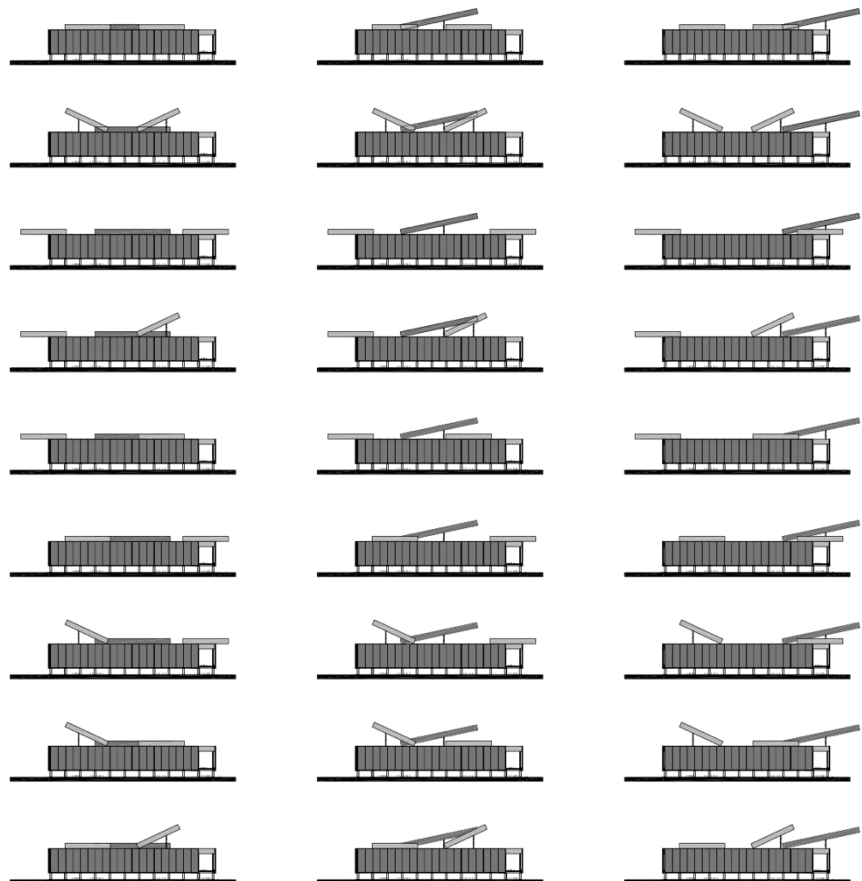


Ilustración 50: Las cubiertas de la caja mágica y sus 27 posiciones posibles.

El sistema general de mecanismos también es muy parecido al de la cubierta principal. Sus diferencias se concentran en la viga de rodadura. Como con dos carriles sobre los que ruedan los carretones, la barra de enclavamiento, que reduce la presión del aceite al cilindro de elevación, y los carretones con bogies, sobre los que actúa en un caso el cilindro de elevación, mientras que el trasero se reserva para efectuar el giro.

## EQUIPAMIENTOS DEPORTIVOS PARA EL TENIS: TECNOLOGÍA, CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD.

---

El control de la cubierta se realiza con software elaborado que señala las posibles averías, de manejo común a todas las cubiertas y ubicado en un recinto situado entre estas. Que la gente que puede provocar las mayores limitaciones funcionales es El viento . En un estudio elaborado se determinaron una velocidad máxima de resistencia de 135 km/h si están abiertas, de 99 km/h si están estacionadas, O de 65 km/h así están en movimiento.



Ilustración 51: Proceso constructivo de la cubierta.

## 5.5. SOSTENIBILIDAD.

### 5.5.1. Edificio multifuncional.

Durante mucho tiempo los estadios de cualquier tipo de disciplina se centraban únicamente en acoger los partidos de dicho deporte 1 vez por semana o, como en el caso del tenis 3 semanas en todo el año. Por esto y debido al alto coste de estas construcciones públicas se buscó con el tiempo equipamientos cada vez más polivalente, capaces de albergar diferentes deportes y eventos

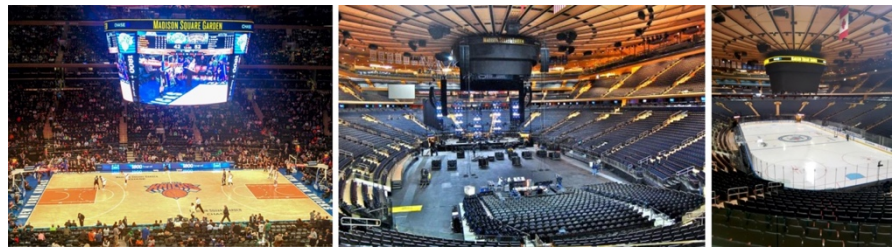


Ilustración 52: Madison Square Garden, Nueva York, durante partido de NBA, NHL y un concierto.

(conciertos, mítines electorales). Por otro lado, se plantea la posibilidad de que dentro de estos grandes complejos tengamos zonas de uso más reducido junto a otras de un uso más cotidiano. La caja mágica puede servirnos de ejemplo. En sus pistas principales han tenido lugar desde los más prestigiosos torneos de tenis, hasta partidos de la selección española de baloncesto, conciertos, en muchos casos de manera simultánea, hasta actos electorales de los partidos. Toda esta actividad realizada en su espacio principal se complementa de una manera brillante con el resto de las instalaciones del complejo donde podemos encontrar pistas de entrenamiento al aire libre y cubiertas, piscinas, y la federación de tenis de Madrid entre otros. De este modo garantizamos que el edificio esté en uso el mayor tiempo posible rentabilizando de esta manera el gasto de construcción y mantenimiento.

### 5.5.2. El lago.

El equipo de diseño ya había trabajado en el primer tramo del concurso del Parque del Río Manzanares, con lo que conocían perfectamente las necesidades del lugar. Todos los terrenos donde se iba a asentar la Caja Mágica eran una llanura de inundación muy sensible a las crecidas del río.

Cualquier actuación en esa parcela hacía necesario subir las motas de defensa del río para impedir que se inundaran por culpa del régimen de crecidas, que era de hasta 4 metros. Se decidió pues cambiar la idea inicial de Dominique de ensanchar el río y convertir el cauce en un gran meandro donde estuviera el edificio. El equipo se decanta entonces por una mota de defensa, pero se dan cuenta de que pueden tener problemas de sifonamientos. Se plantea pues un recinto estanco mediante una pantalla plástica de cemento bentonita (muy similar a lo propuesto por Dominique en la Biblioteca Nacional de Francia).



Ilustración 53: Vista aérea del conjunto de La Caja Mágica

Como se puede ver la sostenibilidad es un concepto incluido en el proyecto desde casi sus inicios, como sabemos el edificio conseguirá una certificación LEED oro en cuanto a sostenibilidad.

Esta certificación se consigue gracias a algunos elementos claros del proyecto como:

Que la parcela elegida cree ciudad, es decir, que se regenere una zona degradada. Recordemos que la caja Mágica está construida sobre un antiguo poblado chabolista y de un vertedero incontrolado de residuos.

Crear un ambiente de trabajo agradable, con sombras, también en las pistas, y el diseño de un sistema de climatización mediante recuperación energética, que contribuye notablemente al ahorro y la eficiencia.

El propio diseño de la malla de la fachada. Como la fachada retranqueada cuenta con una protección de 14 metros, nunca llega el sol directo a los espacios

de trabajo, así que las fachadas siempre están en sombra, incluso las orientadas a sur.

Se plantearon ideas como la de combinar la malla metálica de la fachada con el agua del lago, pero se terminó descartando por la incompatibilidad del tipo de agua con el material de la malla. También se habló de paneles solares, pero en un recinto de uso discontinuo no tenía ningún sentido. Se decidió montar en la parte del tenis indoor y la escuela de tenis de Madrid precisamente por lo antes mencionado.

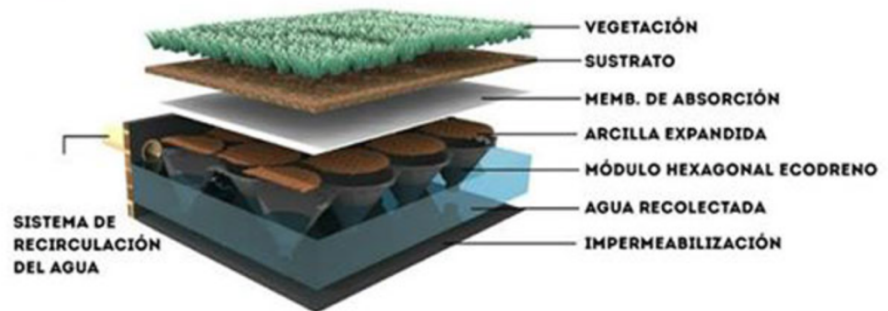


Ilustración 54: Funcionamiento de un humedal artificial.

Un punto interesante dentro de la sostenibilidad era el de la optimización del agua regenerada. Se opta entonces por la utilización de esta agua regenerada destinada al riego, ya que el lado se encuentra una planta de depuración, además de un aljibe de recuperación.

En cuanto al lago propiamente dicho se plantea un sistema de recirculación y la cascada del agua generan un mecanismo cíclico que reproduce el funcionamiento natural de un humedal. Los humedales se disponen en un extremo, en él se recoge el agua a través de un canal, que termina en una cámara de bombeo. Después el agua pasa por un filtro a base de plantas de humedal y arenas de distintas granulometrías, cuyo funcionamiento físico y químico la limpia y la depura, eliminando algas, nutrientes, fósforo y nitrógeno, que provocaría que se pusiera verde. Una vez renovada, el agua vuelve a entrar al lago por el otro extremo, asegurando esa circulación continua y recuperando, además, al pasar por la cascada, el oxígeno perdido en los estrechamientos. De esta manera se consigue que el agua esté oxigenada, limpia, circulada y sin algas, con un funcionamiento parejo al natural.







temperatura mediante unidades de tratamiento de aire en aproximadamente  $\pm 3$  grados respecto a la temperatura ambiente. En los graderíos, al estar rodeado de gente, la diferencia de temperatura que se consigue con este atemperamiento es de  $\pm 5$  grados. Para conseguir una sensación de confort real sin calentar la totalidad del aire del recinto se propuso que el atemperamiento estuviese justo debajo del asiento de manera que se climatizara la banda más cercana al espectador. El verdadero interés de esta propuesta es ofrecer al espectador una variación leve de temperatura a fin de que tuviese una sensación agradable. Ha tenido tanto éxito que se ha instalado en los estadios 2 y 3 de menor tamaño.





## 6. CONCLUSIÓN.

Las personas, la sociedad y las distintas relaciones que se generan entre ellos y los elementos que los rodean, son los grandes impulsores de los cambios en la actualidad. La arquitectura, por tanto, debe ser la mejor herramienta para dar respuesta a todas las necesidades de esta sociedad.

El trabajo fija su atención en tres elementos muy claros de la arquitectura y que afectan, en mayor o menor medida, al resultado final del edificio o equipamiento en cuestión.

La tecnología ha evolucionado a pasos agigantados en las últimas décadas. Este continuo avance ha permitido generar nuevos materiales, nuevos acabados y nuevos procesos, es decir, una nueva manera de entender la construcción y todas las técnicas que la rodean. Además, todos estos adelantos abren nuevas oportunidades para implementar y garantizar los temas sostenibles, tan de actualidad, dentro de las intervenciones. La tecnología es, finalmente, el nexo común entre las diferentes partes del trabajo.

Todas estas cuestiones tienen un impacto directo en los nuevos equipamientos. Concretamente en los que competen al tenis, han provocado un cambio radical en las instalaciones. Así pues, la arquitectura aprovecha los avances para crear: nuevas cubiertas, más ligeras y capaces de salvar mayores luces; unas superficies de juego más desarrolladas, y que mantienen sus características con independencia de factores externos; y unos graderíos más eficientes, tanto estructuralmente como garantizando la comodidad de los espectadores.

La Caja Mágica de Dominique Perrault eleva exponencialmente todos los elementos y evoluciones antes mencionados. El estudio sobre lo constructivo y los materiales culmina con esta obra del arquitecto francés en Madrid. Perrault se ayuda de la tecnología para dar soluciones a todos los problemas que surgen durante el diseño.





## 7. BIBLIOGRAFÍA.

- Rubén A. Báez, 2014, Superficies de las canchas de tenis. Recuperado de: <http://www.tennistop10.com/es/articulos/superficies.pdf>
- Infodeporte, Historia de Wimbledon. Recuperado de: <http://www.infodeportes.com/tenis/campeonato/wimbledon/historia>
- La caja mágica. Recuperado de: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/la-caja-magica>
- Arel-arte (29 de Julio de 2010), Arte y deporte: tenis y bádmtinon. Recuperado de: <http://arelarte.blogspot.com.es/2010/07/arte-y-deporte-tenis-y-badminton.html>
- Dominique Perrault, Projects. Recuperado de: <http://www.perraultarchitecture.com/en/projects/>
- <http://www.efdeportes.com/efd153/los-origenes-del-tenis-moderno-05.jpg>
- [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Wimbledon\\_Championship\\_1877.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Wimbledon_Championship_1877.jpg)
- Página principal del torneo de Wimbledon: <https://www.wimbledon-experience.com/media/35560/twe-event-guide.pdf>
- Planta del complejo de Roland Garros: [http://www.fft.fr/telecharge/16975/24837/plan\\_stade\\_grand\\_public\\_2016.pdf](http://www.fft.fr/telecharge/16975/24837/plan_stade_grand_public_2016.pdf)
- ¿Cómo funciona un humedal artificial?: <http://ecotelhado.com.co/humedal-artificial-como-funciona/>
- Centro deportivo parque del Manzanares en Madrid. Caja Mágica, Corres Peiretti, Hugo y Torrico Liz, Javier, 2008.
- La Caja Mágica, The Magic Box, Dominique Perrault Architecture, 2011.
- Trabajo final de grado de Fernando Lobato (graderíos): <https://zaguan.unizar.es/record/48278/files/TAZ-TFG-2015-3262.pdf>
- Web oficial de Madison Square Garden: <https://www.msg.com/madison-square-garden>
- Web oficial de Mutua Madrid Open (torneo de tenis de Madrid): <https://www.madrid-open.com/caja-magica/>
- Historia de Wimbledon: <https://www.thehistorypress.co.uk/articles/a-miscellaneous-history-of-wimbledon/>
- Dominique Perrault, El croquis.



- Dominique Perrault, Monografías.
- Dominique Perrault, Monografías.
- Louis Khan, Monografías.
- Conversaciones con estudiantes, Louis Khan.
- Arquitectura computacional, una conversación con Dominique Perrault.
- Accesible to all, Dominique Perrault's biblioteque nationale de France.
- La caja mágica como espacio para la experiencia sonora. TFM Sonia Carbonell.
- Relation between the artificial and natural, Dominique Perrault.
- Challenges in underground architecture for the cities of tomorrow, Interview.
- Premium Imperale in honor of prince Takamatsu, 2015.
- Palimpesto, entre el cielo y el suelo. entrevista de Alberto Peñín.
- Arquitectura: Proyecto y uso, Josep Muntañola Thornberg.
- <http://www.sportingintelligence.com/2013/06/10/tom-burrows-why-wimbledon-is-likely-to-be-served-up-free-to-air-for-years-to-come-100601/>

