

TFG 18/19

ETSAG

Los observatorios astronómicos en la arquitectura



Jesús Carmona Morales

Índice

• Abstract	3
• Introducción	4
○ Justificación y estado de la cuestión	4
○ Objetivos	4
○ Observatorios primitivos y ejemplos	4
○ Evolución de los observatorios y línea de trabajo seguida	9
○ Características generales de diseño del observatorio astronómico	10
○ Metodología y estructura	12
• Contenido y desarrollo del trabajo	
○ El IX Libro de Arquitectura de Vitruvio (s. I a.C.)	13
○ Observatorio de Marague (1259)	20
○ Observatorio Gurjani Zij, Samarcanda (1429)	24
○ Uraniborg, Isla de Hven (1576)	31
○ Stjernborg, Isla de Hven (1581)	37
○ Rundetaarn, Copenhagen (1642)	42
○ Observatorio de París (1667)	47
○ Observatorio de Greenwich (1675)	59
○ Complejos astronómicos Jantar Mantar en India (siglo XVIII)	81
○ Real Observatorio de Madrid (1790)	96
○ Real Instituto y Observatorio de la Armada (1797)	112
○ Observatorio de Púlkovo, San Petersburgo (1839)	120
○ Observatorio Astrofísico de Potsdam (1874)	130
○ Observatorio Lick, San Jose (1887)	143
○ Observatorio Yerkes, Williams Bay (1897)	149
○ Observatorio Griffith (1935)	154
○ Galáctica. C. de difusión y práctica de la astronomía, Teruel (2019)	164
• Anexo: El Planetario	
○ El planetario, el espectáculo astronómico del gran público	A.2
○ Exposición Universal de París de 1900	A.9
○ Hayden Planetarium , Nueva York (1935)	A.17
○ Planetario Galileo Galilei, Buenos Aires (1967)	A.22
○ Cité des sciences et de l'industrie, París (1986)	A.27
○ Complejo ESO Supernova, Garching (2013)	A.35
○ Infoversum, Groningen (2014)	A.40
• Conclusiones	
• Bibliografía	

Abstract

La observación del cielo ha sido una ocupación humana en todas las épocas y culturas. La astronomía ha producido para su estudio herramientas, técnicas y también lugares, los observatorios astronómicos. Aunque siempre han existido, han llegado hasta nosotros pocos vestigios de la observación astronómica en la antigüedad. Partiendo de los restos arqueológicos más antiguos y enlazando con los observatorios astronómicos mejor conservados se realizó un recorrido por la evolución de estos lugares construidos para la contemplación, medición y estudio de los fenómenos del universo.

En este recorrido se vio la evolución de los espacios dedicados a la observación astronómica, su adecuación a las técnicas, teorías y herramientas a lo largo de los siglos. Se buscó el origen de su construcción, razón de ser y promotores, el uso que han tenido y evolución mientras estuvieron en funcionamiento.

En el presente trabajo se apreció cómo los astrónomos han ido moldeando y exigiendo en cada momento unas características para los espacios arquitectónicos que han necesitado los observatorios, y cómo la arquitectura ha respondido a estas necesidades con nuevos espacios o incluso en la readecuación de espacios ya existentes. Se analizó cómo las técnicas constructivas han respondido a las exigencias técnicas de los instrumentos cada vez más grandes, pesados o sensibles, los han albergado en espacios protegidos del viento, el movimiento parásito mediante cubiertas, torres o cúpulas móviles. Adicionalmente se vio cómo la contaminación lumínica ha ido exigiendo para los observatorios astronómicos de nuevas localizaciones alejadas cada vez más de núcleos urbanos, esto ha motivado que los viejos observatorios hayan reinventado sus espacios para las actividades de divulgación y museística, en la que aparece un nuevo espacio directamente relacionado con la arquitectura y la astronomía en el siglo XX, el planetario al que se dedicó un anexo con similar estructura.

Introducción

"La arquitectura es el juego sabio, correcto y magnífico de los volúmenes bajo la luz (...)"

Le Corbusier (1920)

Justificación y estado de la cuestión

Trayendo con esta cita a Le Corbusier quiero señalar el elemento en torno al cual se han construido y se construyen todos los observatorios del mundo, la luz. Sea esta visible al ojo humano o invisible cualquier luz que provenga del universo será objeto del análisis de un observatorio astronómico. El estudio de su movimiento, inclinación, evolución o cadencia ha producido los diferentes modelos del universo a través de la observación diligente y la interpretación de lo observado. Sea la común luz del Sol, como la de la Luna, las estrellas o los objetos del espacio profundo, la luz es el fin de la astronomía y el lugar utilizado para su estudio los observatorios. Si "la arquitectura sin luz, no es tal arquitectura", los observatorios son los lugares de estudio del elemento que da sentido a la arquitectura, siendo en sí mismo arquitectura que merece su estudio.

Objetivos

En el presente trabajo se desarrollará el estudio del observatorio astronómico enfocado a la disciplina de la arquitectura. Se estudiarán los espacios utilizados a lo largo de la historia, para el desarrollo de la observación astronómica, sus características específicas y la evolución de estos espacios conforme la tecnología y los modelos astronómicos fueron cambiando.

No está demás partir entonces de una pequeña definición que nos sirva de punto inicial acerca de este tema. Un observatorio es el lugar desde donde se realizan observaciones, en el caso de la astronomía es el lugar dedicado a la observación del cielo y los fenómenos del universo; serán necesarias por tanto las condiciones del lugar para esta actividad. Esta observación puede tener diferentes finalidades como la obtención de datos, la medición de diferentes acontecimientos, la divulgación del conocimiento, el cumplimiento de algunos ritos o simplemente la contemplación del cielo. Los espacios estarán adecuados a los fines del observatorio y los instrumentos necesarios para este fin.

La observación del cielo es una constante humana desde el inicio de esta misma condición. Todas las culturas han mirado al cielo y han extraído de éste: asombro, mitología, conocimiento, inspiración o simplemente una mayor curiosidad. Los ritmos diurnos y nocturnos y su cambio a lo largo del año han sido un reloj que ha organizado las actividades humanas a corto y largo plazo. Como no podía ser de otro modo en cuanto esto ha sido parte del conocimiento de las culturas ha tenido su traducción en todas las producciones de éstas a nivel social, económico, literario, artístico, ... La arquitectura no está exenta de la intervención de la astronomía en el legado de todas las civilizaciones y culturas.

Observatorios primitivos y ejemplos de observación astronómica aislada en la arquitectura

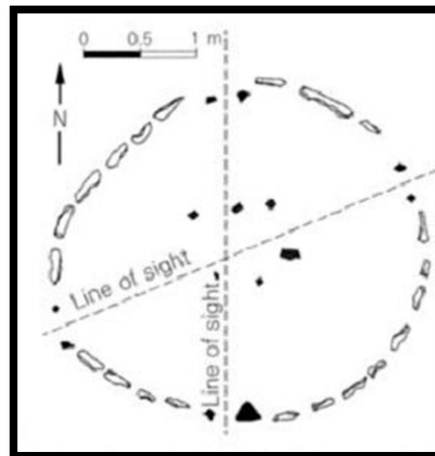
Jesús Carmona Morales

Es posible que la astronomía esté en el origen de casi todas las acciones humanas. La contemplación por los humanos primitivos de los fenómenos del día y la noche, lo inalcanzable de las estrellas o el poder del Sol, rindió a las primeras civilizaciones a estos hechos, así como ordenó sus vidas en ciclos nocturnos y diurnos, de cosecha y recogida, de frío y calor y de lluvias y sequías. Estos eventos motivaron la curiosidad humana e instigaron su estudio. No es de extrañar que el hecho religioso de todas las culturas situó en la bóveda celeste a sus dioses, héroes, monstruos y epopeyas.

Mircea Eliade parte de la observación del cielo para los hechos fundacionales del mundo, de la sociedad e incluso de la casa del hombre: un poste señala el centro del mundo, más allá está lo desconocido, un palo ordena el mundo en cerca, lejos, Norte, Sur, Este y Oeste. Ese mismo poste es un gnomon que mide el día y las estaciones con la sombra que el Sol proyecta. En las primitivas viviendas el poste central de la estructura es el centro del universo, el hogar, y sostiene el techo, el cielo. Ese poste es el eje de la Tierra bajo el que giran las estrellas, es también la espina dorsal de la noche en la Vía Láctea, que se levanta hacia la morada de los dioses y es el punto de referencia para la observación del mundo y del universo. En ocasiones el óculo central de la tienda primitiva por donde se eleva el humo de la hoguera es la puerta hacia los cielos y el camino hacia estos.

Los lugares de observación astronómica más antiguos en buen estado de conservación son muy escasos; de aquellos en los que se presuponen conocimientos astronómicos profundos quedan sólo evidencias circunstanciales, es cierto que en algunos casos muy claras, pero no hay casi en ningún caso registros del uso de los observatorios o textos que detallen su finalidad. En los casos en los que el diseño tiene una clara relación con la observación astronómica, es posible atribuir conocimientos precisos sobre el movimiento del cielo y su observación a sus constructores.

Los asentamiento de Nabta Playa, en el desierto de Nubia, se produjeron en torno al décimo milenio a. C. Esta cultura poseía un alto nivel organizativo a nivel agrícola y ganadero aprovechando la gran pluviosidad de la zona. A nivel arqueológico encontramos un pequeño crómlech en torno al final del sexto milenio a.C., constituido por una serie de piedras dispuestas en óvalo y caracterizadas en el eje Norte-Sur y hacia el orto helíaco (primer avistamiento de un astro en el horizonte justo antes de la salida del Sol) seguramente de la estrella Sirius. El Antiguo Egipto posteriormente ordenaría diferentes acontecimientos por el orto helíaco de esta estrella y de otra treintena de estrellas, llamadas decanas. El crómlech de Nabta Playa es, a pequeña escala, un observatorio astronómico y un calendario/reloj estacional.



Crómlech de Nabta Playa y esquema orientado de la disposición de las piedras "puerta" de observación.

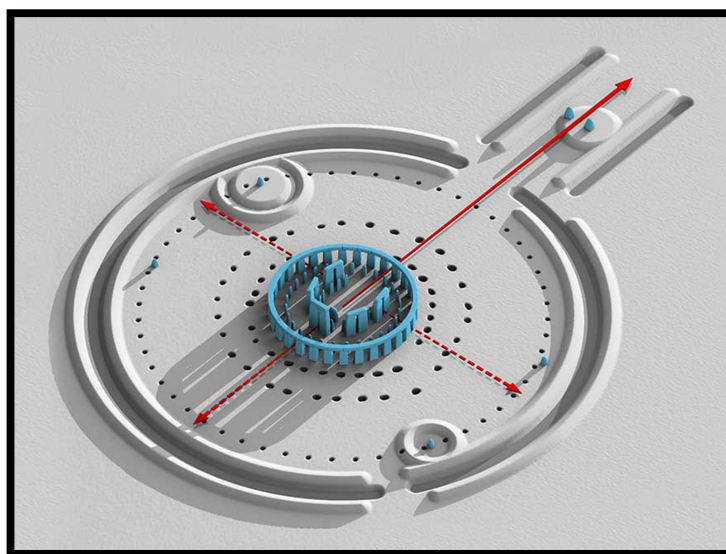
Jesús Carmona Morales

La divinización de los elementos del cielo ha intervenido en el diseño de templos y rituales que han ordenado el año trópico, las estaciones y la liturgia correspondiente. En Mesopotamia encontramos el culto a Sin/Nanna (la Luna), Shamash (el Sol) e Ishtar (Venus, el planeta; aunque esta deidad comparte los atributos de diosa de la belleza y el amor con la deidad romana), a los que están dedicados diferentes estelas, poemas y templos. El Zigurat de Ur, cerca de Nasiriya, del siglo XXI a.C., estaba dedicado la Luna. Su alineación principal no es fortuita, sino que su rampa de acceso y alzado principal se disponen a casi 68° desde el Norte, coincidentes con el orto más septentrional del año, es decir, el Solsticio de Verano.



Alzado principal del Zigurat de Ur y vista satélite marcando, el orto solar (en verde) y el ocaso (en rojo) durante el Solsticio de Verano.

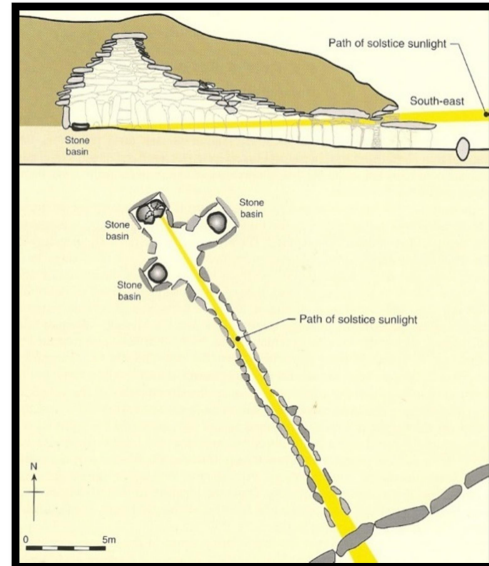
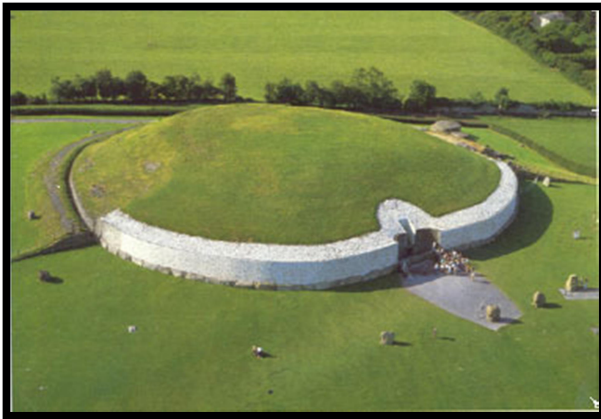
El ejemplo más recurrente en cuanto a observatorio astronómico de la antigüedad es casi sin duda el conjunto megalítico de Stonehenge, en el condado de Wiltshire en Inglaterra, tal vez por una buena combinación de promoción y cierto misterio de muchas de sus facetas. Stonehenge posee multitud de capas arqueológicas, las más antiguas datan del 3100 a.C., desde los más sencillos círculos de piedras, a los diferentes altares megalíticos o los enterramientos excavados por todo el emplazamiento, sin que haya claras referencias a su uso y ritos. Sin embargo una de sus características más notables es la alineación del altar principal con el orto del Solsticio de Verano.



Esquema virtual del complejo de Stonehenge con las alineaciones básicas conocidas.

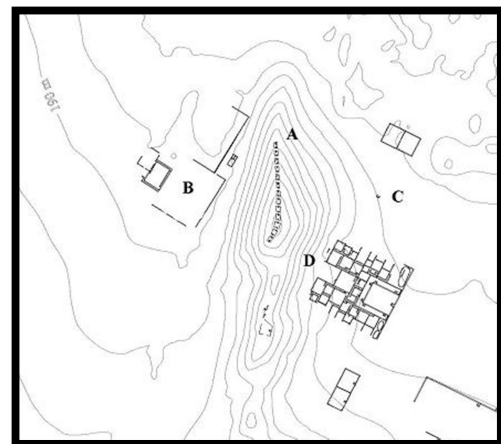
Jesús Carmona Morales

Más desconocido, anterior en el tiempo y no demasiado distante geográficamente es el túmulo de Newgrange, en Irlanda. Este túmulo es 1000 años anterior a las fases principales de Stonehenge, y casi 400 años anterior a las grandes pirámides de Giza (que también poseen una alineación cardinal perfecta). En Newgrange la característica principal de esta galería de enterramientos es su orientación al Solsticio en este caso de invierno, menos común, produciéndose en el día más corto del año la iluminación al amanecer de toda la longitud de la galería durante unos minutos.



Vista aérea del Túmulo de Newgrange en el condado de Meath y sección y planta con los rayos solares en el Solsticio invernal.

En América el que sería el observatorio astronómico más antiguo del continente se conserva gracias a sus dimensiones y en parte al abandono y el olvido. El cerro del Chankillo y las estructuras asociadas a este se encuentran en Perú, datan de cerca del siglo IV a.C., y consiste en un observatorio solar que utiliza la referencia de una pequeña colina sobre la que se sitúan trece torres. Desde el templo situado al Oeste, el sacerdote/astrónomo observaría la salida del Sol por cada uno de los espacios entre las torres, o por uno u otro extremo del conjunto en los Solsticios, para determinar el momento del año y organizar las cosechas, el ganado y los ritos religiosos y sociales; de modo civil se ha constatado que los ocasos serían observados desde otro punto al Este con fines similares.



Cerro del Chankillo con las trece torres. Plano de la situación y restos arqueológicos asociados: A) cerro con las trece torres, B) Observatorio Oeste, C) Observatorio Este, D) Centro administrativo.

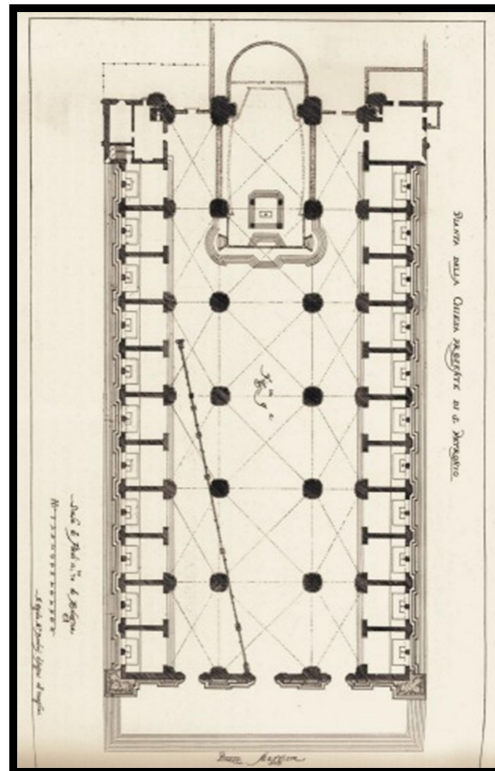
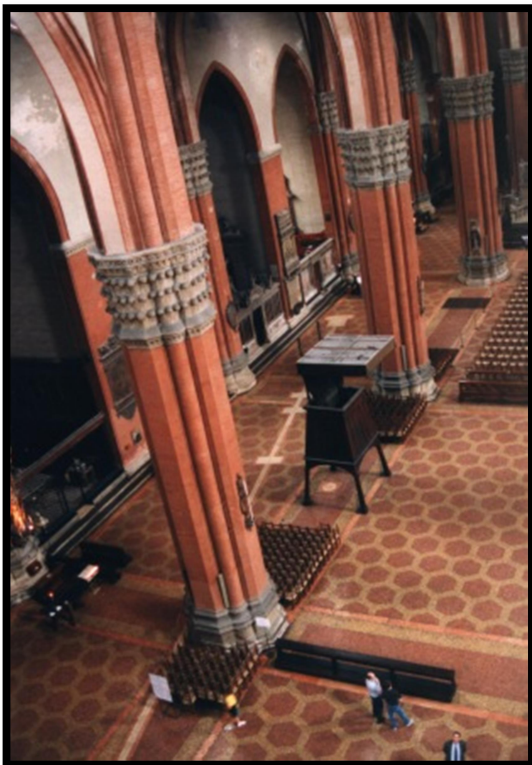
Jesús Carmona Morales

Respecto a Roma reservamos un capítulo expreso con un análisis del noveno libro de Vitruvio centrado en la astronomía y la observación del Sol y demás astros.

Más cercano en el tiempo señalamos un instrumento astronómico de medición integrado totalmente en la arquitectura y la geometría de la misma, instalado generalmente en templos, la meridiana. Este tipo de relojes anuales está basado en principios ya tratados por Vitruvio y de gnomónica básica. Consiste en una abertura dispuesta para que deje pasar únicamente los rayos solares del mediodía, en la culminación del Sol en el Sur. La proyección de estos rayos variará su inclinación de día en día según la geometría del analema solar, permitiendo conocer la época del año.

El hecho de que aparezca principalmente en iglesias es debido a que estas construcciones histórica y estadísticamente han permanecido inalteradas. Tradicionalmente se comenta que la única meridiana no diseñada para un templo fue la del observatorio de París, pero no es cierto. Giovanni Domenico Cassini se ganó el puesto de director en el observatorio de París por su trabajo en el diseño de la meridiana de San Petronio en Bologna en 1655; Cassini repitió posteriormente este artificio en el observatorio parisino. La meridiana de Bologna posee una maestría de cálculo soberbia. Alcanza una longitud de 66 metros, para lo cual fue necesario encontrar el mayor eje Norte-Sur dentro del templo en la tangente de dos columnas con el fin de mostrar siempre sobre el plano horizontal la evolución de la proyección del sol durante la totalidad del año.

Otros templos con meridianas son Santa María degli Angeli e dei Martiri (Roma), Santa Maria del Fiore (Florencia), Monasterio del Escorial, Palacio del Buen Retiro (Madrid), iglesia de San Sulpicio (París).



Meridiana de San Petronio en Bologna, vista superior y encaje en la planta de la basilica: la línea muestra el eje Norte-Sur y por tanto la culminación del Sol cada mediodía, las marcas dan información del día del año.

Evolución de los observatorios y línea de trabajo seguida.

La medición del cielo ha estado siempre asociada a los propios instrumentos de medición, en ocasiones estos han sido comúnmente de pequeño tamaño sin especial intervención en los espacios donde se usaran; el sextante, la esfera armilar, la ballestilla, el astrolabio y la azafea mientras no han sido contruidos de un tamaño relevante y se han fijado de un modo permanente para su uso no han tenido una intervención directa en los espacios de la arquitectura. Es por tanto en una confluencia de este hecho y la fortuna que han sufrido los observatorios para llegar de alguna forma hasta la actualidad la que da inicio a una línea cronológica continua y argumental de este estudio que enlazará con el presente.



De izquierda a derecha: la esfera armilar, uso de la ballestilla, astrolabio y azafea.

Salvo algún ejemplo de los vistos anteriormente no han llegado hasta nuestros días muchos de los observatorios de la antigüedad, salvo ejemplos como los comentados anteriormente. Empezamos el corrido por los observatorios que, aunque conservados a nivel arqueológico, cuentan con numerosas referencias históricas a través de crónicas de los propios usuarios que los conocieron en funcionamiento, como es el caso de Marague y Gurgani Zij. En estos observatorios de los siglos XIII y XV la búsqueda de mediciones celestes de precisión no realizada previamente, a través de aplicaciones a gran escala de los instrumentos y principios astronómicos clásicos, forzó el diseño directo de los espacios a tal fin. Son además una base para los complejos astronómicos de la India de mitad del siglo XVIII.

Es posteriormente en la Europa del siglo XVI cuando la necesidad de crear espacios para la astronomía nunca antes realizados puso en el papel de arquitecto a los propios astrónomos. Se diseñaron construcciones que en ocasiones sirvieron de ensayo-error para las necesidades básicas para el uso de los instrumentos, la toma de datos y su procesado y estudio. Uraniborg y Stjernborg en concreto sentaron las bases de muchos de estos aspectos. Curiosamente en estos observatorios no aparecerá el instrumento de observación asociado tradicionalmente con la astronomía, el telescopio, ya que su invención, uso y desarrollo será posterior.

Con la necesidad de una navegación ultramar más precisa y segura nace el observatorio astronómico de la Edad Moderna, con esta característica común en diferentes naciones. Por tanto serán instituciones promovidas por las propias monarquías; los observatorios de París y Greenwich son contemporáneos y de grandes similitudes en este aspecto. En España el Real Observatorio de Madrid y de la Armada en San Fernando serán los exponentes de la corona española. Será interesante en estos observatorios estudiar su evolución con el desarrollo de las técnicas de

Jesús Carmona Morales

observación así como las diferentes empresas que cada nación emprendió en el estudio del cielo. Veremos posteriormente como el destino final que muchas de estas instituciones ha sufrido es el de museo y atracción turística con una anecdótica actividad observacional.

En el siglo XIX, además de la aparición de una nueva rama de estudio, la de la espectrografía del Sol y las estrellas, que redefinirá los espacios de observación, encontraremos una especialización técnica de los observatorios, realizándose detalles constructivos pensados exclusivamente para la estabilidad y precisión de los instrumentos.

Hacia el final del siglo XIX la iniciativa fundacional de los observatorios cambiará de manos creando un nuevo tipo de relación entre las entidades de investigación, como las universidades y las donaciones de fortunas privadas de carácter filantrópico, así como una carrera por la ostentación del mayor telescopio jamás construido, como veremos en los observatorios de Lick y Yerkes.

La llegada del siglo XX apostará por una apertura de la astronomía, hasta el momento reservada a unos cuantos privilegiados, al gran público, apareciendo un nuevo espacio surgido de la mezcla del observatorio astronómico y el local de espectáculos o las atracciones de feria. Esto se consolidará en el planetario al que dejamos unas líneas de estudio general propias más adelante, además de los ejemplos seleccionados.

Finalmente cerramos con un proyecto recién inaugurado que abre una nueva posible tipología. Durante el siglo XX y XXI hemos podido ver cómo los planetarios acababan envueltos por museos de más amplio abarque que la astronomía promovidos por diferentes instituciones (gubernamentales, filantrópicas, universidades e incluso agencias de exploración espacial), en esta nuevo proyecto se unen la divulgación y la astronomía amateur y profesional para crear espacios donde se den cita diferentes colectivos en torno a la temática de la observación estelar. El proyecto Galáctica al que nos referimos, ofrece accesibilidad a equipos de alta tecnología, espacios preparados para la observación con y sin instrumentación, y lugares de encuentro para la divulgación científica.

Características generales de diseño del observatorio astronómico.

Las necesidades para la realización de observaciones astronómicas de un modo permanente exige la contemplación de una serie de parámetros relacionados con la propia actividad. Se exponen a continuación los parámetros más importantes que son comunes a la mayoría de los observatorios.

Localización terrestre

El emplazamiento general de un telescopio limitará sus posibilidades de observar unas zonas u otras del cielo (hemisferio Norte y hemisferio Sur por ejemplo), así como limitará la observación de los objetos que, aun siendo visibles, su culminación quede muy cercana al horizonte local; siendo por tanto observados a través de gruesas turbulencias atmosféricas.

La altitud del emplazamiento de un observatorio determina la mejora de las condiciones de observación, la mayor altura de los observatorios aclara la atmósfera, las capas superiores de aire están menos sujetas a corrientes convectivas y el régimen de circulación del aire es laminar, lo que evita efectos de deformación óptica del aire; esta cualidad mejora sensiblemente en direcciones de observación cercanas al cénit. Como apoyo estas localizaciones a grandes alturas, generalmente la temperatura media cae por lo que la capacidad del aire para contener humedad es muy baja, lo que mejora la calidad de las observaciones.

Alineación

Esta característica ha sido más crucial en los primeros observatorios, la alineación de las principales geometrías del edificio con los puntos cardinales ha simplificado la toma de referencias y el origen de coordenadas pero principalmente la localización del mediodía. En el caso de Uraniborg, Brahe dispuso no solo la orientación del castillo en un eje Norte-Sur, sino que las geometrías del jardín pretendían un “favorecimiento” de los planetas; obviamente a esto último no nos referimos.

En Greenwich, la desalineación del Octagon Room en Flamsteed House trajo de cabeza a los astrónomos reales. El eje Norte-Sur será constante en muchos de los observatorios, especialmente en donde estén situados los instrumentos de tránsito o meridianos. Con la adopción de torres circulares y las cúpulas móviles y por otro lado las monturas ecuatoriales, que están alienadas con el eje terrestre hizo desaparecer esta característica hasta un nivel más tradicional por otra razón.

Condiciones climatológicas

La mayor cantidad de horas anuales de Sol, así como la menor humedad relativa serán condiciones favorables para el funcionamiento. Esta circunstancia ha hecho que países o zonas del mundo con peores horas de soleamiento se desplacen o colaboren con otras zonas del mundo; este es el caso del Centro Astronómico Hispano Alemán, en Calar Alto, o el European Southern Observatory, donde Europa ha desplazado sus equipos al hemisferio Sur para observación de otras zonas del cielo no visibles desde el continente, pero también para ganar en horas de observación frente a las disponibles en la Europa continental.

Factores humanos

La actividad humana condiciona el aprovechamiento y correcto funcionamiento de las instalaciones de un observatorio astronómico. La contaminación atmosférica por combustibles fósiles partículas en suspensión, pero principalmente la contaminación lumínica unida a los anteriores son factores que perturban las actividades de observación del cielo nocturno.

En la antigüedad las actividades humanas no limitaban el trabajo de los observatorios, prueba de ello es la presencia de algunos de los más importantes observatorios de la Edad Moderna en el corazón de grandes ciudades que ya lo eran en el momento de su construcción (Observatorio de París y Observatorio de Greenwich), sin embargo la llegada de la luz eléctrica ha iluminado las ciudades en competición con las luces naturales nocturnas de modo que es una condición crucial el apartamiento de los observatorios no ya de los núcleos de población grandes y medios, si no de cualquier núcleo urbano.

En tiempos recientes la proliferación de sistemas de iluminación LED, y especialmente los LED con componente azul, han empeorado notablemente la oscuridad del cielo natural nocturno, hasta tal punto que la iluminación de ciudades como Madrid es distinguible desde 800 kilómetros de distancia o más (la iluminación de Madrid es visible desde los Pirineos).

En la actualidad la gran mayoría de los principales observatorios astronómicos han sido construidos en lugares remotos como desiertos, picos montañosos o islas en medio del océano para evitar el perjuicio de la cercanía de actividades urbanas.



Observatorio óptico de Sierra Nevada con el cielo iluminado por la ciudad de Granada y alrededores. Albert Einstein expresó a colegas de su época que la reclusión asociada a farero sería la ocupación deseable para un científico puesto que le permitiría el aislamiento y la contemplación necesaria para el desempeño de sus propósitos, hoy en día el relegamiento de los observatorios ha dado la cualidad de ermitaños a muchos astrónomos; aunque por fortuna la automatización y el manejo remoto de las instalaciones permite paliar estas circunstancias.

Metodología y estructura

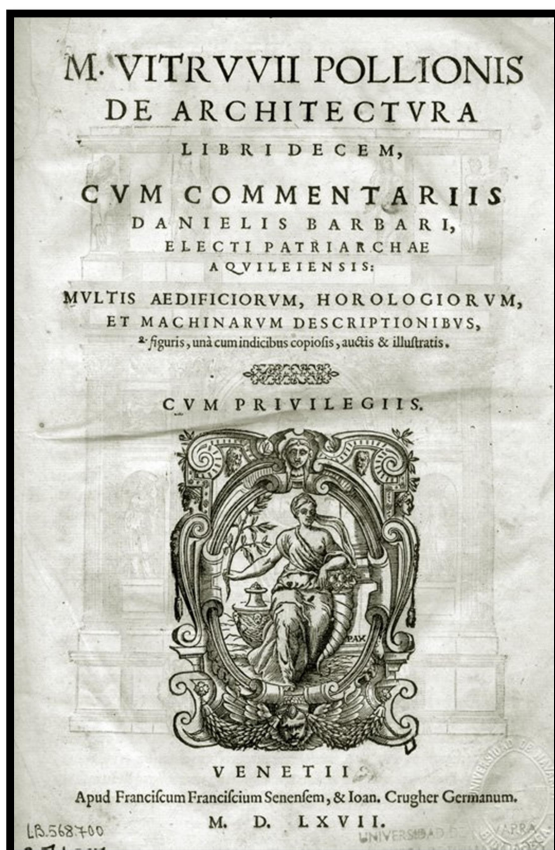
Para los observatorios y planetarios tratados se ha procedido en general de la misma forma, siguiendo una línea cronológica de contenidos que trata los siguientes puntos:

- Razón y promotor del proyecto en cuestión: origen, motivación e impulsores, así como una mirada al momento histórico en sus inicios.
- Autor, desarrollo del diseño y el proceso de construcción, siguiendo de cerca el sistema constructivo, los materiales utilizados y el estilo.
- Espacios y equipamiento del complejo.
- Evolución en el tiempo, considerando las incorporaciones y transformaciones.
- Estado actual.

Durante el desarrollo del trabajo fue claro que un nuevo espacio surgía en el siglo XX, el planetario, relacionado con el estudio principal que merecía un estudio paralelo para lo que se desarrolló un anexo que contribuyera al contenido del trabajo. En las conclusiones se entrelazan los resultados de ambos recorridos.

El IX Libro de Arquitectura de Vitruvio (s. I a. de C.)

Como uno de los documentos y tratados científicos centrados en la arquitectura más antiguo y escrito por un arquitecto no podemos pasar por alto el comentar brevemente las observaciones respecto a la astronomía de Vitruvio en su libro “De architectura libri decem”, escrito cerca del final de sus días y retirado de la profesión como medio de subsistencia gracias a un mecenazgo del emperador Augusto.



Portada de una edición del *De Architectura* del siglo XVI.

Introducción reivindicativa

La introducción del libro noveno es una reivindicación por los “escritores” entendidos como científicos, en el siglo I antes de Cristo esto era extensible a pensadores y filósofos. Vitruvio lo enfoca de una forma muy concreta, comparando el inmerecido y exagerado respeto que se profesaba en la antigua Grecia (y seguramente en su propia época) a atletas, cuyos logros eran meramente personales y volátiles en el tiempo, frente a los beneficios que para cercanos y lejanos habían tenido los trabajos de Pitágoras, Demócrito, Platón y Aristóteles.

Tras la loa a los sabios del pasado y su gran beneficio en la actualidad Vitruvio explica al emperador su disposición a hablarle de los descubrimientos de estos en relación con los rayos del

Marco Vitruvio Polión (80-70 a. C. - 15 a. C.) dedicó uno de sus diez libros sobre arquitectura a la descripción del Universo y a la construcción de relojes de Sol. Vitruvio entendió incluir esta sección dentro de los libros como un punto de conocimiento dentro de la ciencia en general no estando directamente relacionada con la arquitectura, aunque había ya tratado muy brevemente en el capítulo quinto del libro cuarto sobre la orientación de los templos a los puntos cardinales. Siendo el noveno de diez no es de extrañar que el décimo ocupe un lugar todavía más colateral relacionado con la arquitectura al dedicarse a aspectos más relacionados con la ingeniería actual y con las máquinas de guerra. Sin embargo, sí es cierto que desde el capítulo primero del libro primero Vitruvio apuesta porque el arquitecto sea conocedor de cuantas más disciplinas sea posible.

Jesús Carmona Morales

Sol, la naturaleza del Universo y la gnomónica. En definitiva Vitruvio hablará de astronomía y la observación de esta, principalmente del Sol en los relojes, así como del movimiento de los cielos.

Las introducciones cada libro son un espacio de divagación muy personal de Vitruvio, sobre todo en los últimos volúmenes donde se aprecia una sensación de finalización de la obra. También son fuente de información cotidiana de la época, por ejemplo, en el libro décimo la introducción versa en parte sobre los honorarios del arquitecto y las fianzas que debe depositar para su trabajo, aunque temáticamente el décimo libro, como hemos comentado, se centra en máquinas hidráulicas y bélicas.

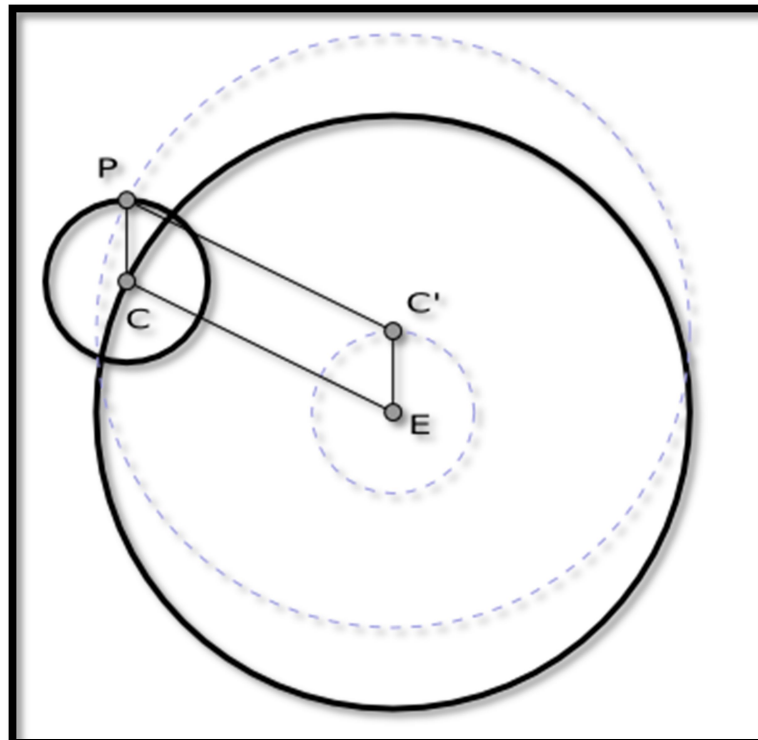
El libro de astronomía de Vitruvio en De Architectura

El libro noveno del De Architectura consta de ocho capítulos de muy diferente extensión; Vitruvio dedica estos capítulos a la descripción del cielo y su movimiento, así como de la cosmología vigente en la época, para centrarse en los últimos en aspectos más prácticos como las sombras proyectadas en diferentes localizaciones de la Tierra y el dibujo y diseño de relojes.

Como ocurre con muchos clásicos de la Antigüedad Greco-Romana no poseemos un manuscrito o copia directa del original, en muchas ocasiones existen copias de libros dentro de otros libros apoyándose el autor novel en el más veterano, o bien comentarios de un autor a otro autor. Vitruvio es parte de esta tradición referenciada a la hora de narrar la estructura del universo.

El primer capítulo del libro noveno se centra en la descripción de movimiento del Sol y los planetas y el curioso fenómeno de las diferentes sombras de un gnomon según cada ciudad en el mismo día del año. Se describe la estructura del Universo basándose en un sistema geocéntrico, en el que la bóveda celeste gira en torno a la Tierra y se oculta bajo ella. La Tierra estaría apoyada en dos goznes sobre los que giraría el eje, uno más allá las estrellas de la Osa Mayor u otro oculto bajo la Tierra.

Es muy interesante releer con la perspectiva actual la descripción del movimiento de los planetas. Vitruvio describe la duración del año de cada planeta de forma muy exacta en cuanto a su duración velado únicamente por la visión de la Tierra en el centro de todas las órbitas; por ejemplo las descripciones de las órbitas rápidas de Mercurio y Venus, planetas por dentro de la órbita de la Tierra, siempre relacionadas con la cercanía del Sol. Por otro lado infiere que la cercanía de Marte es mayor que la de Júpiter y la de Júpiter es mayor que la de Saturno por la relación de sus movimientos. Repite el error de los epiciclos para sostener el movimiento retrógrado de los planetas en un momento de su órbita, durante la oposición de cada planeta; este error se mantuvo prácticamente hasta Copérnico, y se ajustó en las tablas astronómicas por muy diversos métodos hasta el sistema heliocéntrico y la descripción de las órbitas como elipses por Kepler.



Órbita de un planeta "P" sobre la deferente (línea continua circular centro de "E") describiendo un epiciclo sobre la línea circular continua de centro "C".

La descripción de las fases lunares ocupa el segundo de los capítulos del libro noveno. Vitruvio se basa en Beroso el Caldeo, un sacerdote babilonio del siglo III antes de Cristo que describe la Luna como un cuerpo de doble naturaleza, una casi oscura y otra luminosa. La Luna según Vitruvio citando a Beroso, sería un cuerpo esférico, con una mitad luminosa y otra oscura. Se describen procesos propios de la alquimia al explicar la tendencia del lado luminoso de la Luna a volverse siempre hacia el Sol por un efecto del calor de sus rayos, explicando así las fases de la Luna: con la Luna en el oriente mientras el Sol se pone se produce la Luna llena al mostrar su cara totalmente al Sol en el lado opuesto. La Luna nueva por tanto deja la cara oscura hacia la Tierra y la luminosa totalmente dirigida al Sol, oculta a nosotros. Sin embargo hay que resaltar que Vitruvio y Beroso coinciden en que la zona no iluminada de la Luna no es totalmente oscura, algo que hoy en día sabemos que ocurre gracias al reflejo de la luz del Sol sobre la Tierra proyectado en la zona en sombra de la Luna, lo que se conoce como "luz cenicienta".

No deja de ser una explicación sobre las fases lunares fantástica y llena de omisiones pero acorde con lo observado, que crea un modelo consistente en sus puntos principales. Vitruvio no explica o no entra en porqué si el lado luminoso gira su rostro hacia el Sol los accidentes lunares son siempre iguales vistos desde la Tierra encontrémonos en la fase que nos encontremos. Uno de los cráteres de la Luna ha sido bautizado como Vitruvius y no lejos de este un monte con el mismo nombre en honor al arquitecto y por su contribución a la astronomía.

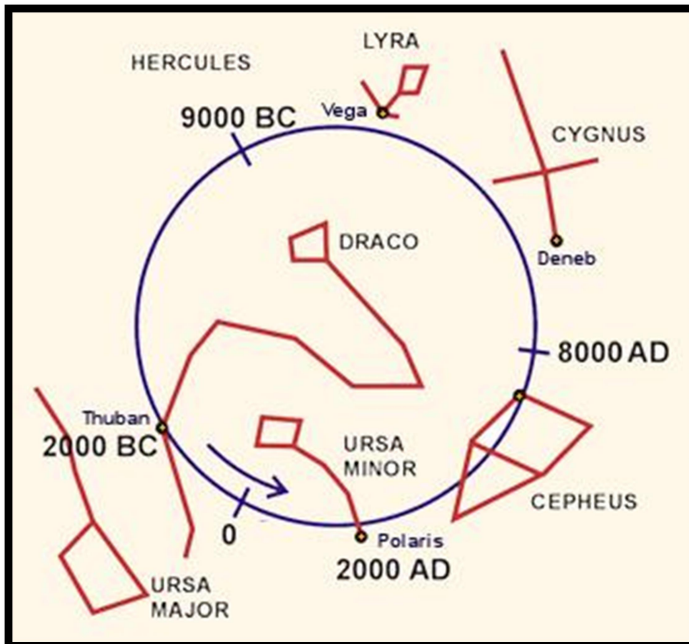


Cráter Vitruvius y Mons Vitruvius al Norte de Mare Tranquillitatis en la Luna.

La descripción de las constelaciones por parte de Vitruvio ocupa tres capítulos separados por su situación: constelaciones septentrionales, zodiacales y meridionales. Las descripciones de estrellas y asterismos de Vitruvio son referenciadas y algo vagas dentro de su literatura, no sería de extrañar que como ocurriría con los demás libros del *De Architectura*, este volumen fuera acompañado de un anexo de ilustraciones que en los casi mil quinientos años en que el libro se puso de nuevo en valor fue extraviado. Vitruvio se apoya en Claudio Ptolomeo y como este en otros muchos autores anteriores a Ptolomeo: Eratóstenes, Aristarco de Samos, Hiparco de Nicea, etc. Ptolomeo glosó en su libro “*Almagesto*” la clasificación estelar de Hiparco y Eratóstenes (en el caso de este último, el libro de Eratóstenes “*Catasterismos*” sí ha llegado a través de copias directamente hasta nuestros días).

En el tercer capítulo del libro se describe un cielo no muy desconocido: las constelaciones zodiacales. Vitruvio describe el movimiento del Sol a lo largo de estas constelaciones cerrando el anillo de la eclíptica. Para Vitruvio el Sol recorre estas constelaciones, en la actualidad sabemos que es la Tierra la que describe una órbita alrededor del Sol, haciendo que este ocupe durante el día una serie de constelaciones en orden y tiempo medidos durante el año. Aquí simplemente observamos un aspecto básico de la ciencia, la presentación de un modelo coherente con las observaciones y mediciones hasta la llegada de uno más preciso.

En el cuarto capítulo Vitruvio se centra en las estrella del Norte, aquellas que nunca se ocultan bajo la Tierra, siempre visibles sobre el horizonte, en rotación a un centro que en un momento se sugiere como “Polar” pero que difiere un tanto de la situación del Polo Norte celeste actual. Vitruvio habla de la estrella polar cerca de la cabeza de la Osa Mayor, un dato que con la perspectiva de los siglos revela una cualidad de la posición del eje de la Tierra, la precesión de los equinoccios. En nuestros días el polo Norte celeste se encuentra a poco más de medio grado de la estrella “Polaris” (α Ursa Minoris), en la cola de la Osa Menor. Las cabezas de las osas coinciden en la zona de la constelación del Dragón, que es donde Vitruvio sitúa la polar como punto de rotación de los cielos.



Precesión del eje de rotación del polo Norte celeste, en la posición 0 se encontraría el PNC en la época de Vitruvio.

El concepto de precesión ya había sido avanzado por algunos autores clásicos tras observaciones a simple vista y mediciones con instrumentos primitivos y releendo comparativamente las mediciones de autores anteriores. Ya que el movimiento de precesión de los equinoccios existe pero su avance es de tan solo 1 grado cada 71,6 años (el “año platónico”, vuelta del eje terrestre al punto inicial, es de 25.776 años). La diferencia entre del polo Norte celeste observado por Vitruvio y el que observamos en nuestros días dista unos 28º.

Finalmente Vitruvio habla sobre las constelaciones más australes desde Roma. Algunas de ellas son conocidas y visibles en totalidad o en parte, pero lo interesante del capítulo quinto es el reconocimiento de Vitruvio acerca de la existencia de más constelaciones ocultas por la Tierra desde la latitud de Roma y por tanto desconocidas, pero que efectivamente existen. Se hace referencia a la segunda estrella más brillante de la actualidad Canope (α Carinae) que no es visible desde donde el escritor hace su digresión pero que es bien conocida en Egipto.

Astrología versus Astronomía

Aunque hoy en día no pueden entenderse sino como dos disciplinas separadas y con objetivos totalmente distintos, podría decirse que opuestos, en el siglo primero antes de Cristo, astronomía y astrología eran un mismo conocimiento y de la observación que realizaría hoy en día la primera se inferirían las lecturas de la segunda. En el capítulo sexto Vitruvio entra en el tema de la astrología para desmarcarse de las predicciones que esta pudiera hacer dejando el tratado de estas a lo dicho por los Caldeos y otros autores. La creencia de la época y otras épocas no demasiado lejanas a nuestros días, por no decir todavía presentes, se centraba en el principio de la inmutabilidad del cielo, donde según algunos autores residen las ideas, puras y perfectas, o incluso los dioses. La lectura de lo que el cielo muestra es en nuestro mundo terrenal un reflejo imperfecto. De hecho cualquier cambio en la inmutabilidad del cielo (cometas, estrellas nuevas, eclipses) es una señal de mal augurio; nos hacemos eco aquí una vez más de la etimología de la palabra “desastre”, compuesta por “dis”: separación, disgregación; y “aster” del griego “astron”: estrella; refiriendo que un movimiento impropio de los astros, alejados unos de otros o en liza o en cambio, sugería cataclismos en la vida de los mortales. Del mismo modo “considerar” algo es someterlo al juicio de los cielos: “sidus-sideris” en latín.

Capítulos séptimo y octavo del libro noveno

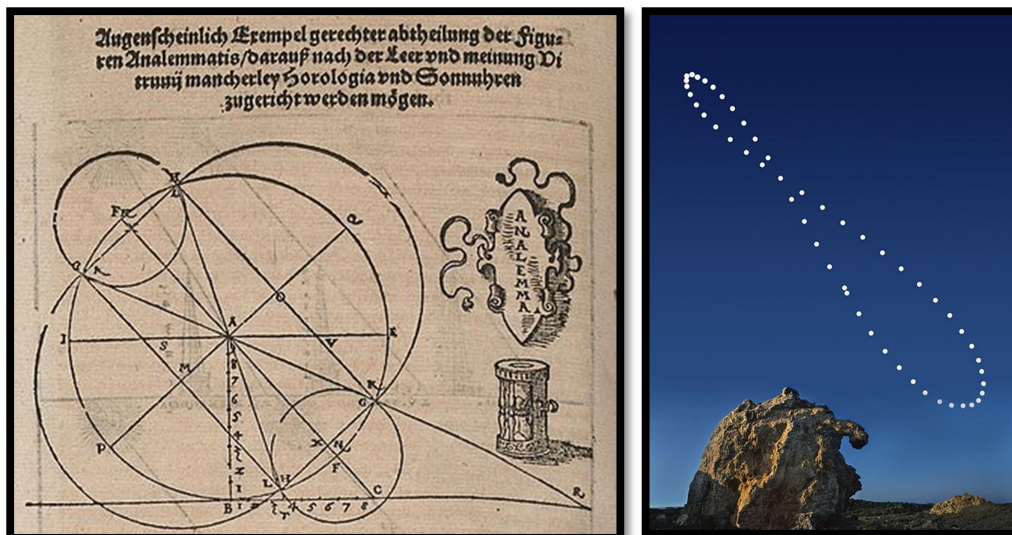
Los capítulos más relevantes para la arquitectura y para el diseño de los observatorios que sobrevendrían al cabo de los siglos son los que se refieren a la gnomónica y la construcción de

Jesús Carmona Morales

relojes, ya que se centran en una materialización de las observaciones y por tanto en una aplicación práctica más allá de las hipótesis de su causa.

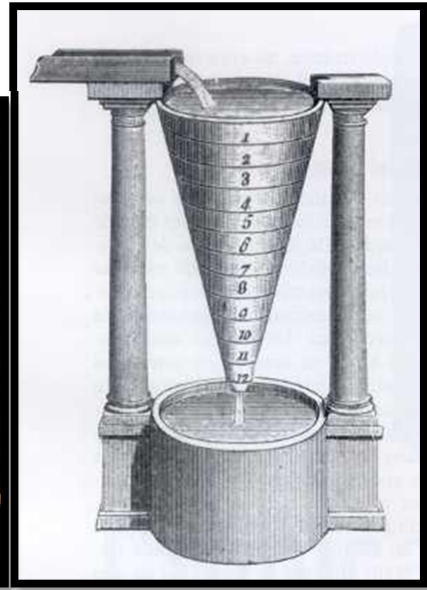
El séptimo capítulo es un manual paso a paso para dibujar una escala o madre para un gnomon en una localización determinada. Vitruvio describe las proporciones gnomon/sombra en los días de equinoccio en diferentes localidades del Imperio Romano, pasando por Roma (8 partes de 9 del gnomon), Atenas (3/4), Rodas (5/7), Tarento (9/11) y Alejandría (3/5). A continuación explica los pasos a seguir mediante regla y compás para dibujar los círculos mayores y menores del recorrido del Sol durante el día en diferentes épocas.

Analema significa "cinta", y su nombre viene del dibujo geométrico que resulta de medir la posición del Sol en el cielo a la misma hora a lo largo de un año, el gráfico es similar a la lemniscata (símbolo de infinito, ∞) sólo que con lóbulos desiguales. Este mismo dibujo del Sol se puede obtener sobre un reloj de Sol tomando la medida de la sombra del gnomon a la misma hora durante todo un año.



Analema de Vitruvio y analema solar anual.

En el octavo y último capítulo Vitruvio relata las diferentes aplicaciones en relojes de Sol de la proyección explicada anteriormente con las correspondientes variaciones para cada tipo. Vitruvio se centra en el nombre descriptivo del reloj y en su supuesto inventor, puesto que no tiene la seguridad de su autoría en algún caso. En el mismo capítulo se dedica una buena parte a los relojes de agua, clepsidras, con gradación astronómica según las constelaciones zodiacales que atraviesa el Sol en cada estación del año y un ajuste mediante agujeros y lengüetas para alargar o acortar la duración de las horas según la época del año, en Roma esto se conoce como horas antiguas o desiguales ya que todo el arco diurno dura 12 horas, sea invierno o verano, que fueron asumidas en la Edad Media hasta la llegada de los cronómetros y relojes de precisión en el siglo XVIII. Es patente que las descripciones de los relojes de agua son una transición a lo tratado en el libro décimo donde se describen diferentes máquinas hidráulicas y finalmente máquinas de guerra.



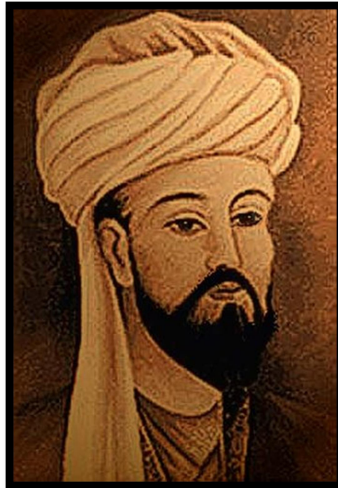
Reloj de Sol griego (s.III-II a. de C.) y diseño de clepsidra clásica.

Observatorio de Marague, Irán (1259)

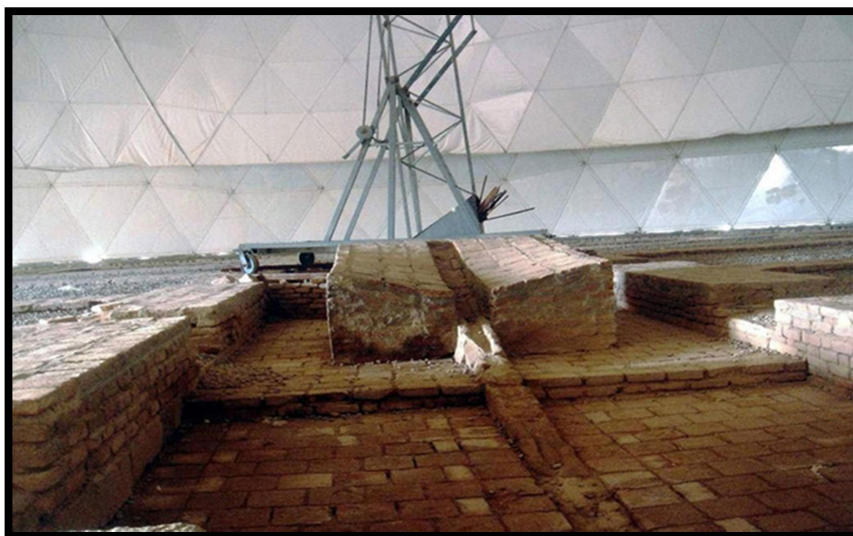
En la región noroccidental de Irán, cercano a la ciudad de Marague, se encuentran los restos del que fuera el observatorio más avanzado del mundo euroasiático. El observatorio fue el centro de un complejo que incluía una biblioteca, talleres de construcción de instrumentos y las residencias de los astrónomos.

El ilkanato de Hulagu Khan, heredero del imperio de Gengis Khan de quien era nieto, se extendía por los actuales Irán, Irak, Armenia, Azerbayán, Georgia, Turkmenistan, Turquía, el Afghanistan occidental, y el límite noroccidental de la India. El astrónomo de Hulagu, Nasir al-Din Tusi (1201 – 1274), refirió al regente que las tablas astronómicas debido a la nueva situación de la capital del reino estaban desactualizadas en longitud y latitud. Hulagu Khan dejó elegir la situación de un nuevo observatorio a Al-Tusi.

El edificio principal del observatorio consistía en una torre cilíndrica, posiblemente de unos 28 metros de altura, con un corredor central, de dirección Norte-Sur, alineado por tanto con el meridiano local, donde se desplegaba el cuadrante principal. La superficie de la torre cubría un círculo de 22 metros de diámetro, con muros de piedra de 80 cm de espesor. El corredor principal dividido en dos por el cuadrante desplegaba seis celdas a cada lado. Del cuadrante mural se conservan los iniciales 5,5 primeros metros.



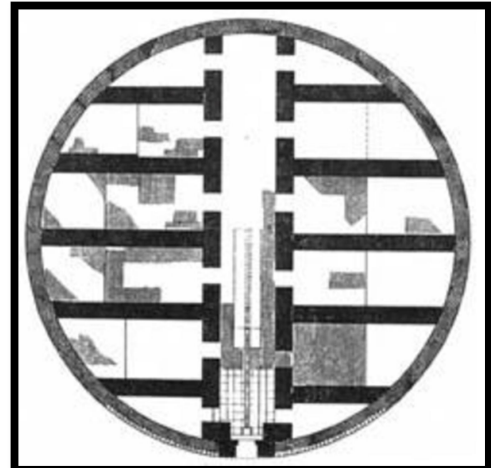
Hulagu Khan y Al Tusi.



Restos de la base del cuadrante mural situado en la torre.

Jesús Carmona Morales

El cuadrante mural en los metros que se han conservado desplegaba a ambos lados unas plataformas inclinadas para acceder a la medición del cuadrante conforme este se elevaba del suelo. Puesto que no se han conservado las estructuras más inclinadas del arco no hay evidencia de ello, pero por otros instrumentos similares las plataformas daría paso a escalinatas en las zonas más pendientes u otros métodos para la parte superior vertical. En el espacio en el que estaba enclaustrado el recorrido del cuadrante total sería de algo más de 34 metros, lo que daba mediciones unos 37 cm por grado, aunque no se conservan las muescas de medición, la precisión del cuadrante podría llegar a un segundo de arco por cada milímetro.



Excavación de Parviz Vardjavand en 1970. Planta de la torre del cuadrante basada en las excavaciones.

Cercanas al edificio principal se han hallado los cimientos de tres construcciones circulares donde instrumentos menores estaban montados, al Sur, Sureste y Noreste de la torre cilíndrica. Se sabe que el observatorio contaba, además del cuadrante mural principal, con una gran esfera armilar de 160 cm de radio, un triquetrum para medidas de paralaje, un anillo azimutal y una armilla solsticial.



El observatorio y las construcciones relacionadas cubrían el equivalente a una pequeña ciudad (350m. x 150m).

Junto al edificio principal se han encontrado restos de un edificio algo menor en superficie (unos 350m²) destinado a ser la biblioteca del lugar, del que referencias contemporáneas le atribuyen que albergó más de 40.000 volúmenes.

Las construcciones circundantes incluían talleres dedicados exclusivamente a crear o reparar los instrumentos del observatorio, en las pocas excavaciones realizadas se han encontrado instrumentos de trabajo del metal así como piezas mayores que pertenecerían a instrumental del observatorio.



Reconstrucción virtual de las instalaciones del observatorio basadas en la recuperación arqueológica.

El observatorio cumplió su función original y produjo las tablas astronómicas actualizadas que Al-Tusi reclamara a Hulagu Khan, que fueron bautizadas con el nombre de Tablas Iljaníes, en honor al Ilkanato. Las tablas tomaban como primer meridiano el que pasaba por Maraghe, como hoy en día se toma el de Greenwich, como referencia a la centralidad del ilkanato. Tuvieron gran difusión en la Edad Media conjunto con las tablas de Ulugh Beg, llegando a Europa, hasta Oxford por ejemplo, a través de Turquía. Fueron copiadas por los menos en 100 ocasiones.

Tras la muerte de Al-Tusi, el hijo de este, llevó las instalaciones siendo un referente en el mundo islámico a muchas preconcepciones heredadas de Ptolomeo, así como un cimiento en sus observaciones para los modelos copernicanos. Tras la muerte de Hulagu (1265) y de su sucesor Abaqa Khan en 1282, el observatorio perdió a sus más potentes patrocinadores y decayó hacia el final del siglo XIII. Sin embargo hay registros de varias visitas de Ghazan Khan con el inicio del siglo XIV, seguramente para tomarlo como referencia para un nuevo observatorio en Tabriz, del que no quedan vestigios. Pero los observatorios posteriores de Samarcanda y Jaipur, de los que sí se tienen restos más claros y abundantes fueron inspirados en este.

En la actualidad se conservan muy pocos restos arqueológicos más allá de los cimientos de las estructuras principales, si bien la única explotación arqueológica llevada a cabo fue en 1970 por Parviz Vardjavand, que aun siendo somera y poco exhaustiva reveló hasta 16 construcciones entre las que se cuentan el observatorio principal y los puestos de observación anexos, la biblioteca, los talleres y otras construcciones auxiliares. Existen sin embargo numerosas referencias escritas del observatorio de los astrónomos y trabajadores que lo habitaron donde se dan datos de su funcionamiento.

Jesús Carmona Morales

Los restos principales están protegidos por una estructura metálica que conforma una cúpula de reciente construcción. No existe un proyecto de puesta en valor de los restos o de nuevas excavaciones. El lugar es frecuentado por visitas escolares y observaciones de estrellas de asociaciones locales.

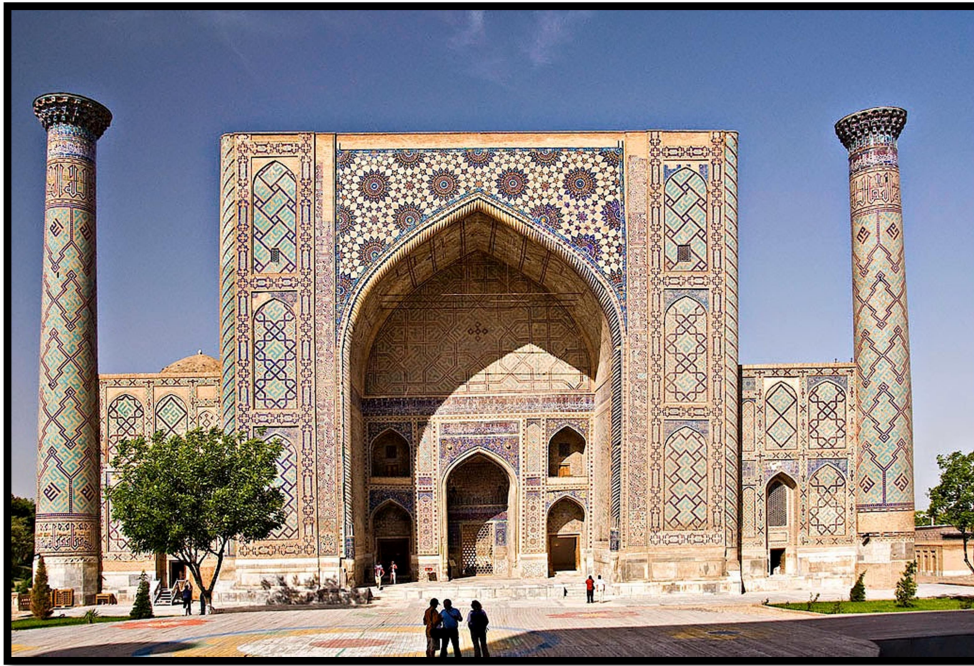


Cúpula de protección de los restos arqueológicos y círculo de piedra exterior en el emplazamiento arqueológico.

Gurjani Zij, Samarcanda (1429)

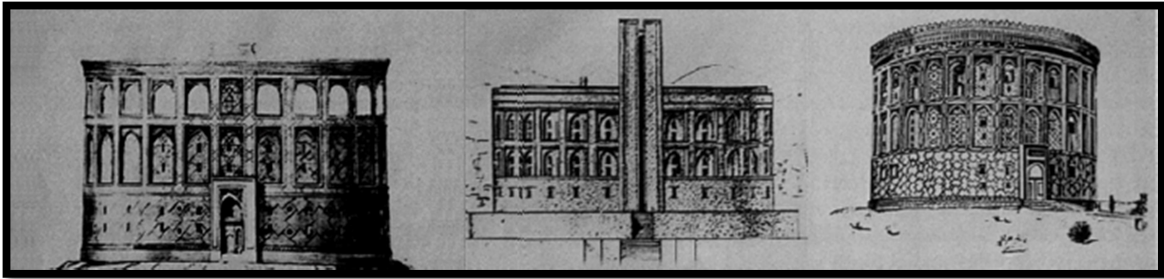
Muchos de los observatorios de la historia están ligados a un astrónomo relevante que los promovió, diseñó y construyó, en este caso el astrónomo que daría vida al observatorio Gurjani Zij sería Muḥammad Ṭaraghāy ibn Shāhruj ibn Tīmūr, conocido como Ulugh Beg (1394 - 1449).

Ulugh Beg ostentó muchos cargos públicos a lo largo de su vida, hasta el de sultán. No tuvo mucho cuidado de la gestión pública pero sí centró sus intereses en el desarrollo de la geometría, las matemáticas y la astronomía. Una de sus principales obras fue la creación de una madrasa en Samarcanda hacia 1420, donde se atrajo a gran cantidad de estudiantes y en su momento de mayor desarrollo a unos sesenta o setenta astrónomos que colaboraban con Beg en cálculos astronómicos. Hacia 1428 la madrasa se amplió con un observatorio que albergaría tres grandes instrumentos de medición astronómica.



Madrasa de Ulugh Beg en la plaza del Registan.

El Gurjani Zij, estaría inspirado en el observatorio de Maraghe, consistía también en un edificio de planta circular y volumen cilíndrico. En todo el muro perimetral se repetirían arcadas en tres niveles de altura. El diámetro de la planta del observatorio era de 48 metros, y su altura se estima en unos 40 metros. Debido a los escasos restos arqueológicos del lugar es difícil corroborar las descripciones contemporáneas al edificio o perfilar el detalle de las mismas, sin embargo las investigaciones llevadas a cabo desde la mitad del siglo XX por arqueólogos uzbekos y rusos llevan a una serie de certezas acerca de la realidad final del edificio.



Alzado, sección y aspecto exterior.

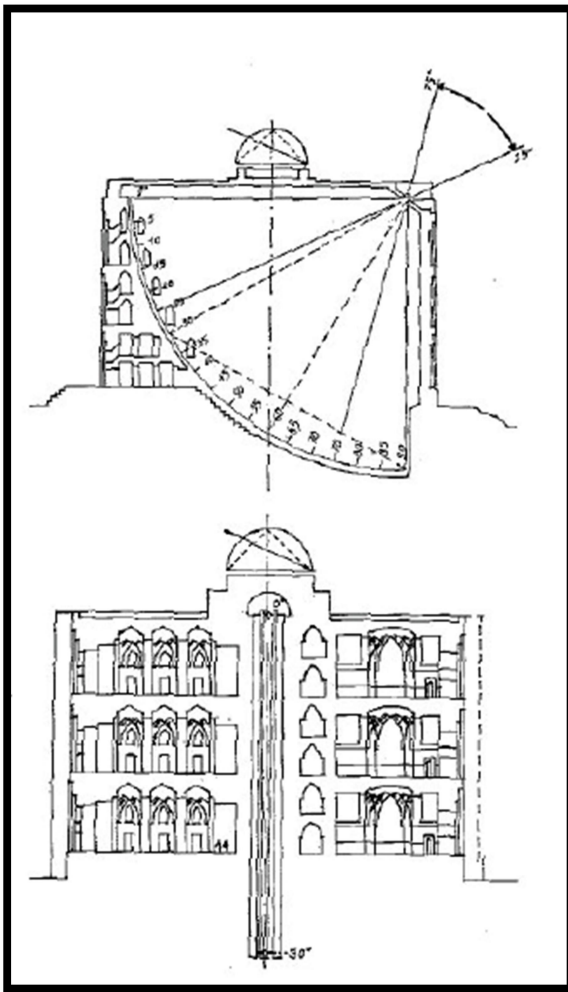
Los espacios de habitación del edificio estarían reducidos al mínimo, algo que ya aparecerá casi un siglo después en Stjernborg de Brahe. El mayor espacio y volumen de la construcción estaría reservado principalmente a dos instrumentos en su interior (el arco meridiano y el reloj de sol) y un tercero en la cubierta del edificio (un cuadrante móvil).



Planta del edificio principal a nivel arqueológico y acceso a los restos subterráneos del cuadrante.

Los espacios de servicio estaban situados en el nivel inferior que poseía externamente una galería circular que rodeaba el complejo, interrumpida en el acceso Sur. Se describen dos tipos de espacios en el interior del edificio diferentes a los de nivel inferior, unos con planta cruciforme en la mitad Norte del complejo, y otros rectangulares en la mitad Sur. Sin embargo los auténticos organizadores del espacio serían los tres gigantescos instrumentos mencionados.

Jesús Carmona Morales



Secciones longitudinal (por el sextante) y transversal de la torre. Es posible apreciar la parte subterránea del instrumento.

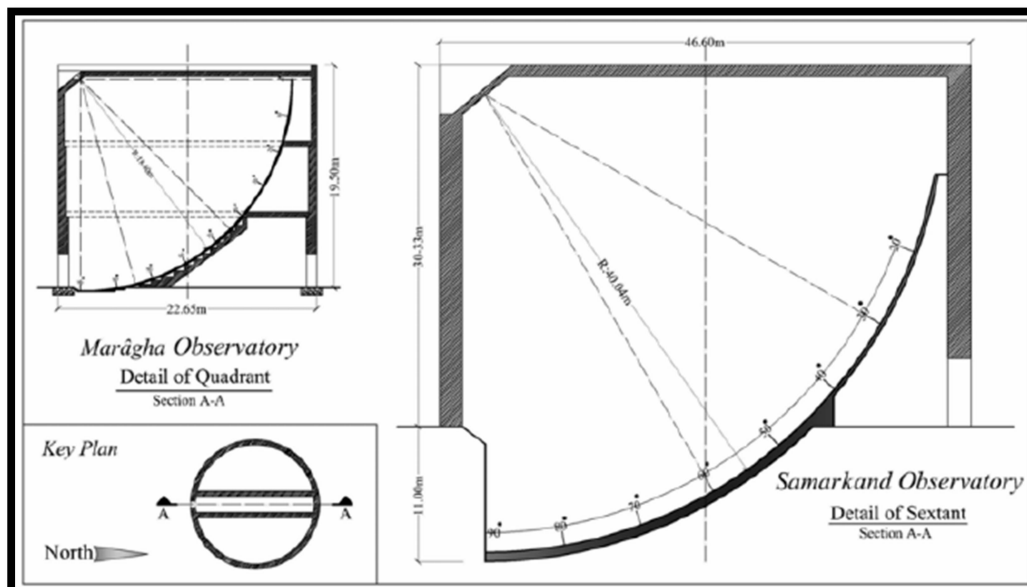
El arco meridiano recorría el eje Norte-Sur del edificio, confería al edificio circular una clara orientación hacia el mediodía local. Se extendía a lo largo de 60° desde la zona Sur que en parte estaba por debajo de la cota del nivel inferior, esta parte subterránea estaba excavada en una trinchera de dos metros de anchura, conforme el arco ganaba pendiente se elevaba dentro del recinto hasta alcanzar la altura total. El arco estaba revestido de mármol blanco en el que se hacían las lecturas de las mediciones. Era posible recorrer todo el arco gracias dos estrechas escaleras, una a cada lado que daba acceso a la gradación. Hay disensiones respecto a cómo sería la cubierta de este edificio, si es que poseía alguna, por lo que dejamos este punto para más adelante.

El arco meridiano fue diseñado para obtener mediciones con una precisión soberbia debido a su gran tamaño. Su radio era cercano a los 40 metros y llegaba a hasta la parte más alta de los muros de la construcción. Para reducir la complejidad técnica de realizar un edificio más alto y poder igualmente obtener el radio total del arco parte de este estaba excavado bajo el nivel de cota del edificio. Esto confería al arco, de tipo sextante, 40 metros de recorrido. Lo que daba una escala de graduación de aproximadamente 0,7 metros por grado. Se estima que las mediciones del arco podían dar una resolución óptica de $0,05^\circ$. Las marcas encontradas en el mármol blanco podían llegar hasta los 5 segundos de arco, representados por muescas de alrededor del centímetro.



Parte subterránea del cuadrante. Inicio a nivel de acceso y parte final, profundidad 11 metros.

El segundo instrumento interior era un reloj solar situado en el eje Este-Oeste. El reloj era de tipo cilíndrico o de concavidad esférica, su mediodía quedaba situado a cada lado y pasaba sobre el arco meridiano. En las excavaciones del lugar se encontraron una parte de lo que pudo ser un gran gnomon que formara parte del reloj solar y sirviera para mediciones muy precisas de la altura del sol. Se recogen fuentes que explican que esta pieza era parte del arco meridiano a su vez y servía de gnomon para el reloj solar.



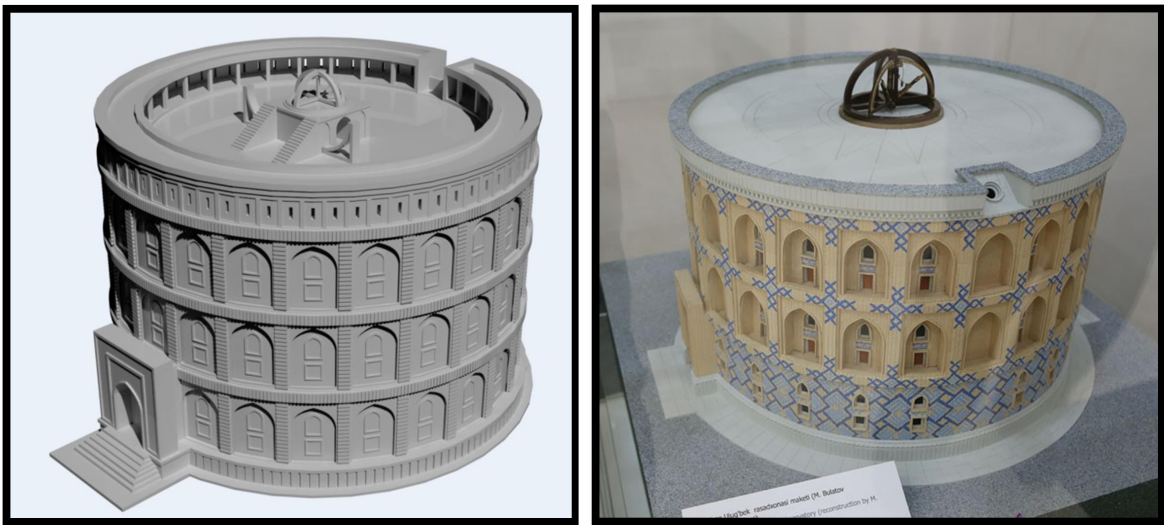
Comparación entre el arco meridiano de Maraghe y Samarcanda.

El tercer gran instrumento era exterior y estaba situado en la cubierta del edificio. Se trataba de un cuadrante móvil para tomar medidas de acimut y altitud de los astros. Aunque sus dimensiones eran más modestas que los anteriores, para calcular el acimut con mayor precisión se utilizaba una plantilla grabada en la cubierta del edificio de modo que volvían a obtenerse precisiones de gran magnitud debido al tamaño de la circunferencia del mismo edificio.

Jesús Carmona Morales

El edificio estaba decorado exteriormente según las descripciones de historiadores y científicos contemporáneos con mosaicos esmaltados en diferentes colores. Interiormente las pinturas reproducían constelaciones y órbitas de cuerpos celestes.

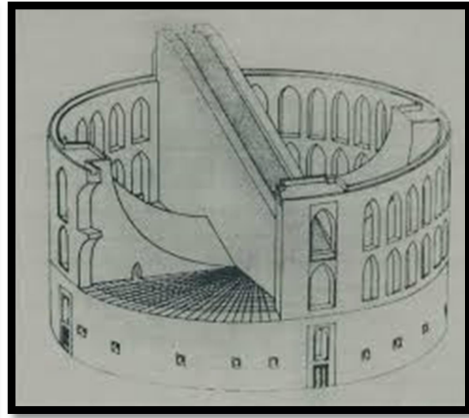
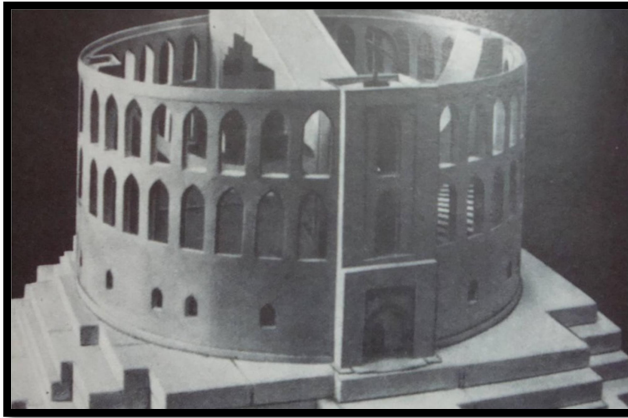
Sobre la controversia acerca de si el observatorio poseía o no una cubierta. A favor de la modelización con cubierta del complejo pujan las reconstrucciones que se han hecho tras excavaciones más intensas en 1941 (por Boris Nikolaevich Zasytkin) que dotarían de una rejilla de mediciones a la propia cubierta del edificio para el cuadrante giratorio. El arco meridiano y el reloj de Sol recibirían la luz desde una abertura en la cornisa Sur del observatorio, centro del arco de circunferencia de los instrumentos.



Reconstrucciones de la torre con cubierta, a la vista el cuadrante móvil.

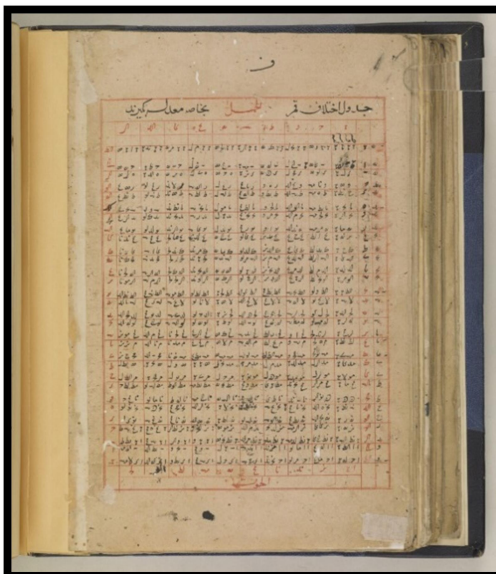
En contra de la existencia de una cubierta se inclinan las primeras reconstrucciones del edificio que lo dejan abierto para poder tomar las mediciones, se estimaba que la cubrición de una circunferencia de 40 metros de diámetros era un reto técnico no superable sin entorpecer las mediciones de los instrumentos interiores. En este caso el cuadrante giratorio seguiría teniendo una gran precisión en acimut puesto que todo el muro perimetral poseía un corredor en el que unas luminarias nocturnas marcaban la gradación acimutal. Por otro lado posteriores construcciones en India, como veremos más adelante, han reproducido pequeñas versiones del observatorio de Ulugh Beg que no poseían cubierta (ver observatorios de Jantar Mantar, s XVIII).

Jesús Carmona Morales



Maqueta soviética y dibujo con sección (sin cubierta, visibles: el reloj de Sol y el cuadrante)

El observatorio tuvo una vida muy corta, funcionó durante 30 años bajo la dirección de Ulugh Beg hasta que las rencillas sucesorias y familiares hicieron abandonar al promotor su dirección hasta que fuera asesinado a las afueras de Samarcanda en 1449. El edificio no sobrevivió a su promotor y los mismos que acabaran con él lo destruyeron hasta el nivel del suelo para eliminar la memoria del gobernante. Aun así los logros del observatorio sí han permanecido. Las mediciones realizadas precisaron errores de las tablas iljaníes del observatorio de Maraghe, obtuvieron el valor del año sidéreo con una precisión que no fue mejorada hasta ochenta y ocho años más tarde por Copérnico y que difiere del actual en +58 segundos. La medición del año trópico obtuvo un error de +28 segundos y fue más precisa que la posterior de Copérnico. El observatorio cuestionó la validez de catálogos estelares usados desde hace mucho tiempo que contenían errores, y analizó la posición de hasta 1018 estrellas de forma autónoma para contrastar su veracidad incluidas aquellas estrellas del catálogo de Claudio Ptolomeo en el que se habían observado numerosas incongruencias. Posteriormente el observatorio produjo sus propias tablas en el "Zij-i Sultani" (1438), un catálogo que actualizó la posición de 992 estrellas respecto a otros mapas estelares, debido a la precesión de los equinoccios, con un anexo de 27 estrellas que no pudieron ser observadas directamente, ya que quedaban bajo el horizonte local por encontrarse demasiado al Sur de la localización del observatorio.



مواقع بعض كواكب مشهورة در طول
و عرض برسد که یافتند است الغ
و یکی در اول سال هجری

کواکب صورت شمالی

ستاره	طول	عرض	ش
1 ان کویکب که بر طرفی دنبالش [جدی]	20.19	66.27	B 3
2 اذکة بعد از وست در دنبال	22.25	70.0	B 4
3 اذکة بعد از وست پیش ازین دنبال	0.55	73.45	B 4
4 کویکب جنوبی از شکار بسمین	17.13	75.36	B 4
5 کویکب شمالی از هین ضلع	24.15	78.0	B 5
6 کویکب جنوبی از آن دو که بر ضلع بسمین است	25.73	0	B 2
7 کویکب			

Constellations Boreales.

Stella minor.	Long.	Lat.	Stella
1 Stella in extremo cauda [Glycyx stella polaris]	20.19	66.27	B 3
2 Sequis in cauda.	22.25	70.0	B 4
3 Quae hanc sequitur in radice cauda.	0.55	73.45	B 4
4 Stella australis in precedente latere quadranguli [Nub feretrum. 1.2.3.4.]	17.13	75.36	B 4
5 Stella borealis in eodem latere.	24.15	78.0	B 5
6 Stella Australior duarum quae sunt in latere sequente. [Lucidior Alfarakadin.]	25.73	0	B 2
			7 Estudum

Detalle del Zij-i Sultani con la catalogación de estrellas. Traducción de Oxford de 1648.

Jesús Carmona Morales

La parte subterránea del arco meridiano junto con los cimientos del muro perimetral y el nivel inferior son prácticamente los únicos restos tangibles que quedan del observatorio. La trinchera con los restos del arco, que fue excavada en 1908 por el arqueólogo ruso Vassily Lavrentyevich Vyatkin, fue cubierta con una bóveda para su protección, y se accede a ella mediante una copia de la entrada de las madrasas de Samarcanda, de sección de esférica y decoraciones en teselas azules. Los alrededores se han dedicado a la figura de Ulugh Beg y al propio observatorio, con un museo que muestra reproducciones de los instrumentos de la época. Sextantes, cuadrantes, esferas armilares entre otros, así como maquetas del observatorio.

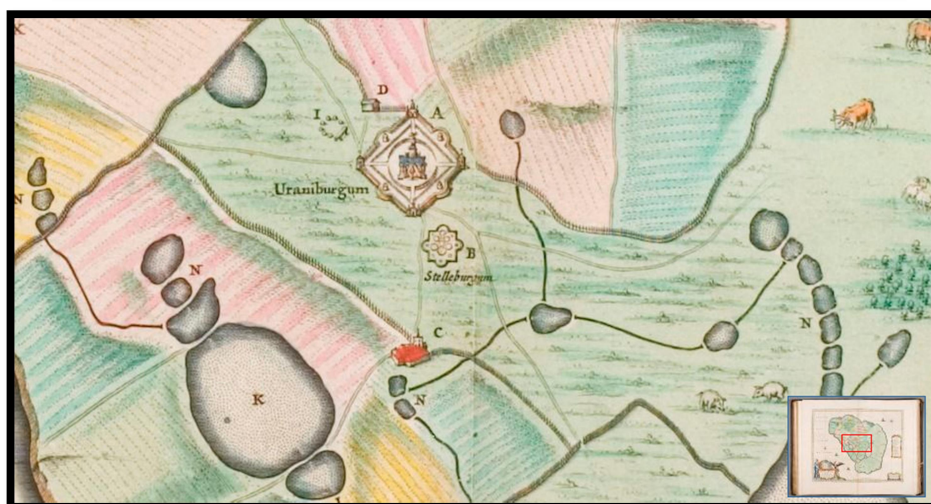
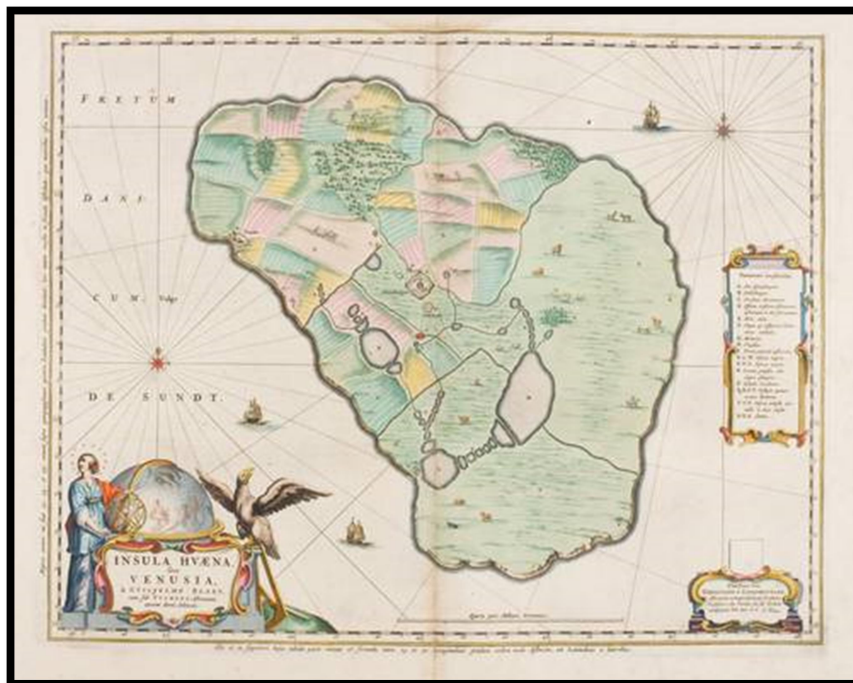


Alrededores del observatorio. Detalle del parque dedicado a la figura de Ulugh Beg y el Museo de Uugh Beg en Samarcanda.

Uraniborg (Uranienborg) Isla de Hven, Suecia (1576)

Uraniborg fue el primer emplazamiento para las investigaciones de Tycho Brahe (1546 – 1601), estaba situado en la zona central de la isla de Hven en la actualidad perteneciente a Suecia, situada en el estrecho de Öresund entre Dinamarca y Suecia.

El complejo de Uraniborg se situaba bastante centrado en la geometría de la isla, relativamente pequeña (4km x 2,2km), y su diseño y construcción se atribuye a las directrices del astrónomo Tycho Brahe, que detalló la posición, y dimensiones del conjunto así como otras proporciones.



Isla de Hven y detalle de situación de Uraniborg (A), al Sur es visible también Stjerneborg (B)

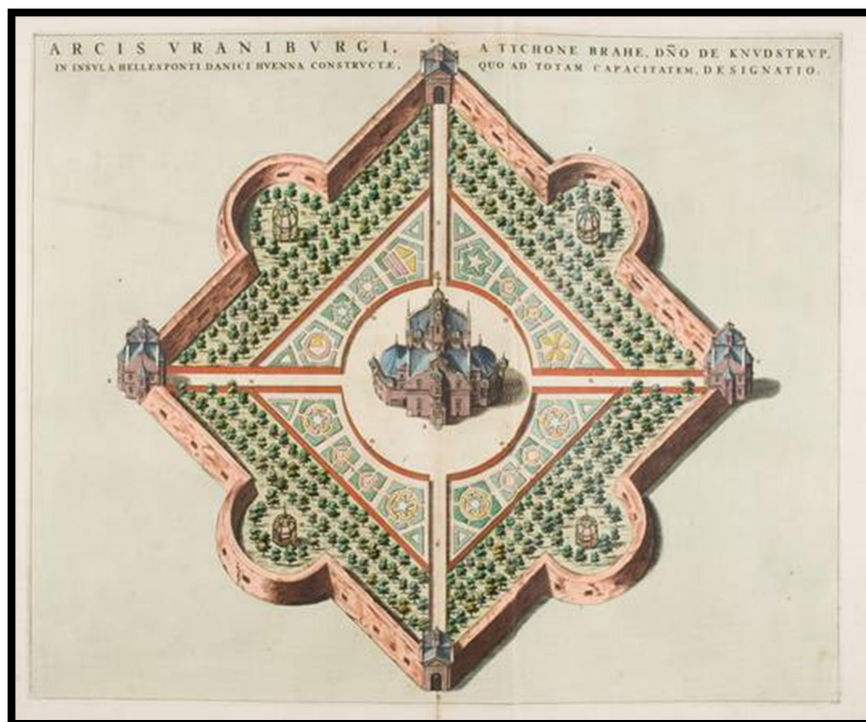
Jesús Carmona Morales

Podemos decir que Brahe diseñó Uraniborg según sus necesidades y creencias para provecho de sus investigaciones, que no sólo se centraban en la astronomía, sino también otras como las propiedades de las plantas o la alquimia. De hecho el diseño de Uraniborg amén de ser propicio para las observaciones astronómicas pretendía favorecer mediante proporciones “mágicas” el crecimiento de las plantas, su uso terapéutico y la influencia de los astros (principalmente el Sol y Júpiter) en los trabajos que se llevaran a cabo en el castillo.

Uraniborg, Uranienborg en sueco, significa “Castillo de Urania”, referido a la musa de la astronomía. El proyecto fue muy ambicioso y costoso, sin embargo su final fue prematuro debido a los errores cometidos durante su planificación. Fue el primer observatorio hecho por encargo de la Europa moderna, Tycho Brahe gozaba del favor del rey y tuvo el control del proyecto para realizar todo aquello que estimó oportuno. Se afirma que el presupuesto total del complejo fue de cerca del 1% del presupuesto estatal total.

La piedra angular de la construcción se colocó el 8 de Agosto de 1576, durante el reinado de Federico II rey de Dinamarca y Noruega; y fue terminado en torno al año 1580.

El complejo ocupaba una generosa porción de terreno en el centro de la isla, con forma de cuadrado de 75 metros de lado (5625 m²). El cuadrado delimitador estaba orientado escrupulosamente en sus vértices a los puntos cardinales (véase grabado y foto satélite de la recuperación), estas características formaban parte de la intención alquímica de Brahe de propiciar los trabajos del observatorio, además de tener claras referencias astronómicas a la hora de hacer mediciones. Aunque nunca llegó a construirse el muro perimetral que definiría perfectamente el espacio cuadrangular, el proyecto original lo definía como un muro de 75 metros de lado y 5’5 metros de altura. En lugar del muro, no construido seguramente por falta de presupuesto y por su extensión, se realizó un promontorio de tierra que definía las lindes del espacio.



Planta de Uraniborg y los terrenos del castillo, grabado coloreado de 1655. Eje Norte-Sur de izquierda a derecha. Grabado datado en 1665.

Jesús Carmona Morales

En el centro de la parcela se erigía la construcción principal, y entre el promontorio de tierra y esta se extendían los jardines y herbarios que servirían a parte de las investigaciones del castillo. Estos jardines se diseñaron geométricamente siguiendo instrucciones de Brahe con las intenciones místicas mencionadas anteriormente. Aunque el complejo fue abandonado y saqueado hasta quedar irreconocible, diferentes trabajos de restauración llevados a cabo a mitad del siglo XX han recuperado la trama original de los jardines y las especies de plantas originales cultivadas siguiendo los escritos de Brahe y mediante labores arqueológicas con semillas encontradas en el lugar.

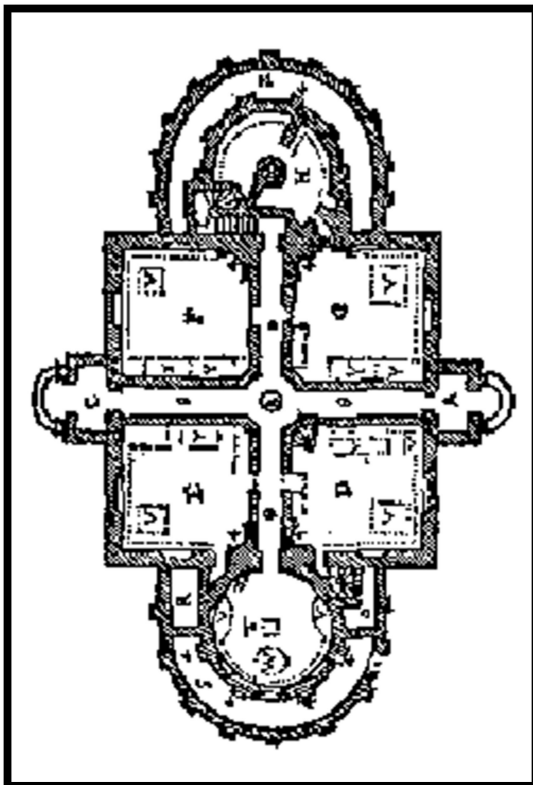


Vista satélite de Uraniborg en la actualidad. La restauración de los jardines es parcial. La construcción está señalada a nivel arqueológico. Norte arriba.

El castillo principal fue saqueado y destruido a lo largo de los años tras el abandono del complejo, sin embargo existe una descripción de su estructura y de los usos de los espacios. Además en la recuperación arqueológica del lugar han sido puestos en valor los cimientos de la estructura, ayudados por descripciones pictóricas que pudieron haber conocido el edificio en estado de ruina es posible hacer una reconstrucción general del proyecto, de sus usos y finalmente de las razones de su abandono.



Pintura de Heinrich Hansen (datada en 1890) sobre Uraniborg.



Planta de Uraniborg. Norte arriba.

El castillo estaba construido en muro de carga de ladrillo macizo, descrito como un ladrillo rojo. Se situaba en el centro de la parcela y su núcleo era sensiblemente cuadrado (de unos 15 metros de lado) pero en esta ocasión serán las aristas del cuadrado las que se orienten a los cuatro puntos cardinales. En las caras Norte y zona Sur del cuadrado se disponían unos bastiones semicirculares que cerraban patios interiores, de modo que las caras norte y sur del núcleo principal quedaban como fachadas de los patios junto a la cara interior de los bastiones. El bastión semicircular Norte era más estrecho, mientras que el bastión Sur por su uso tenía mayor entidad y en consecuencia el patio de luces interior era menor. El aspecto total del complejo era el de un óvalo de lados rectos orientado en el eje Norte-Sur.

El núcleo contaba con un sótano que estaba dividido en dos partes, albergando en la zona Norte la despensa que servía a las cocinas y en la subdivisión Sur un laboratorio de alquimia. La

planta principal estaba subdividida en cuatro estancias principales de igual tamaño, destinadas a vivienda, de las cuales Tycho Brahe y su familia ocupaban una, quedando las otras tres para

astrónomos y científicos invitados. En este nivel el bastión Norte estaba destinado a las cocinas de la casa y el bastión Sur, de mayor entidad, era la biblioteca.

En el primer nivel el espacio quedaba dividido en tres partes, uno de mayor tamaño destinado a las visitas de la realeza, los otros dos espacios formaban parte del taller y el observatorio. Los bastiones en este nivel albergaban los instrumentos de observación astronómica, reservando las estancias del bastión Sur para el cuadrante mural principal, por la necesidad de este de estar orientado al mediodía, y donde se tomaban las principales mediciones de culminación de astros (ver funcionamiento del cuadrante mural). Se refiere que a este nivel aparecían balconadas que daban espacio para asomar a otros instrumentos y así tener una visión más amplia no acotada por los muros del castillo.

En un segundo nivel el espacio era diáfano estructuralmente y estaba compartimentado en ocho pequeñas estancias destinadas a estudiantes. A este nivel los bastiones circulares poseían los tejado, pero el núcleo central todavía subía un nivel más en a modo de torreón.

En el grabado que se muestra a continuación, además de la escena principal en la que Brahe y otros colegas toman medidas y tiempos de un astro con el cuadrante mural, podemos corroborar la distribución de las plantas mediante la escena del fondo.



Detalle del grabado de los usos de los niveles de Uraniborg (1665).

En el sótano se muestran los alambiques de alquimia, en la planta de acceso hay escenas de tertulia (con la presencia de un globo terráqueo) y ya en el primer nivel aparecen los instrumentos del observatorio, en concreto y de izquierda a derecha: un cuadrante de menor tamaño, una esfera armilar, un medidor de la paralaje y un octante.

Jesús Carmona Morales

El centro del núcleo del edificio se sobreelevaba para disponer un piso mirador, a modo de observatorio marino (*widow's walk / widow's watch*), por el que se conoce que se accedía mediante una escalera helicoidal. Este tipo de remates era muy común en construcciones cercanas a la costa, y debe su nombre en inglés al folclore popular que atribuía a estos torreones el lugar de observación de las mujeres de los marineros que esperaban su vuelta muchas veces incierta. Constructivamente estos torreones se disponían para tener acceso al tope de las chimeneas en caso de necesidad o emergencia. Aunque no hay datos pormenorizados de la estructura del castillo una solución lógica habría sido situar las comunicaciones verticales de todo el complejo en este punto ligadas a un muro maestro que les diera soporte.

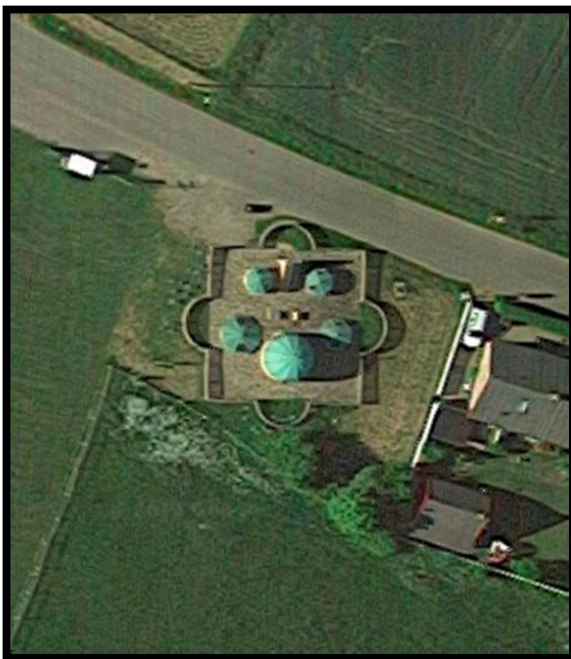


Maqueta basada en los grabados y restos arqueológicos de Uraniborg.

Uraniborg ofreció algunos problemas desde el momento de su puesta en funcionamiento. Los instrumentos del observatorio situados en toda la primera planta del complejo se veían afectados principalmente por el viento, pero también por los forjados de madera y las terrazas mientras se anduviera cerca, haciendo que la toma de medidas fuera muy inexacta para los propósitos de Brahe. Esto motivó que Brahe planteara a su mecenas la construcción de un segundo observatorio, esta vez dedicado exclusivamente a la observación astronómica y sin dependencias habitacionales, esta fue la razón por la que se construyó Stjerneborg.

Stjerneborg (Stjärneborg) Isla de Hven, Suecia (1581)

Los métodos de trabajo que resultaron del primer observatorio así como las deficiencias que surgieron tras la construcción de Uraniborg motivaron que Brahe solicitara al rey Federico II la construcción de un segundo observatorio en la isla de Hven, a poco más de 100 metros del primero, Stjerneborg.

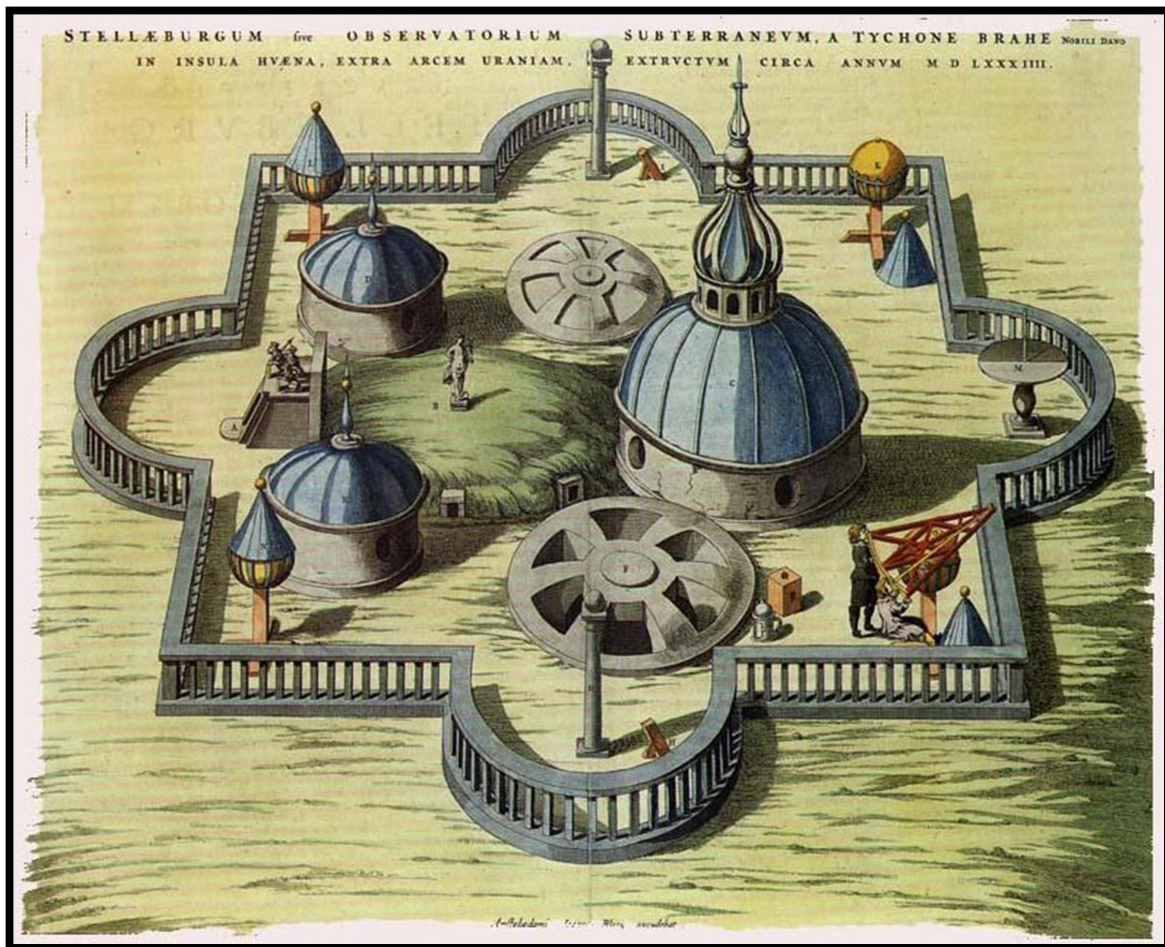


Vista satelital de Stjernborg.

En palabras del propio Brahe las razones por las que Stjerneborg fue necesario fueron las siguientes: “Mi propósito fue en parte situar algunos de los instrumentos más importantes segura y firmemente de manera que no estuvieran expuestos a la molesta influencia del viento, y fueran más fáciles de usar, y en parte separar a mis colaboradores unos de otros, estando unos conmigo y al mismo tiempo otros en el castillo por su cuenta y en sus celdas, de modo que no se interrumpieran entre ellos o compararan sus observaciones antes de que yo lo quisiera.”

De las palabras de Brahe se infiere que la actividad de Uraniborg había sobrepasado sus expectativas, además de mostrarse como un observador meticuloso.

Stjerneborg eliminó de raíz cualquier exposición a vientos, la construcción se planteó de forma totalmente subterránea, los instrumentos estarían fijados sobre el sustrato más firme posible sin que flechas, temblores o movimientos no deseados de los artesonados de madera perturbaran las mediciones. Como en Uraniborg y esta vez de forma más sencilla el conjunto se defendió con un muro perimetral a modo de linde y cortavientos. Las dimensiones de la parcela lejos de ser ambiciosas coincidían sin embargo con las de la superficie del núcleo principal del Castillo de Urania, un cuadrado regular de 15 metros de lado, con ciertos cuerpos lobulados con fin específico (ver planimetría más abajo). No todo el conjunto fue excavado, en torno a un 40-50% de la superficie total se destinó a estancias por debajo de la cota del terreno, mientras que el resto se aprovechó para situar instrumentaciones más livianas y portátiles que se situaban sobre pedestales de piedra a modo de montura astronómica.



Grabado de Stjerneborg del "Geographia, quae est Cosmographiae blavianae pars prima, qua orbis terrae tabulis ante oculos ponitur, et descriptionibus illustrantur" (Amsterdam, 1665). Norte a la izquierda.

El jardín de la superficie de parcela sensiblemente regular presentaba unos cuerpos semicirculares en el centro de los lados del cuadrado, esto generaba un espacio semi-independiente destinado al pilar de apoyo de instrumentación mencionado. Sin duda, siguiendo las instrucciones de Brahe, esto fue dispuesto en esta forma para que las observaciones de los astrónomos no se interrumpieran por los motivos dados por el propio Brahe.

Las excavaciones del lugar se iniciaron en 1584, se realizaron muros de contención de tierras en ladrillo macizo, para dar más solidez al conjunto y favorecer el uso de los instrumentos las zanjas se realizaron en forma circular hasta un nuevo nivel bajo tierra dando una superficie escalonada final en los lugares pensados para los instrumentos, como se verá más adelante. Los muros de contención se sobre-elevaron del terreno para dar iluminación a los espacios mediante pequeños ventanucos y para evitar que el interior se inundara.

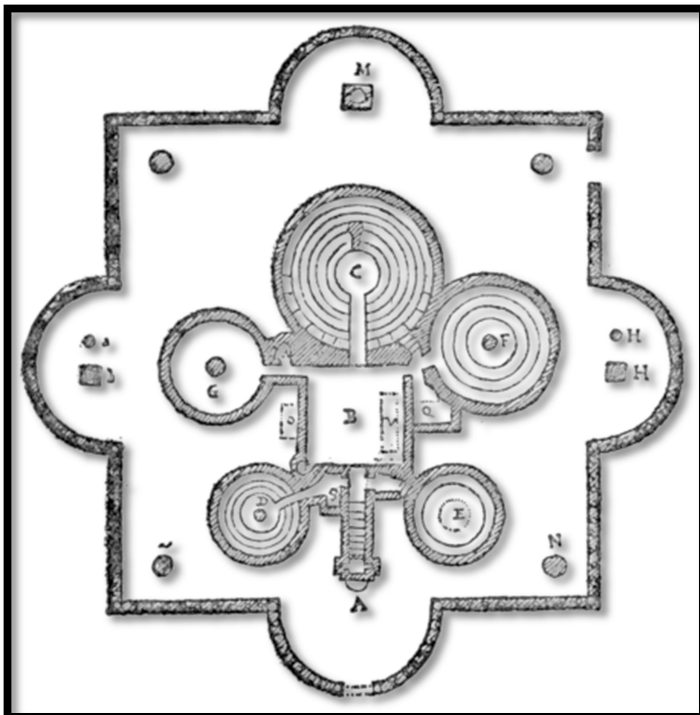
El acceso al espacio subterráneo se producía por una escalera centrada en el conjunto, en el lado Norte, y los lugares dispuestos eran simétricos respecto al eje de la escalera, se recoge en algunos escritos que sobre la entrada rezaba una inscripción "Nec fasces nec opes, sola artis sceptrum perennant" (Ni los honores, ni las riquezas, sólo la perfección de la obra sobrevivirá"), que sería el epitafio de Brahe.

Un espacio central distribuía los espacios circulares donde se realizaban las mediciones, y un espacio al final del eje del conjunto era preminentemente más amplio que el resto, destinado al

cuadrante mural más grande y por tanto con el que se podían obtener las mediciones más precisas.

Stjerneborg estaba pensado como espacio únicamente de trabajos, la vivienda principal había quedado relegada al cercano Uraniborg, sin embargo Brahe reservó dos espacios independientes para unos pequeños catres en donde descansar en las noches de observación más largas, especialmente en invierno, sin necesidad de abandonar el conjunto. Mientras Brahe descansara en estas camas improvisadas en los muros, su ayudante continuaría con la observación, y al contrario en otro espacio similar destinado para el propio ayudante. Un pequeño hogar practicado en uno de los muros caldeaba el lugar.

Puede que lo más característico de este nuevo observatorio sea el elemento que posteriormente ha identificado a muchos de los observatorios modernos hasta fechas recientes, las cubiertas. Al estar totalmente excavado en la tierra, él único elemento estructural del conjunto visible desde el exterior consistía precisamente en las cubiertas de los espacios, que sí sobresalían para permitir a los instrumentos un mayor campo de visión. Brahe ideó unas cubiertas, con una apertura, que mediante rodamientos o ruedas podían rotar sobre sí mismas para enfocar la zona del cielo necesaria. No eran las cúpulas astronómicas actuales pero sí sus precursoras. La apertura en las estructuras además de para mostrar el cielo permitía introducir o sacar los instrumentos más grandes que necesitaran ser reemplazados o reparados, ya que la entrada principal era más angosta. La estructura de estas cubiertas se realizó en madera y fueron protegidas y selladas por láminas de plomo. La cubierta del espacio central, que no poseía movilidad debido a que no contenía ningún instrumento fue recubierta por el terreno de nuevo a modo de pequeña colina, revisiones clásicas hacen referencia al monte del Parnaso donde habitan las musas. La zona central de este espacio poseía un pilar que sostenía el conjunto y exteriormente sobre él se erigía una pequeña estatua de bronce del dios Mercurio. Esta estatua poseía un mecanismo de reloj que la hacía girar. Esto, junto con otros autómatas en la colección de Brahe, sobresaltaban a los campesinos de la isla, que llegaron a creer que Brahe era una especie de brujo.



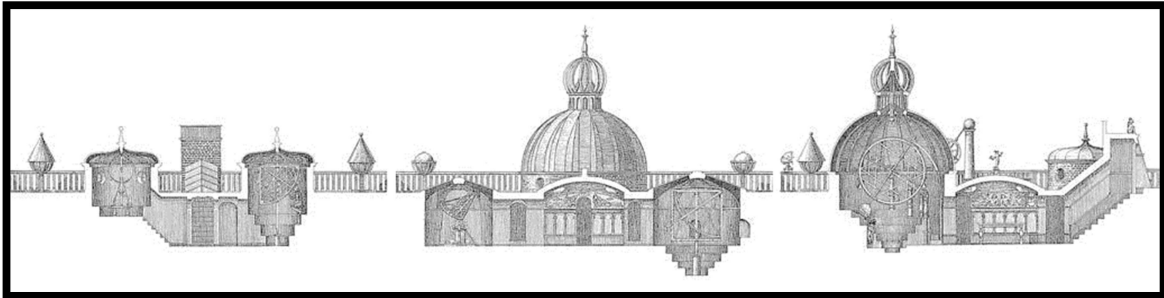
Planta de Stjerneborg. Norte abajo. Acceso (A). Taller y zona de cálculos (B). Espacios de observación rebajados (C,D,E,F).

Sobre los espacios interiores. El espacio central que daba acceso por galerías a los espacios circulares era el único con una superficie horizontal continua, este era usado como taller o sala de descanso, aquí se encontraban el hogar y el lugar del camastro de Brahe. Los espacios adyacentes circulares sin embargo estaban aterrizados escalonadamente en círculos concéntricos cada uno más profundo que el anterior hacia el centro del espacio, todos menos uno.

Sobre los espacios interiores. El espacio central que daba acceso por galerías a los espacios circulares era el único con una superficie horizontal continua, este era usado como taller o sala de descanso, aquí se encontraban el hogar y el lugar del camastro de Brahe. Los espacios adyacentes circulares sin embargo estaban aterrizados escalonadamente en círculos concéntricos cada uno más profundo que el anterior hacia el centro del espacio, todos menos uno.

Jesús Carmona Morales

Esto era debido a que los instrumentos utilizados para las mediciones eran de grandes dimensiones, para observar posiciones cercanas al cénit los arcos de medición podían quedar tan tendidos que rozarían el suelo y en cualquier caso forzarían a posiciones muy incómodas para su lectura. Al rebajar la cota del suelo en su centro las lecturas podían tomarse con facilidad en cualquier posición del sextante, octante, cuadrante o esfera armilar utilizada.



Diferentes secciones de complejo subterráneo.

Hago un inciso en este punto para poner en valor estas actuaciones y diseños en el proyecto de Brahe vistos con perspectiva. Las mediciones de Tycho Brahe fueron un tesoro científico de la Europa de final del s.XVI y principio del s.XVII. Eran bien conocidos los trabajos precisos de Brahe hasta tal punto que Johannes Kepler (1571 - 1630), trató de congraciarse con Brahe con tal de acceder a sus datos de observación de los planetas errantes para comprobar sus postulados. Kepler, nacido en Weil der Stadt, al Sur de la actual Alemania, se desplazó hasta Praga donde residía Brahe hacia 1599 con este propósito, sin embargo, Brahe y Kepler nunca se llevaron bien del todo aunque por motivos afines colaboraran escépticamente hasta la muerte de Brahe. Las leyes de Kepler fueron posibles gracias a las precisas mediciones de Brahe de la órbita de Marte, que reveló a Kepler que el planeta no describía una circunferencia en sus movimientos celestes sino una elipse (de excentricidad hoy calculada en: 0,093315, en el baremo donde 0 sería una circunferencia perfecta y 1 la elipse más alargada posible).

La diligencia de los trabajos de Brahe, incluidos los del diseño de las instalaciones donde se llevaron a cabo, dieron como uno de los resultados más notables los logros de Kepler en la formulación de la astronomía observacional y más tarde con Newton la plasmación matemática de las leyes de Kepler.

El favor de Brahe y la manga ancha para sus proyectos acabó con la muerte de Federico II en 1588, sin embargo las observaciones en la isla de Hven continuaron. Fue con la coronación de Cristián IV en 1596, cuando se produjo un corte de fondos a las investigaciones y se retiraron propiedades a Brahe, que decidió retirarse de la isla con sus mediciones y los instrumentos portables que pudo.

Jesús Carmona Morales

En la actualidad Stjerneborg ha sido restaurado con mayor éxito que Uraniborg, debido a que las dimensiones y su complejidad eran menores que el castillo, que quedó arruinado por el abandono



en pocos años tras su abandono. Los espacios de Stjerneborg eran todos subterráneos y compuestos por muros de carga y contención, esto ha facilitado que hayan sido excavados de nuevo; se han añadido cubiertas nuevas para proteger los restos y en su interior se realiza un espectáculo didáctico con diferentes instrumentos y proyecciones que recrean los trabajos realizados por Brahe con reproducciones de los instrumentos de la época. Es un espacio



abierto al público y que complementa las actividades de la isla de Hven dedicadas a la figura del astrónomo danés, con el "Tycho Brahe museet" y los espacios recuperados de Uraniborg.

Estado actual de la consolidación de los restos de Stjernborg.

Rundetaarn, Copenhage (1642)

A modo de trilogía danesa trato a continuación un observatorio notable, construido durante el reinado de quien retirara los fondos a Tycho Brahe en la isla de Hven, Cristián IV, rey de Dinamarca y Noruega. Habiendo declinado el favor de su padre por Brahe, el nuevo astrónomo preferido de la corte fue un colaborador del propio Brahe, Christen Sørensen Longomontanus (1562 - 1647), quien sugirió al rey construir un nuevo observatorio ya que Stjerneborg había desaparecido. La idea de Longomontanus era situarse en una colina cercana a la capital, sin embargo el rey aún la necesidad de varios proyectos para la universidad (el observatorio, una biblioteca y una iglesia) en uno del que formó parte Rundetaarn (La Torre redonda), adquiriendo terrenos que ya lindaban con los dormitorios de estudiantes existentes dentro de la urbe consolidada. Los trabajos fueron encargados, según el consenso más general, a Hans van Steenwinckel, el Joven (1587 - 1639) arquitecto que no vio terminada la obra, tomando el relevo Leonhard Blasius.

La ejecución del complejo de la Trinidad, llamado así, iglesia de la Trinidad, se inició en Julio de 1632, sólo dos meses antes una compañía militar desalojó la zona de la construcción para demoler las viviendas de entramados de madera. La construcción de la torre se finalizó en 1642, sin embargo el resto del complejo, la iglesia y la biblioteca anexas, tardaron todavía 15 años más.

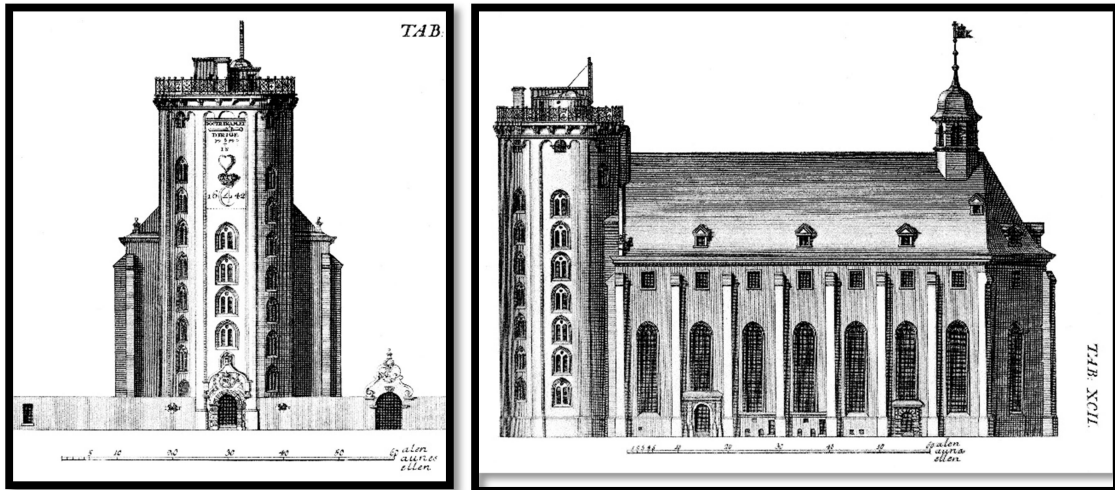
La torre fue planteada mediante muro de carga realizado con ladrillo rojo y amarillo, recordando los colores de la dinastía de los Oldemburgo a la que pertenecía el rey Cristian IV. Para obtener la altura y la resistencia necesaria de la torre los ladrillos fueron importados desde los Países Bajos, ya que no existía gremio en Dinamarca que proveyera de las calidades necesarias para la obra. Se trataba de ladrillos de cocción dura y corte delgado denominados “mopper”.



Pintura de la torre de Johann Doppelmayr en *Atlas Coelestis in quo Mundus Spectabilis* (c. 1730)

La época estuvo caracterizada por muchos recortes y austeridad en el presupuesto de la corona, hasta tal punto que la obra fue detenida en varias ocasiones debido a escasez de fondos y se promovió que las iglesias de Dinamarca y Noruega contribuyeran con sus ganancias a la finalización de los trabajos.

Jesús Carmona Morales

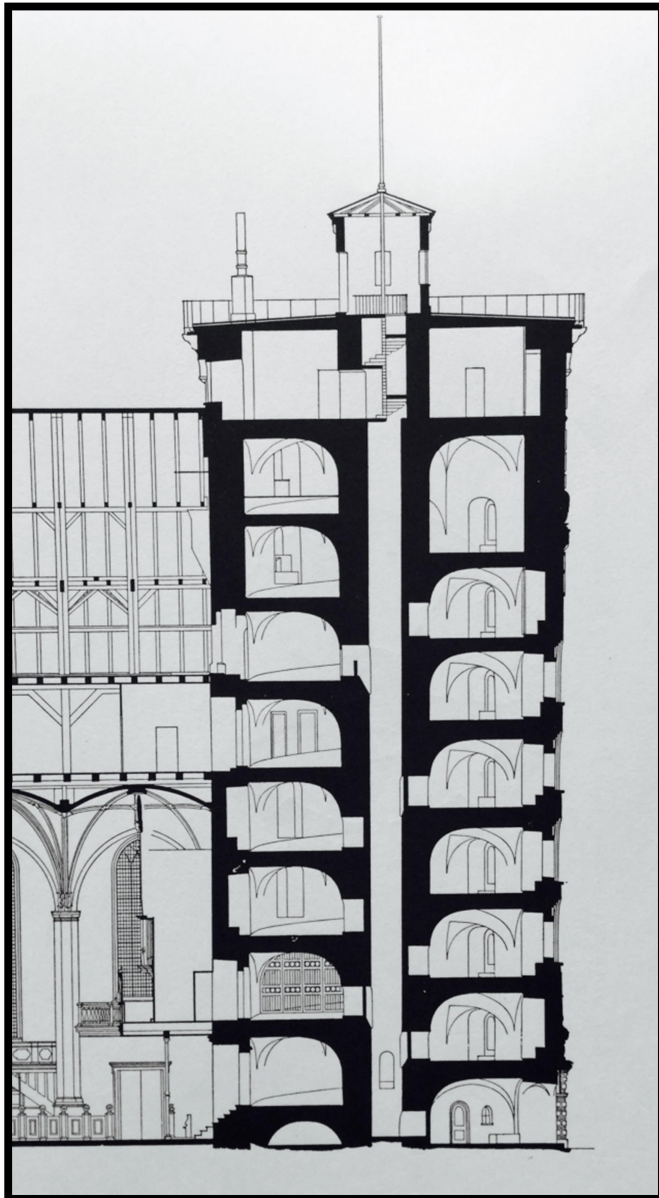


Alzados de la torre con la iglesia.

Lo más característico de la torre es la rampa espiral que permite el acceso al taller bajo la plataforma de observación. La rampa en espiral fue pensada para acceder a la torre y a la biblioteca a caballo, de modo que fuera sencillo transportar los instrumentos del observatorio mediante carruajes o mover grandes cantidades de libros a la biblioteca, a la que se accedería desde los niveles intermedios de la torre. Desde el inicio, la rampa realiza siete vueltas y media hasta la cima, elevándose en cada vuelta 3,75 metros. La rampa está apoyada en bóvedas espirales que descansan en el macizo central y en el muro perimetral. El recorrido central de la rampa son 210 metros, sin embargo es unos 45 metros más largo si se realiza junto al muro exterior, y de tan sólo 85 metros en torno al macizo central, eso sí, con una pendiente del 33%.



Espiral interior de la torre.

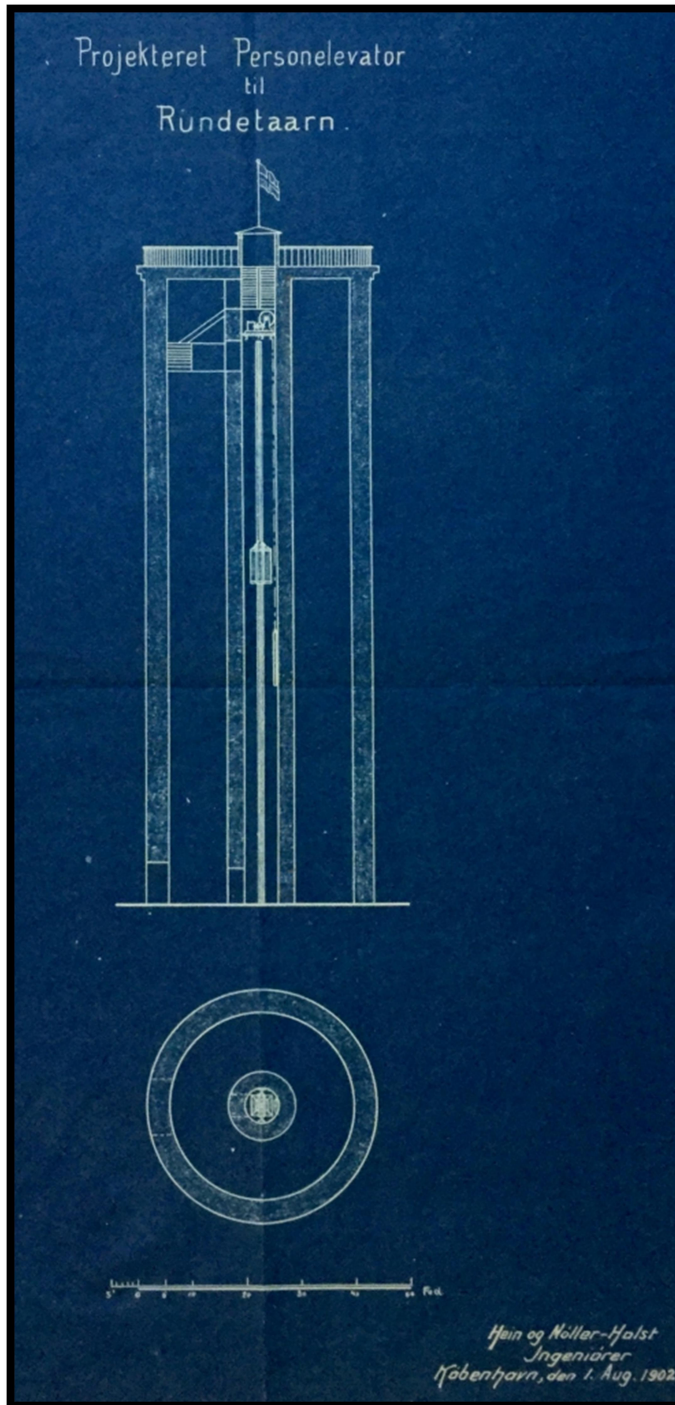


Sección de Rundetaarn.

La torre se erige hasta plataforma de observación situada a poco menos de 35 metros sobre el nivel de la calle. La cornisa protege de caídas mediante una celosía de hierro forjado. El nivel inferior a la plataforma de observación, donde desemboca la gran rampa en espiral se utilizaba de almacén y taller, para las observaciones, pero no era óptimo para la observación a través de ventanales escasos y de campo limitado. Era la cubierta transitable de la torre la que era utilizada para la observación y medición del cielo. El espacio superior de la torre poseía originalmente una torreta que coronaba una escalera espiral que conectaba el taller inferior con esta zona por donde se llevaban los instrumentos al exterior.

En la época de la inauguración, la observación astronómica empezaba a realizarse tímidamente a través de telescopios ópticos, sin embargo los modelos disponibles entonces no tenían la técnica o la calidad que alcanzarían en siglos posteriores, por lo que los principales instrumentos y desde luego los más voluminosos, seguirían siendo en un primer momento sextantes, cuadrantes y esferas armilares.

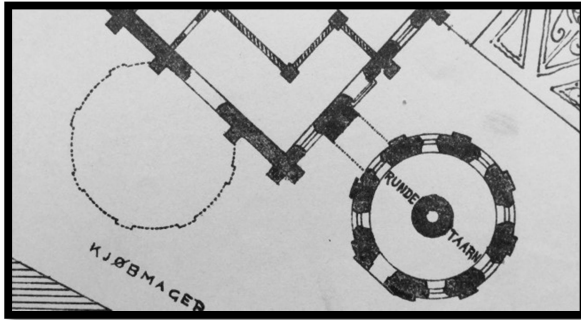
Una curiosidad acerca del funcionamiento de la edificación era que la distancia a la calle u otros edificios forzó la necesidad de instalar una letrina en el taller superior de la torre para los investigadores. Sin embargo no había sido planteada ninguna instalación adicional que diera salida al retrete, por lo que la evacuación del mismo se realizaba a un espacio hueco en el interior del pilar central de la torre que no tenía a su vez posibilidad de acceso en la zona inferior. Esto constituyó por tanto una de las más grandes fosas sépticas que se conocen. Un proyecto posterior, a comienzos del siglo XX, contempló aprovechar este espacio para situar un elevador, nunca realizado.



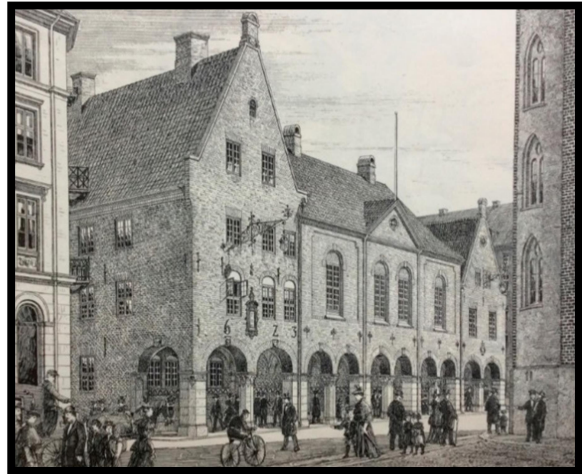
Elevador no construido aprovechando el hueco del núcleo central.

El complejo sufrió daños durante el Gran Incendio de Copenhague en 1728 y fue reconstruido en parte. La universidad hizo uso del observatorio hasta 1861 cuando el tránsito en crecimiento en las calles producía vibraciones y falta de precisión en las mediciones, por otro lado los instrumentos necesarios para la observación astronómica habían aumentado hasta un tamaño que no podía ser soportado por la estructura y los espacios de la torre. El observatorio de la universidad fue trasladado a unas nuevas instalaciones en un parque urbano a un kilómetro de distancia.

A finales del siglo XIX y con el creciente tráfico y expansión de la ciudad una mirada de proyectos giraron en torno a la Torre Redonda. La calle que pasa entre los dormitorios de estudiantes, Regensen, y la torre se había vuelto muy concurrida y peligrosa para el peatón. En este punto la calle era más estrecha y siempre había problemas entre los conductores y la gente a pie. Entre los proyectos que se propusieron destacaron algunas ideas muy radicales que proponían mover toda la torre o la torre y el complejo a la vez, a diferentes puntos cercanos para dar mayor anchura a la calle. Sin embargo fue un discreto proyecto que creaba una galería cubierta para peatones en la fachada del edificio de dormitorios, llevado a cabo por Martin Borch en 1908, el que solucionó el problema. Años más tarde la calle se convirtió en totalmente peatonal y el tráfico rodado fue desviado por otras vías.



Proyecto de reubicación de la torre para ampliar la vía. Galería de peatones finalmente ejecutada.



En 1929, la torreta de acceso a la plataforma fue modificada y se amplió con una estructura totalmente metálica, más ligera, de unos 7 metros de altura y un diámetro de 6 metros, cubierto con una cúpula metálica a modo de los observatorios contemporáneos; alberga varios telescopios sobre una única montura. Hoy en día es usado por temporadas y está abierto al público.



Estado actual de la cubierta con las nuevas instalaciones.

Rundetaarn fue solo cinco años posterior al observatorio de Leiden, considerado el más antiguo todavía en funcionamiento, y se encuadra en una época en la que las principales potencias invirtieron gran parte de tesoro nacional en el desarrollo de la navegación para imponerse en las colonias del Nuevo Mundo; fue en esta época por tanto en la que el desarrollo de los observatorios sería de vital importancia para conseguir tal fin. A pocos años de la construcción de Rundetaarn, Francia e Inglaterra construyeron sus principales observatorios en París y Greenwich.

El Observatorio de París (1667)

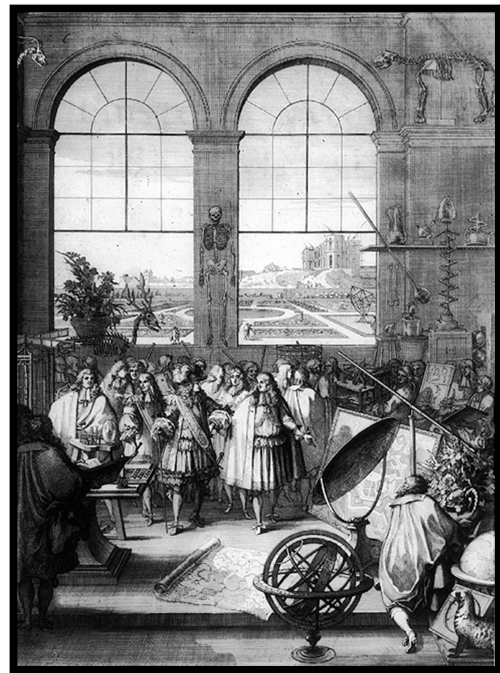
El observatorio de París original queda hoy imbuido por la urbe de la capital, sus instalaciones se han ido expandiendo a lo largo de tres siglos y medio de historia e innovaciones, así como de un empeoramiento de las condiciones para lo que inicialmente fue su propósito, la observación del cielo. Su historia corre de la mano del observatorio de Greenwich, en muchas ocasiones enfrentada por cuestiones de dominación de los océanos o de la imposición del origen de coordenadas terrestre.

En 1665, Adrien Auzout (1622 – 1691), astrónomo nacido en Rouen, propuso al rey Luis XIV la fundación de la Academia de las Ciencias de Francia. La proposición fue original pues Auzout había publicado ese año una “Efemérides del cometa de 1664”, en la dedicatoria del documento a Luis XIV, Auzout había apremiado la necesidad de esta institución “por la gloria de vuestra majestad y la reputación de Francia”.

En los últimos años se había producido por Europa la proliferación de instituciones científicas dedicadas al estudio de la geodesia y la astronomía, debido a la necesidad de todas las naciones que quisieran imponerse en la conquista del océano y los nuevos territorios del Oeste, con los que el comercio era una gran fuente de riquezas. La astronomía proporcionaba a las flotas nacionales herramientas indispensables para emprender viajes más seguros y navegaciones más precisas a toda América, por lo que el rey Luis XIV no tardó en apoyar la iniciativa y encomendar la creación de la academia.

En los meses siguientes Jean Baptiste Colbert, ministro de Luis XIV, fue reuniendo una serie de científicos, entre ellos al propio Auzout, que conformarían el cuerpo principal de la academia. Muchos de los nombre en la lista inicial fueron astrónomos que consecuentemente apremiaron la construcción del Observatorio de París.

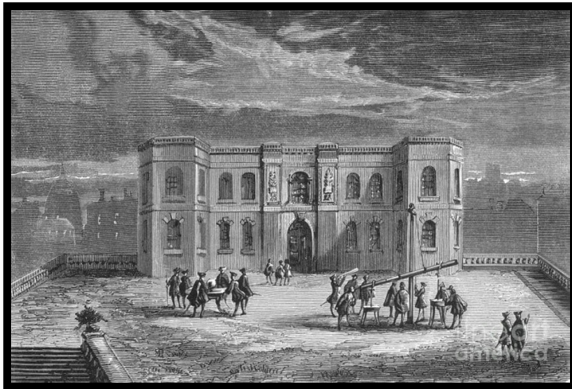
En un primer momento las instalaciones del observatorio, se pensaron en la colina de Montmartre, sin embargo esta zona de la ciudad estaba bastante consolidada y se preveían muchos impedimentos para el desarrollo de las actividades de la institución, principalmente el ajetreo y el polvo que el tráfico produciría. En esta época el Sur de París, más allá de la ribera izquierda del Sena, era una zona campestre con huertas y molinos donde la ciudad y el bullicio de la urbe no habían llegado todavía. Por tanto a un kilómetro al Sur de los jardines del Palacio de Luxemburgo se decidió el emplazamiento del observatorio y el lugar original de la academia. La zona era llamada ya entonces Montparnasse al ser un entorno bucólico frecuentado por poetas y estudiantes donde acostumbraban a recitar poemas, de ahí la referencia al monte Parnaso de la mitología griega.



Visita de Luis XIV en 1671 a la academia, observatorio en construcción al fondo

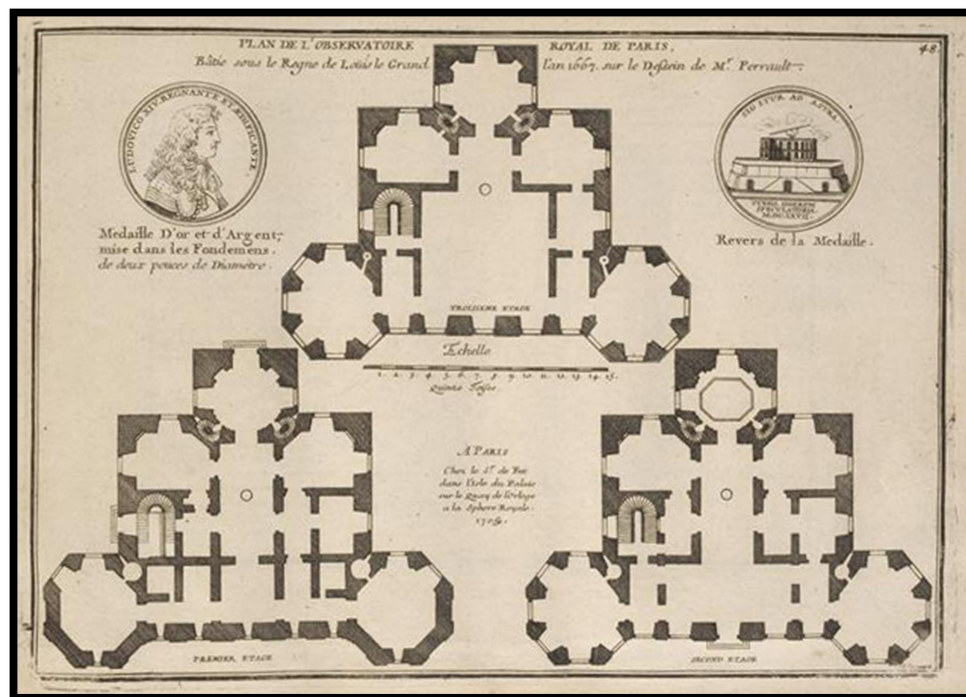
Jesús Carmona Morales

En el siglo XVIII la zona sufrió una remodelación que eliminó las principales diferencias de nivel de la colina original.



Grabado del s. XVII del edificio principal

Los trabajos del observatorio fueron encargados al arquitecto Claude Perrault (1613 - 1688). Perrault estaba realizando en esa época la construcción de la columnata del Louvre. Posteriormente al observatorio hizo una de las traducciones más difundidas de “Los diez libros de arquitectura” de Vitruvio. El trazado de la orientación del edificio fue una suerte de acto fundacional, en el día del Solsticio de verano de 1667, en el que los astrónomos de la academia trazaron la orientación del edificio con el mediodía local. A partir de este punto el arquitecto propuso un edificio sensiblemente cuadrado (31 x 29 metros) orientado a los cuatro puntos cardinales, flanqueado en la fachada Sur por dos torreones octogonales. Sus cimientos se asientan sobre parte de las catacumbas de París y poseen gran profundidad, se comenta que se hunden en el terreno tanto como sobresale el edificio.



Plantas del observatorio de París (Edificio Perrault)

El edificio fue realizado en piedra, sin usar madera ni metal, por miedo a posibles incendios y a perturbaciones magnéticas. Perrault fue uno de los arquitectos clasicistas más importantes de la época, en el observatorio se aprecian los valores de la tendencia del siglo, es un edificio proporcionado y equilibrado sin alardes ornamentales. Los paramentos son lisos con algunas decoraciones en determinados ejes.



Fachada Sur del edificio de Perrault

Poco después del inicio de las obras, el espoleador original del proyecto Adrien Auzout marchó a Italia. Para 1671 se registra una visita de Luis XIV a la academia en la que todavía no se había terminado el observatorio, es para esta fecha que la corona consigue traer desde Italia a un nuevo director, Giovanni Domenico Cassini, que iniciaría una estirpe de astrónomos y directores de la academia.

Cassini no estuvo de acuerdo con el diseño original del observatorio, Perrault no había previsto que a pesar de lo grandes que se habían pensado los ventanales de los torreones no sería fácil la observación y el seguimiento de objetos debido a los espesos muros de carga. Por otro lado la cubierta poseía una balaustrada que no protegía las instrumentaciones del viento con lo que las mediciones no eran todo lo precisas que se deseaba. Perrault modificó el plano original del edificio añadiendo un torreón cuadrado en la fachada Norte, donde Cassini pensó destinar el cuadrante mural del observatorio.

La planta del observatorio es simétrica respecto al eje Norte-Sur, la simetría se rompe únicamente en la caja de escaleras. El acceso principal se encuentra en la fachada Norte, donde se añadió el bastión cuadrangular posteriormente. Tras la sala de esta pieza el observatorio se despliega a izquierda y derecha con estancias de diferente tamaño repartidas a lo largo de la galería principal que se cruza en la fachada Sur con otra galería que da acceso a los torreones octogonales. La escalera principal queda situada al Oeste de la galería principal.

Las demás plantas del edificio repiten prácticamente la estructura de la planta de acceso. La galería principal del segundo piso toma el nombre de "sala de la meridiana" o "sala de Cassini", pues allí se sitúa la meridiana del observatorio, una línea de bronce donde el Sol se proyecta



Jesús Carmona Morales

cada mediodía y es posible leer la fecha y posición zodiacal del Sol mediante muescas y dibujos en losas de mármol a ambos lados del metal. Esta gran sala fue otra de las modificaciones de Giovanni Domenico Cassini al proyecto original. Cassini I había sido el artífice de la línea meridiana instalada en la iglesia de San Petronio en Bolonia en 1655, y en el que sería su lugar de trabajo hasta su muerte hizo las modificaciones necesarias para tener este instrumento también disponible. La meridiana estaba prevista para calcular y detectar modificaciones en la oblicuidad de la eclíptica de la Tierra, su precisión llega a los 10 segundos de arco. A una altura de casi diez metros sobre el pavimento, en el muro Sur, una perforación sobre un aplique de bronce (hoy sustituido por una lente) producía la proyección del Sol sobre la línea en las cercanías del mediodía. Cassini I, no vio finalizada la meridiana, que fue terminada por su hijo, Jacques Cassini (Cassini II), entre 1729 y 1732, y fue utilizada por el astrónomo para obtener al menos 450 mediciones directas a lo largo de su vida.



Actualmente en la plaza de acceso al edificio se sitúa la estatua de uno de los directores del observatorio, Urbain Le Verrier, codescubridor por cálculo del planeta Neptuno.

El observatorio fue el centro del desarrollo del meridiano de París, desde el que se proponía medir todos los demás meridianos; este meridiano cero francés pasaba por el eje del observatorio de París y fue la línea de referencia de las mediciones de toda la nación francesa. En la cubierta del edificio existe un pilar geodésico que referenció las mediciones de Francia. Finalmente en 1884 se instauró el meridiano de la rival Greenwich como origen oficial de coordenadas de las longitudes terrestres. Sin embargo actualmente a lo largo de París todavía es posible encontrar puntos donde se señala el paso del meridiano del observatorio de París mediante medallones con la inscripción "ARAGO" sobre ellos.

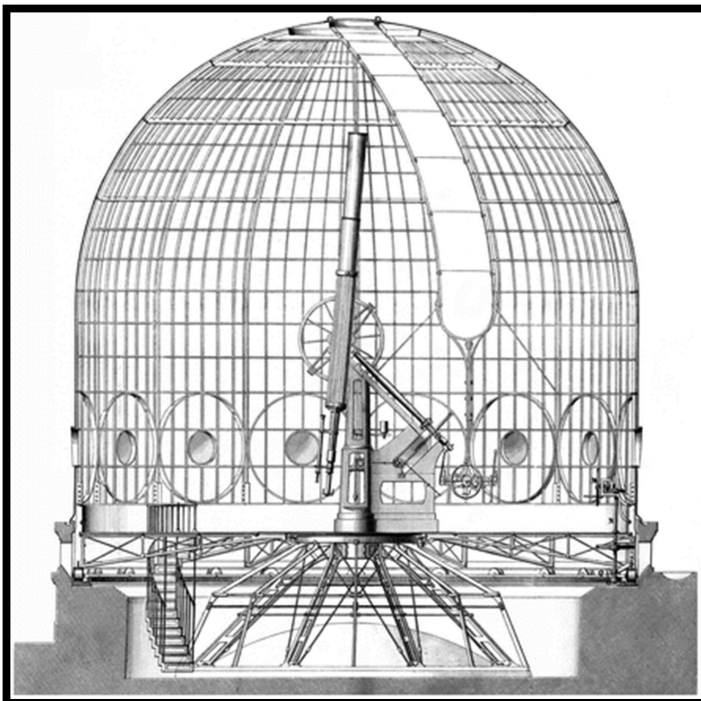
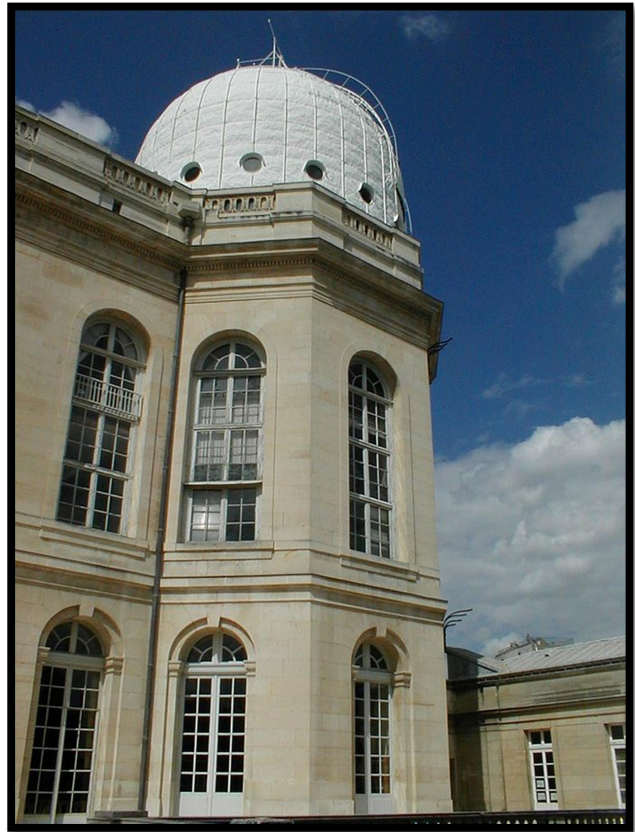
Durante la revolución francesa se asociaba al edificio con el régimen derrocado y fue propuesta su demolición para construir un parque, de hecho en los asaltos que sufrió el observatorio fueron destruidos los telescopios al ser confundidos con armas y cañones. Sin embargo la cartografía de Francia que se estaba realizando en ese momento desde el observatorio sirvió a la dinastía Cassini para justificar la utilidad de la institución.

El observatorio albergó algunos de los mayores telescopios de la época, la mayoría de ellos móviles para observaciones exteriores o desde el resguardo del edificio. Fue en el siglo XIX cuando el observatorio sufre varias modificaciones y ampliaciones. Una de las principales modificaciones fue la instalación de una cúpula de observación para albergar un telescopio, fijo en este caso, de dimensiones y complejidad poco usuales.

Jesús Carmona Morales

En 1846 se iniciaron los trabajos de modificación del torreón oriental, supervisados por el director del observatorio y astrónomo François Arago, dotándolo de una cúpula metálica de estructura de bronce de 13 metros de diámetro con un peso de unas 20 toneladas. Bajo esta cúpula se instalaría un telescopio refractor de 38 cm de diámetro y 9 metros de longitud, sobre una montura ecuatorial metálica.

La cúpula estaba sustentada por los muros de carga de piedra del torreón, pero el telescopio que ocuparía el centro del espacio no podía apoyarse sobre la bóveda circular de piedra que coronaba el torreón, por lo que se ideó una estructura metálica oculta que descargara el peso del instrumento a los muros perimetrales. Esta estructura quedaba oculta sobre el nuevo suelo de madera que ocultaba la bóveda del piso inferior creando una cámara en la que se incluyeron los sistemas de carrusel que movían la instalación para la orientación deseada.



Sección del refractor Brunner y su apoyo en la estructura

El refractor Brunner bajo la cúpula que se terminó en 1854 fue el telescopio de este tipo más grande del mundo en aquel momento, compitiendo con otros dos similares en Harvard y Pulkovo. Este instrumental todavía se conserva en el observatorio actual.

Jesús Carmona Morales



En 1886, Edmond Louis Dupain, realizó un fresco en la bóveda de la “Sala del Consejo”, la pintura representaba una alegoría del tránsito de Venus por delante del Sol ocurrido el 6 de diciembre de 1882 (segundo tránsito y último del siglo XIX y hasta los ocurridos en el siglo XXI). La alegoría muestra a la diosa Venus llevada por unas palomas blancas al encuentro del dios Apolo en su carro solar tirado por cuatro caballos blanco. La escena se acompaña de un astrónomo laureado que toma anotaciones rodeado por diferentes instrumentos (entre ellos un telescopio y un globo terráqueo). Los tránsitos de Venus fueron utilizados como una medición muy fiable para determinar con mayor exactitud la distancia de la Tierra al Sol.

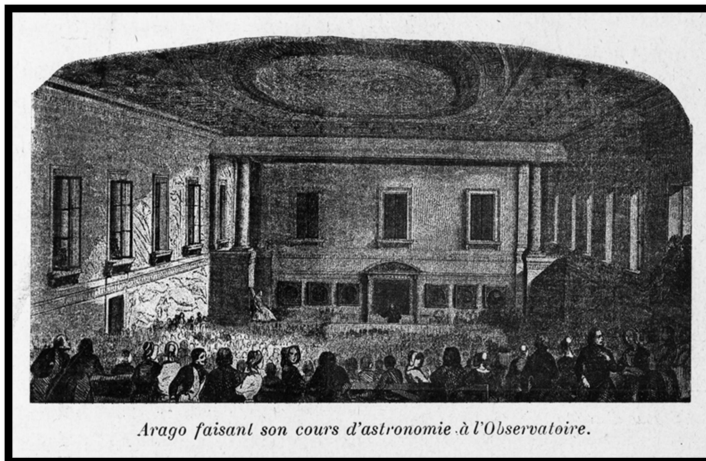
El observatorio se amplió con nuevas alas conectadas a los torreones en el siglo XIX. El ala

Refractor Brunner en la cúpula Arago
Oeste fue el resultado de los esfuerzos del director del observatorio desde 1834 a 1853, François Arago. Arago desde 1813 programaba charlas de divulgación de la astronomía abiertas al público con un gran éxito y afluencia; tras haber impartido estos cursos en diferentes sitios consiguió presupuesto para construir un pequeño anfiteatro junto al torreón Oeste del observatorio. El espacio fue diseñado por el arquitecto Alphonse de Gisors, construido en piedra, exteriormente seguía los ritmos del edificio adjunto original, sin mayores alardes. Interiormente tenía capacidad para 800 personas y estaba profusamente decorado. Fue terminado en 1841, sin embargo Arago pudo continuar sus cursos allí solo por cinco años hasta que la diabetes le obligó a abandonar esta actividad. El edificio quedó sin uso hasta su muerte



Alegoría del Tránsito de Venus (Sala del Consejo)

Jesús Carmona Morales



Arago faisant son cours d'astronomie à l'Observatoire.

debido a esta enfermedad en 1853. El sucesor de Arago, Urbain Le Verrier, no estaba interesado en continuar la divulgación de éste y demolió el espacio para construir su propia vivienda cubriendo esta 400 m².



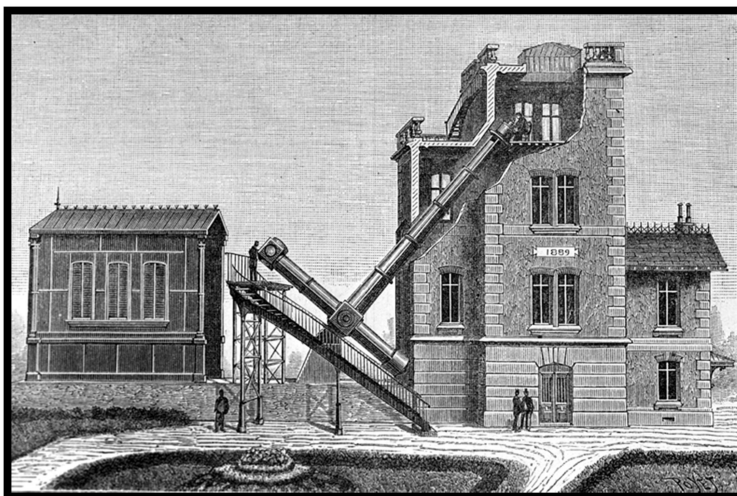
Ampliación Oeste (apartamentos de Le Verrier)

Los jardines del observatorio

Los jardines del observatorio se extienden hacia el Sur del edificio, tras la zona aterrazada que lo limita; una zona al Sur del recinto del observatorio es conocida como “Los Jardines del Observatorio” y ha tenido cualidad pública durante muchos años. Sin embargo problemas de delincuencia y seguridad recientes han obligado a cerrarla hasta verano de 2018 cuando un acuerdo entre el observatorio y el ayuntamiento tras la presión vecinal forzó medidas para una apertura segura; este jardín extramuros cuenta con una línea que marca el meridiano de París. Los jardines dentro del recinto del observatorio de París, albergan diferentes pabellones resultado de ampliaciones a lo largo del tiempo repartidos en un trazado sencillo que parte del edificio. En los jardines podemos encontrar: el gran telescopio ecuatorial “en codo”, el telescopio meridiano y los pabellones del proyecto de cartografía del cielo “Carte du Ciel”.



Dibujo de los terrenos del Observatorio de París (web: www.obspm.fr)



Alzado con sección del edificio del gran telescopio en "codo"

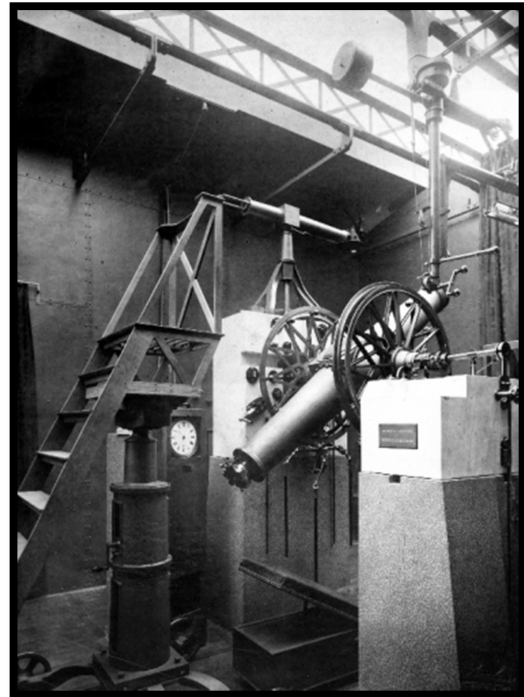
El Gran Telescopio en Codo

El edificio del gran telescopio "en codo" fue construido en 1889, consistía en un edificio de varias alturas realizado en ladrillo y piedra, complementado con un hangar metálico adosado en la cara Sur. El edificio de ladrillo y piedra poseía una serie de perforaciones en los muros para dar paso a un gran tubo del telescopio ecuatorial en codo. Este instrumento tenía la cualidad de que el usuario no debía mover su posición para observar conforme se moviera el objeto celeste o se cambiara de un

Jesús Carmona Morales

objeto a otro, el ocular conservaba siempre la misma situación, hábilmente pensada dentro del piso superior del edificio en piedra. Para conseguir esto el telescopio tenía una montura y configuración singular que quedaba dentro del mencionado hangar metálico. Este hangar permanecía cerrado y adosado al edificio para proteger el instrumento de las inclemencias del tiempo cuando no era utilizado, y podía deslizarse por raíles para dejar el telescopio al descubierto. La complejidad del telescopio en codo hacía necesaria la presencia de una escalera metálica para acceder a su limpieza y mantenimiento. El diseño de este telescopio fue obra de otro director del observatorio, Maurice Lewy, que construyó el modelo más grande conocido de este tipo para estas instalaciones, inaugurado en 1891 y que se mantuvo activo hasta 1939. Hoy solo algunas partes del telescopio así como del edificio original se conservan.

El telescopio meridiano, era llamado el "instrumento del jardín", fue financiado por el banquero Raphaël Bischofsheim, en el tercer cuarto del siglo XIX e instalado finalmente en 1877 en un pequeño edificio en la zona Este del jardín cerca del edificio principal. Mediante este instrumento el observatorio pudo completar la verificación y corrección de la cartografía de Lalande (de unas 5000 estrellas). Posteriormente participó en la creación de otros catálogos estelares. Las mediciones astrométricas realizadas desde este instrumento se mantuvieron hasta que fueron relevadas por el telescopio meridiano del observatorio de Burdeos y por el proyecto Hipparcos.



Pabellón "Carte du Ciel"

El pabellón "Carte du Ciel", llamado así por el proyecto para el que fue concebido, consiste en un edificio de un único nivel con dos cúpulas astronómicas metálicas una en cada extremo conectadas por la galería central. Pabellón aprovecha un desnivel con talud para asomarse a los jardines inferiores. En 1887 un congreso de fotografía fue celebrado en París, su principal interés estuvo centrado en la fotografía de estrellas. Se propuso en este congreso iniciar un proyecto a nivel mundial en el que se fotografiaría con dos técnicas distintas (con mayor y menor detalle) toda la bóveda celeste, con el fin de crear la primera cartografía fotográfica del cielo. El observatorio de París construyó este pequeño pabellón para cumplir con la parte que le fue asignada para este fin. El proyecto fue llamado "Carte du ciel", y para obtener resultados homogéneos en los observatorios que participaban a lo largo del globo (18 en total y entre ellos el Real Observatorio de la Armada de San Fernando) se dotaron todos de los mismos instrumentos, prácticamente todos construidos por el mismo taller. El proyecto, que subestimó una inversión inicial de 10 años, fue cancelado oficialmente en 1970 sin haberse finalizado y tras más de 10.000 negativos (con exposiciones de hasta 15 minutos de tiempo).



Pabellón "Carte du Ciel"

El entorno del Observatorio

Como colofón a este emplazamiento y ya fuera del propio recinto traeremos los lugares cercanos que guardan relación con el observatorio. Las calles y avenidas que circundan y llevan al observatorio han sido nombradas con los astrónomos más notables de la historia de la institución (Rue Cassini, Boulevard Arago y Rue Mechain) y también señalan la existencia del edificio como un elemento consolidado de la ciudad (Avenue de l'Observatoire).

Por otro lado, la llamada "Fuente del Observatorio", que no pertenece a este edificio, ni a este recinto, sí que entronca con la historia de la zona urbana y está directamente relacionada con la influencia del observatorio. En 1886 el Barón Haussmann propuso en la zona del Palacio de Luxemburgo una reforma para su plan de renovación de París, entre las diferentes acciones de remodelación y obras de calles, en la confluencia de los tres ejes de la Avenida del Observatorio, Boulevard Saint Michel y la Rue d'Assas, se proyectó una fuente que cerrara las zonas ajardinadas al Sur del palacio de Luxemburgo. Desde el comienzo del proyecto la temática de esta fuente estaría relacionada con el cercano observatorio a sólo 500 metros. El escultor Jean-Baptiste Carpeaux (1827–1875) fue el encargado de crear el programa escultórico de la fuente con la única indicación de no ocultar la vista de la cúpula del observatorio, que había sido instalada apenas una década antes, la distancia de la fuente al edificio difícilmente podía tener tal cualidad pero en cualquier caso las instrucciones fueron así. Carpeaux hizo varios estudios de figuras apuntando a los cuatro puntos cardinales, pero finalmente consideró que las estatuas quedarían demasiado hieráticas por lo que cambió esta idea por la de los cuatro rincones del mundo, siendo las estatuas representaciones de los pobladores de Europa, América, África y Asia, que sostienen en medio de una escena más dinámica entre todas un orbe. La fuente de hecho se conoce también como "La fuente de las cuatro partes del mundo". El orbe superior, realizado por el escultor Eugène Legrain, se realiza solo como líneas de meridianos, paralelos y los trópicos terrestres, y circundado por una banda con los signos del zodiaco dando la supuesta transparencia que se había solicitado para la fuente respecto a la cúpula lejana del observatorio.

El director del observatorio entonces intervino en el diseño final solo para corregir la disposición de la banda zodiacal indicando que esta debía estar inclinada respecto a los paralelos si pretendía representar la eclíptica de la Tierra, la modificación fue incorporada. En la base de la fuente grupos de caballos aumentan el dinamismo del conjunto ayudados por el juego con los principales chorros de agua.



Fuente del observatorio

El edificio del observatorio tuvo un declive hacia mitad del siglo XX, cuando la ciudad de las luces precisamente hizo de su apelativo un obstáculo insalvable para la observación del cielo. Las instalaciones continúan abiertas al público y programan diferentes eventos a lo largo del año, pero la actividad científica y de observación se ha trasladado a otros puntos como el observatorio Meudon, a unos 10 kilómetros del lugar, fundado en 1876 (hacemos una pequeña reseña más adelante), o el observatorio de Nançay que comenzó a funcionar en 1953.



Fuente del observatorio (detalle)

Observatorio Meudon



Observatorio Meudon (fachada Oeste)

Finalmente reseñamos brevemente el sitio del observatorio de París en los terrenos del Castillo de Meudon. Donde se erige el enclave del observatorio Meudon, en este emplazamiento preexistía el Chateau Neuf diseñado originalmente por Francesco Primaticcio como palacio de verano y ampliado posteriormente por Jules Hardouin-Mansart a principios del XVIII. El castillo estaba

Jesús Carmona Morales

situado a lo largo de un desnivel, con tres alturas en la zona más baja y dos en la parte superior. Poseía líneas clásicas, con frontones triangulares centrados en las fachadas principales y órdenes jónicos.

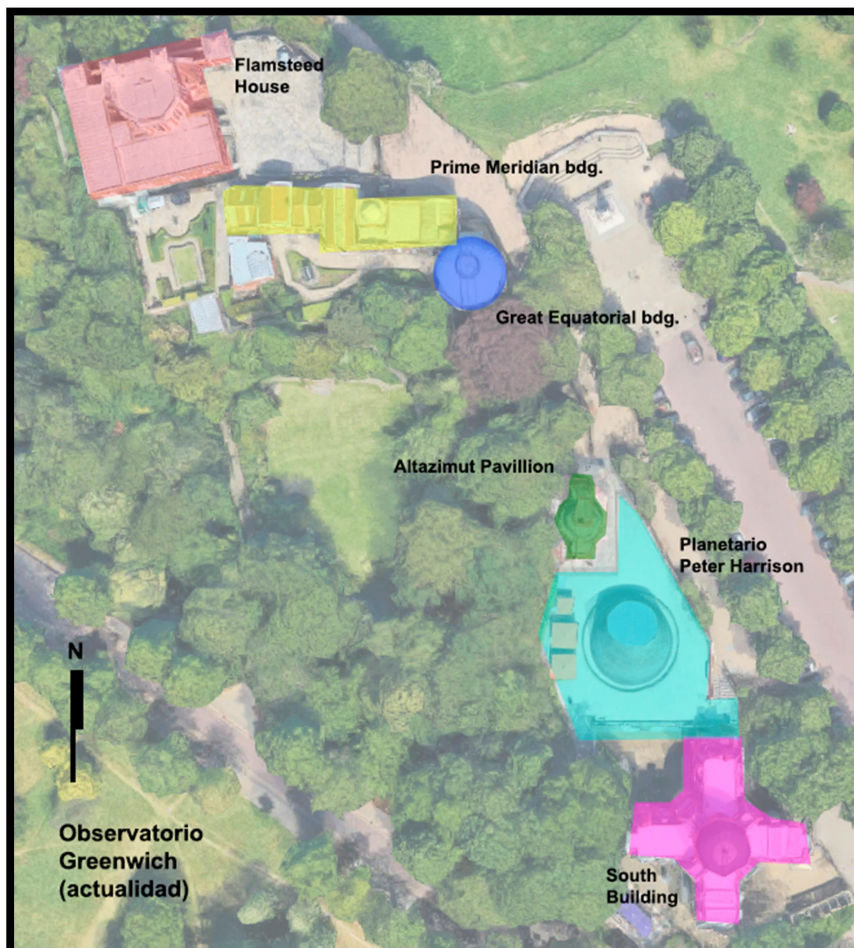
A final del XIX el castillo había sufrido los estragos de la artillería de la guerra franco-prusiana, había perdido la cubierta y parte de los forjados, sin embargo los muros habían resistido bien. Una parte del "chateau" original fue recuperada para el observatorio en la restauración del arquitecto Constant Moyeux, creando la cúpula para instalar el gran refractor diseñado por Jules Janssen en 1891. El destino de este refractor de 83 centímetros de diámetro fue siempre para la observación visual, aún llegado el tiempo de las placas y la fotografía astronómica.



Ruinas del Chateau Neuf (fachada Este)

El Observatorio de Greenwich (1675)

El observatorio inglés a diferencia de su homólogo francés de la misma época, fue el resultado de diferentes construcciones de entidad media que conformaron un centro astronómico de vanguardia en los siglos XVIII a XIX. Mientras que el observatorio de París consolidó un edificio principal que no fue alterado o ampliado especialmente en un par de siglos, en Greenwich los inicios del observatorio fueron una pequeña vivienda con espacios de observación (Flamsteed House), y posteriormente otras construcciones añadidas cercanas a la primera, conforme otras necesidades e instrumentación eran necesarias, así como otros tiempos menos críticos llegaban a Inglaterra, estas serían: el edificio del primer meridiano, el gran edificio ecuatorial, el pabellón Altazimut, el Edificio Sur y el planetario Peter Harrison.



Carlos II de Inglaterra era primo del monarca francés Luis XIV. Debido a la imperiosa necesidad de precisas medidas para la navegación ultramar, referidas anteriormente, ambas naciones comisionaron los trabajos para la creación de observatorios reales en un breve periodo de tiempo. Carlos II siguiendo los pasos de su primo ordenó la construcción de un observatorio real ocho años después del inicio de los trabajos en París mediante una Orden Real el 4 de Marzo de 1675. En la orden se instauraba el cargo de Astrónomo Real para que “el observador astronómico, por tanto

Jesús Carmona Morales

se aplique con la más exacta diligencia y cuidado en la corrección de las tablas de los movimientos de los cielos, y los lugares de las estrellas fijas, de modo que encuentre la muy deseada longitud de los lugares para la perfección del arte de la navegación”.

El rey Carlos II encargó la construcción del Observatorio Real al arquitecto Sir Christopher Wren, Wren se encontraba por entonces inmerso en los diseños y disputas por la Catedral de San Pablo, que no se finalizaría hasta 30 años más tarde. Wren había sido profesor de astronomía en el Gresham College y perteneció al núcleo generador de la Royal Society.

Se había liberado un presupuesto de 500£ (unos 83.000 euros actuales) mediante Orden Real para la construcción del observatorio. Para obtener esta cantidad la corona destinó parte las ventas de la pólvora descompuesta a financiar la obra; el coste final sobrepasó someramente lo estimado hasta las 520£, pero obligó a dirigir severamente el emplazamiento, diseño y construcción por determinados caminos.

El emplazamiento del observatorio fue decidido por el propio Wren; su decisión se basó en el estrecho presupuesto, en que ya percibía que el núcleo de Londres no era el lugar adecuado para construir la institución y a todo ello se unía además el que unos años antes hubiera ocurrido el Gran Incendio de Londres de 1666 por lo que la ciudad sufría en aquellos momentos una profunda crisis y reconstrucción. Por otro lado el rey había animado al pueblo a expandirse fuera de la ciudad, temiendo que las expropiaciones llevadas a cabo devinieran en una rebelión. El lugar elegido fue un pequeño promontorio no lejos de los meandros del Támesis en la población cercana de Greenwich, en las extensiones libres de Greenwich Park.

Flamsteed House



El primer edificio en erigirse fue el que hoy es conocido como Flamsteed House, nombrado así por su primer ocupante, el primer Astrónomo Real, John Flamsteed. El edificio se sitúa en el extremo norte de la parte más alta de la elevación con una clara vista del río, característica definitiva en su diseño y evolución y que resultó muy útil posteriormente. Aprovechaba los cimientos de una construcción anterior erigida originalmente en la década de 1430, la torre del Duque Humphrey, también conocida como Castillo de Greenwich; esta construcción había sufrido remodelaciones a

lo largo de los dos siglos anteriores y sólo 10 o 20 años antes de la construcción del observatorio había sido echada abajo. El diseño de la nueva casa fue llevado a cabo por Christopher Wren y Robert Hooke supervisó la construcción.



Torre del Duque Humphrey y ruinas posteriores en el siglo XVII.

Debido al estrecho presupuesto los materiales de construcción fueron reciclados traídos de diferentes construcciones. Los ladrillos fueron traídos desde los almacenes de material de repuesto del fuerte Tilbury a unos 20 kilómetros río abajo; parte de la madera, el hierro y el plomo utilizados pertenecían a una construcción de acceso demolida en la Torre de Londres.



Flamsteed House desde el Norte, Dibujo de 1824. Foto desde el patio Este, en el piso superior el "Octagon Room".

En planta baja desarrolla un plano cuadrado siguiendo las directrices de los cimientos preexistentes. La construcción se realiza en muro de carga de ladrillo, con remates de piedra noble en las esquinas a modo de refuerzo para en entramado de las fábricas; en planta baja el edificio original contaba con cuatro estancias principales, mientras que en planta alta contaba con una sola gran habitación que ocupaba toda la superficie, la habitación del octógono (Octagon Room), con esta forma, aunque Flamsteed la llamó inicialmente Camera Stellata. Allí se situaban los principales instrumentos de observación. La habitación del octógono destacaba ya entonces por su gran altura, necesaria para poder albergar los péndulos de cuatro metros de longitud de los relojes Tompion que fueron instalados en la pared Norte-Este, aún hoy en día es la única parte del edificio que se sobreeleva de la planta baja tras las sucesivas ampliaciones.

Jesús Carmona Morales

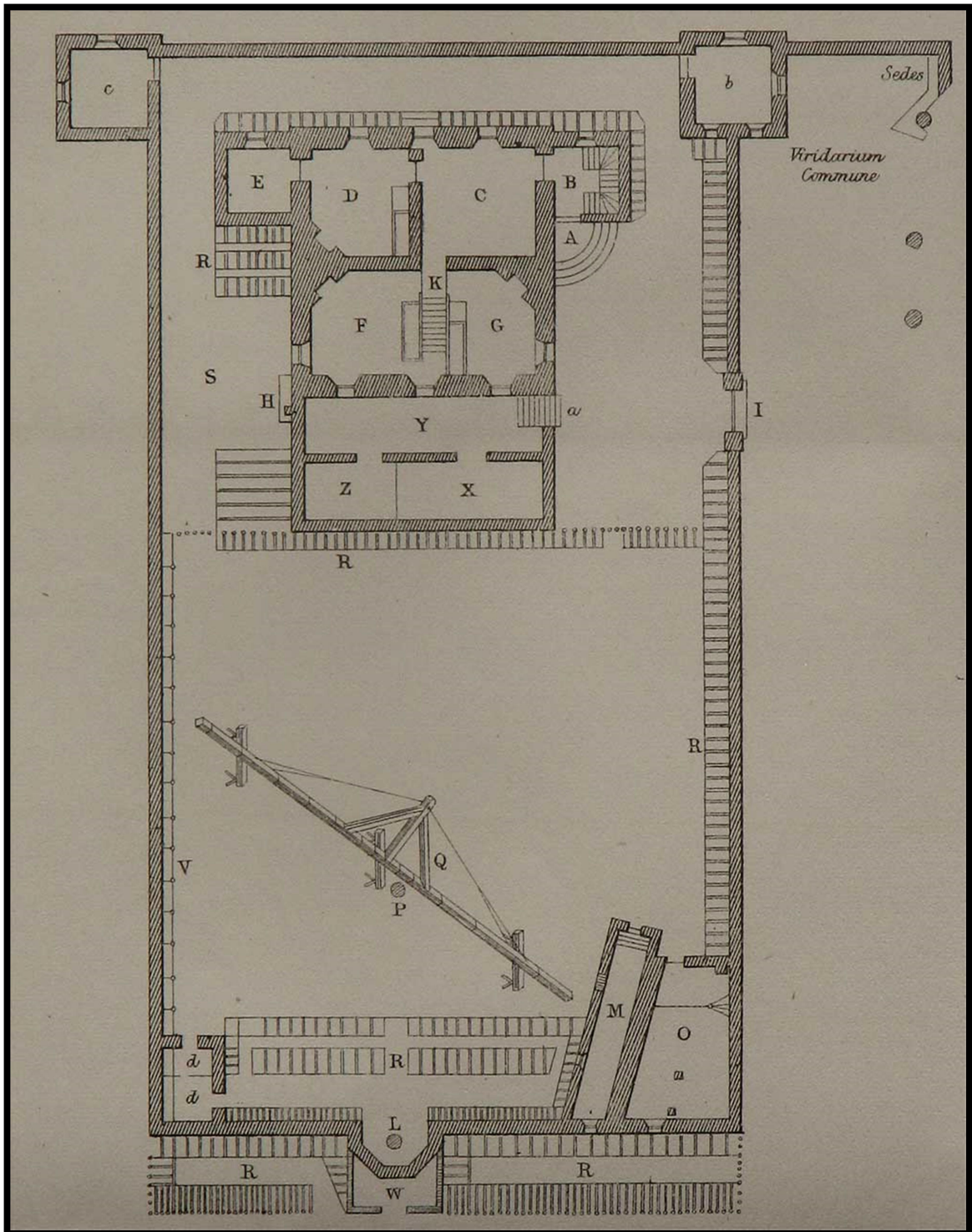


Octagon Room. Grabado y situación actual.

La habitación posee ventanales de gran altura que facilitaban la observación del cielo. Flamsteed dejó claras críticas a la orientación del edificio, por no estar los lados del octógono orientados a los puntos cardinales, para facilitar las mediciones, como se aprecia en este extracto: “Habría sido muy deseado que nuestros muros fueran meridionales, pero por ahorro de cargas fueron ajustados a los viejos (se refiere a los cimientos preexistentes), que están 13,5º fuera del mediodía verdadero”. El modo en que se han abordado las reformas posteriores hace pensar que el aspecto que ofrecía el edificio hacia Greenwich Park y especialmente hacia la Queen’s House fueron la razón para no alinearlos con los ejes cardinales.



Vistas del Queen’s House desde el Royal Observatory



Planta principal de Flamsteed House (c. 1676). Norte no alineado. Las referencias a letras del texto corresponden con este plano.

La visibilidad de la casa desde el río fue utilizada para poner en hora los relojes de los buques de la armada inglesa en el Royal Naval College desde 1833 cuando el observatorio instaló una “esfera de señales horarias” (Time ball) en la cubierta de casa Flamsteed. Esta esfera, de armazón de madera y cubierta de cuero negro, se dejaba caer a la 1 p.m. marcando el momento de esta hora. Tras haber sufrido en los dos últimos siglos con vendavales y las guerras mundiales hoy en día sigue cumpliendo la misma función pero con una esfera de aluminio de color rojo.

Jesús Carmona Morales

Flamsteed hizo uso de la habitación del octógono cómodamente para las mediciones, pero ya en el siglo XVIII la longitud de nuevos telescopios le obligó a usar otras dependencias, como la cubierta transitable de la propia habitación del octógono, a la que se accedía mediante una escalera espiral oculta en uno de los muros. En la cubierta mientras fue posible debido a su tamaño dio albergue a un telescopio refractor de 16 pies (4,87 metros de longitud), posteriormente reemplazado por otro de 27 pies (8,23 metros).

El conjunto se completa con pequeños torreones, Summerhouses (letras c y b) , (en el Noreste y Noroeste del conjunto) a los lados del cuerpo principal que fueron aprovechados para pequeños instrumentos (como la Camera Obscura de Flamsteed).

En el jardín posterior, al Sur, además de pequeñas instalaciones de letrinas (esquina Suroeste del jardín, letras d), se reservó un lugar a una construcción en dos espacios que albergaba un sextante y un cuadrante (esquina Sureste, letras M y O). Entre ambas esquinas el jardín finalizaba con un reloj de Sol dominando un espacio abierto al Sur (letra L). El edificio del sextante y el cuadrante poseían cubiertas móviles de madera que dejaban al descubierto a los instrumentos para las observaciones y se replegaban para proteger los instrumentos cuando era necesario.

Las construcciones del jardín se perdieron en algún momento entre 1847 y 1861, con las ampliaciones del edificio del Primer Meridiano. Sin embargo es sabido que Flamsteed tuvo que hacer correcciones a las mediciones tomadas con el sextante y el cuadrante debido a un progresivo hundimiento diferencial de los cimientos de esta estructura. Este asiento era debido a la proximidad del borde Oeste de la colina y a una deficiente construcción. Como aporte curioso, en este caso, fueron mediciones sucesivas incongruentes con los instrumentos las que pusieron sobre la pista al astrónomo acerca de que el suelo se había movido; además, determinó la tasa de hundimiento con objeto de salvar y corregir parte de las mediciones realizadas.

El instrumento más grande usado por Flamsteed fue un telescopio refractor de 60 pies de largo (18,3 metros) que se ubicó en el centro del jardín y que estaba suspendido de viejos mástiles de barco traídos a tal efecto (letras P y Q). El problema para este instrumento era el almacenaje, sin embargo, Flamsteed ideó un espacio para proteger el telescopio del exterior a lo largo del muro Oeste del jardín (letra V).

La casa Flamsteed era además la residencia del Astrónomo Real, por lo que el programa de la construcción incluía espacios no solo de talleres o despachos sino dormitorios, cocinas y demás estancias. La casa es uno de los pocos, si no el único, ejemplo de la arquitectura doméstica de mano Christopher Wren. Sucesivos astrónomos, con sus familias, se instalaron en la casa Flamsteed adecuándola a sus necesidades.

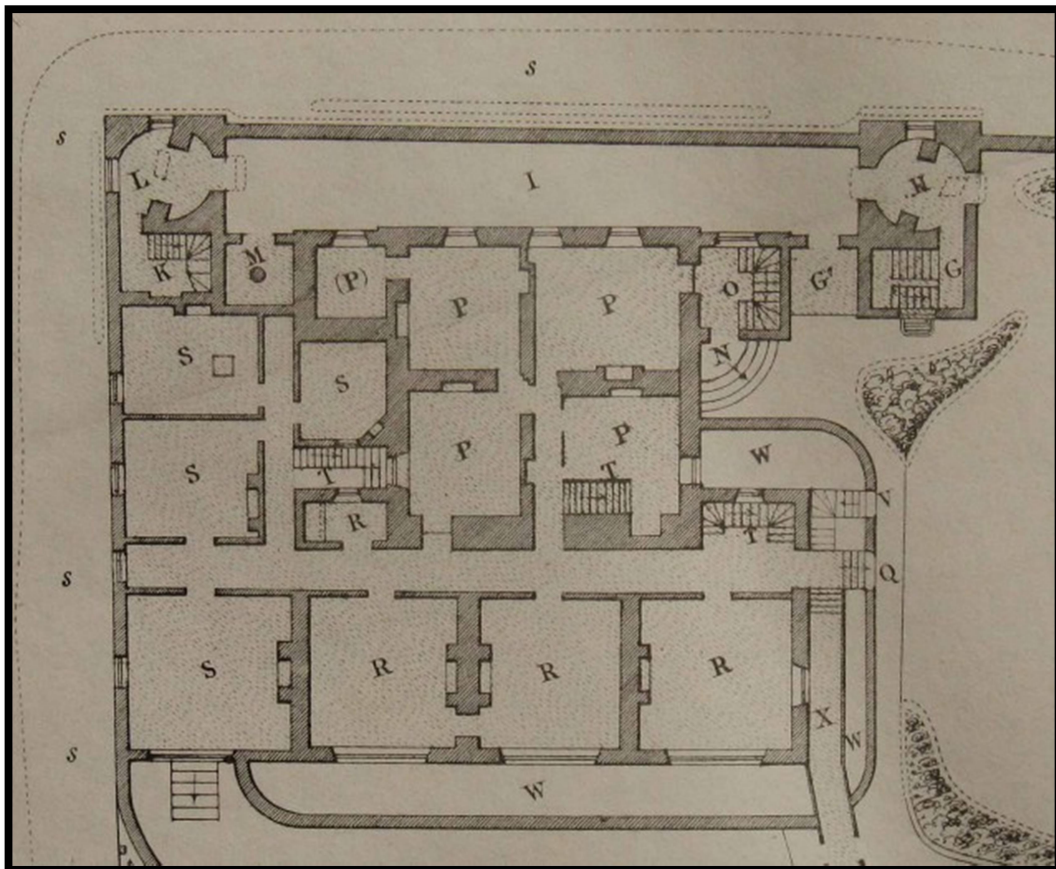
Así, Edmond Halley en 1721, añadió una habitación conectando el torreón Oeste con el cuerpo de la casa para un instrumento de tránsitos (Old Transit Room), hoy engullida por las ampliaciones posteriores. En el pequeño espacio un telescopio de metro y medio sobre una montura de tránsitos sirvió para determinar la altura de los objetos celestes que culminaban en el Sur.

James Bradley hizo una gran ampliación en 1750, añadiendo espacios en planta baja al sur de las preexistentes. El cuidado para hacerlo de este modo radicaba en no alterar el aspecto principal del edificio en la cara Norte y en el torreón sobreelevado (Octagon Room), que miraban a Greenwich Park y a Queen's House cerca del río, como ya mencionado anteriormente.

Sin embargo las alteraciones más patentes que rodearon por completo las estancias originales de Wren, salvo el Octagon Room, fueron las llevadas a cabo desde 1770 por el Astrónomo Real Nevil

Jesús Carmona Morales

Maskelyne, quien generó nuevos cimientos en todo el jardín Sur y amplió toda la planta baja. Las ampliaciones fueron delicadamente supervisadas y registradas por el Board of Visitors, libro de registros donde se valoraba la necesidad, presupuesto y posibilidades estructurales y estéticas de las construcciones en el observatorio. De entre los muchos cambios que realizó Maskelyne a final del XVIII se encuentra el cegamiento de ventanas, por una cuestión de ahorro de impuestos relacionado con las tasas por número de ventanas practicables en las viviendas. Los archivos acerca de sucesivas reformas e incorporación de instalaciones en la casa Flamsteed son muy amplios, pero su interés para este trabajo no es mayor que el del resto de construcciones que completan el observatorio que sí trataremos.



Plano de Flamsteed House posterior a las ampliaciones de Maskelyne. El núcleo original del edificio corresponde a las letras P, (P), O y parte de las R.

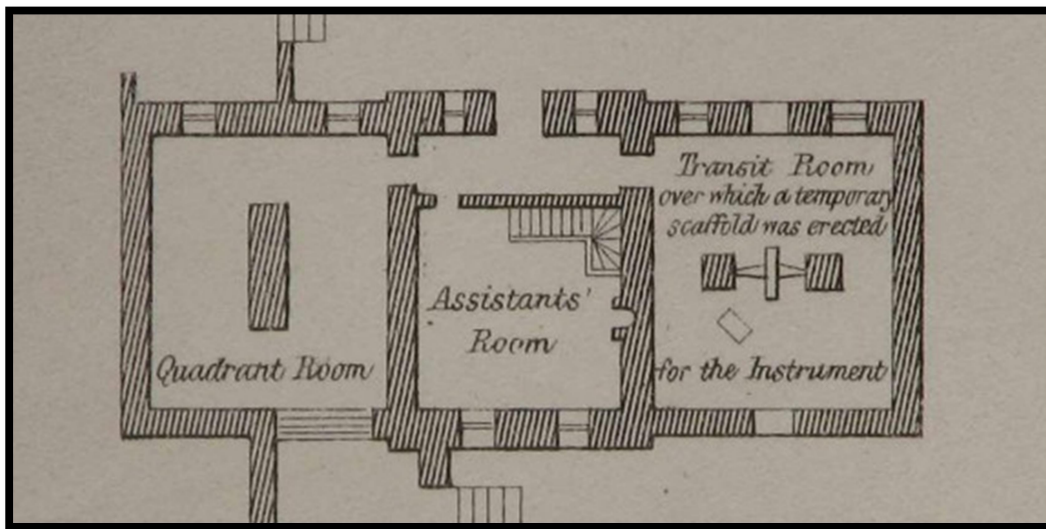
Edificio Prime Meridian



El edificio Prime Meridian, o simplemente edificio Meridian, es hoy el resultado de sucesivas ampliaciones llevadas a cabo desde mitad del siglo XVIII hasta prácticamente el siglo XX. Tiene su origen en las malogradas instalaciones del jardín de Flamsteed que sufrían hundimientos diferenciales, en esta esquina se situaría el extremo occidental del

conjunto, que fue ampliándose con el tiempo hacia el Este.

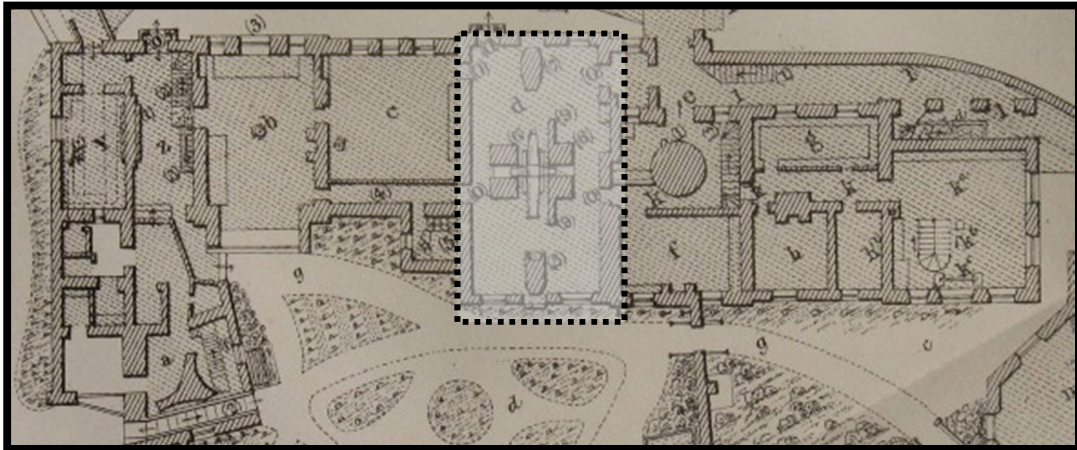
Edmond Halley incorporó nueva instrumentación al observatorio, sin embargo esta entraría en una nueva sección del mismo que no poseía estancias de vivienda, que quedaban relegadas a las existentes en la casa adyacente, Flamsteed House, ya vista. El edificio germen del Prime Meridian, por tanto, fue un sencillo rectángulo o cuadrado, no hay registros del mismo, en el que Halley instaló un cuadrante mural de 3 metros realizado por Robert Hooke. Este edificio fue conocido como la Casa del Cuadrante de Halley y no sobrevivió más allá de la mitad del siglo cuando el siguiente astrónomo, James Bradley la demolió para construir el “Nuevo Observatorio de Bradley”.



Nuevo observatorio de Bradley, sección Oeste del actual edificio. Al Este será añadido posteriormente el Transit Room, ver más abajo.

Este nuevo observatorio permanece hoy en día, como sección Este del conjunto del Prime Meridian. Está trazado mediante una planimetría simétrica que en esta ocasión sí se alineaba con el eje Este Oeste. En la parte central se encontraba un pequeño despacho con una escueta biblioteca de manuales para las computaciones necesarias y un reloj Graham; desde aquí se tomaba nota de las mediciones realizadas con el cuadrante en la zona Oeste y con el telescopio de tránsitos en la zona Este. La parte central posee una segunda altura donde podía descansar el asistente de observaciones cuando era posible. Los tejados, a cuatro aguas, tenían aberturas correderas para las observaciones con estos instrumentos. Para ampliar el horizonte los muros y pretilas quedaban recortados en esta zona y se abrían con las cubiertas. Este edificio fue modificado en 1960 para la adaptación como museo, de las reformas visibles a simple vista está el muro Oeste, que fue demolido y la cubierta a cuatro aguas convertida en dos.

A este edificio le fue añadida una continuación en su lado Este en 1809. Nevil Maskelyne fue el responsable de la ampliación, para albergar el nuevo círculo mural que se instalaría allí. La habitación del Círculo Mural, llamada Transit Room, merece que nos detengamos un momento.



En el centro, el Transit Room, rodeado por el “Nuevo observatorio de Bradley” al Oeste y por el Nuevo Archivo y la Biblioteca al Este. El Transit Room es el eje de “simetría” de la construcción.

Este punto del Prime Meridian es donde fue calculado originalmente el Meridiano 0 que se impuso finalmente como origen de coordenadas terrestres sobre otros meridianos. Hoy en día de esta estancia parte una línea hacia el Norte por el patio del observatorio que marca la dirección del meridiano, formando un particular foco de atracción turístico. Desde la Transit Room por las noches se proyecta un láser verde sobre el cielo de Londres para marcar el meridiano. La habitación del Círculo Mural fue concebida como eje de simetría del edificio final con las ampliaciones que seguirían hacia el Este en 1813 y en 1855.

Con las nuevas mediciones y cálculos, el meridiano 0 no se encuentra donde marca el edificio del Prime Meridian, sino en un lugar inespecífico no señalado al otro lado de la Avenida Blackheath, a unos 100 metros del meridiano histórico.



Meridiano original por el pabellón Transit Room (en rojo). Origen 0° de coordenadas GPS (en azul).

Jesús Carmona Morales

Es de interés la llegada de las cúpulas astronómicas para grandes instrumentos. La primera de ellas y fallida fue pensada para el telescopio Shuckburg Equatorial, un refractor, de 10 centímetros de apertura y 1,5 metros de longitud, que había estado desde 1791 en Warwickshire, y que fue trasladado en 1813 con la intención de ser instalado en el Prime Meridian, junto a la sala del Círculo Mural, al Este, en una primera planta, sin embargo el suelo no aguantaba la carga no ya del telescopio sino de su montura ecuatorial, por tanto la cúpula preparada quedó vacía hasta la llegada del telescopio Sheepshanks Equatorial, en 1838. El telescopio Shuckburg fue reacondicionado en el torreón Este de la casa Flamsteed que por entonces ya contaba con una cúpula astronómica.

Referiremos brevemente la construcción de una cúpula al Sur del lado Oeste del edificio, sobre lo que fue la casa del cuadrante y el sextante originales de Flamsteed. La cúpula fue demolida en 1960 con las adaptaciones a museo del observatorio y el edificio que la sustituyó, de una sola altura recrea una idea de lo que fueron las estancias de Flamsteed del sextante y el cuadrante.

El edificio del Prime Meridian con las sucesivas reformas y ampliaciones fue realizado en ladrillo de muro de carga, con zonas específicas a prueba de fuego (bibliotecas y espacios de archivo). No hay especiales ornamentos en las construcciones. En la ampliación de 1813 y 1855, el edificio tuvo acceso desde fuera del muro del observatorio y se dotó a esta edificación de un pórtico de tres arcos que hoy en día es la entrada principal del museo.

De los grandes cambios y alteraciones sufridas en esta época el Astrónomo Real, George Biddell Airy, dejó constancia en el libro de registros del observatorio en 1859 que “No hay ahora un solo empleado o instrumento en el observatorio que esté en la misma posición que en los tiempos de Mr. Pond (anterior Astrónomo Real), ni una sola estancia que sea usada para el fin que tuviera entonces”. Gran parte de esa referencia fue el cambio administrativo que obligó a los astrónomos asistentes a trasladarse a vivir al edificio del Prime Meridian, para lo que fue nuevamente reformado.

El edificio del Gran Ecuatorial (Cúpula del telescopio de 28 pulgadas)



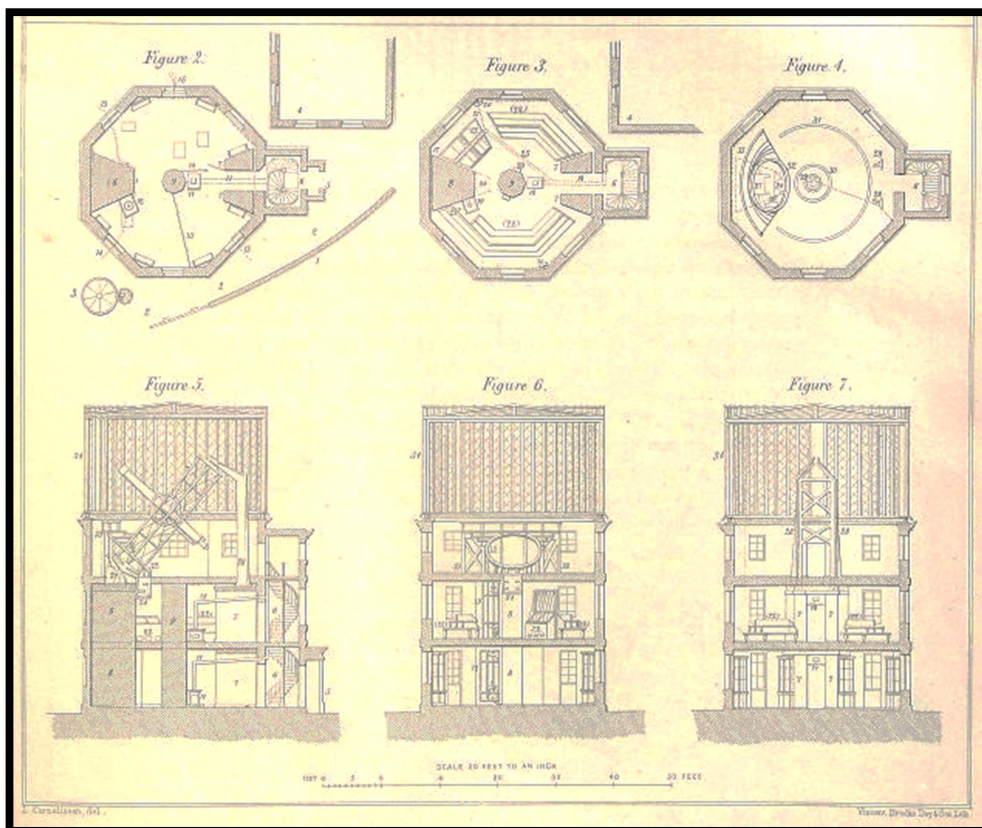
En 1858 un nuevo edificio era necesario para dar cabida en el observatorio el telescopio refractor Merz de 12,8 pulgadas y 17 pies de distancia focal (32,5 centímetros de apertura y 5,2 metros de longitud). El telescopio había sido diseñado por el astrónomo real George B. Airy sobre una montura ecuatorial inglesa lo que requería una gran cantidad de espacio también en altura para contener

todo el instrumental, por ello en un primer lugar la cubierta del edificio fue diseñada como un tambor metálico que giraba sobre rodamientos reaprovechados de viejas balas de cañón.



El edificio del Gran Ecuatorial en construcción hacia 1958.

El edificio está situado junto al Prime Meridian en su parte Este, y fue diseñado con tres plantas, baja y dos altas. La estructura como sus predecesores en el observatorio fue realizada en muro de carga de ladrillo, organizada en el muro octogonal perimetral y en un pilar central masivo, las vigas se dispusieron radialmente desde el pilar central a los muros y solo se interrumpían en el paso de los apoyos de la montura ecuatorial del telescopio.

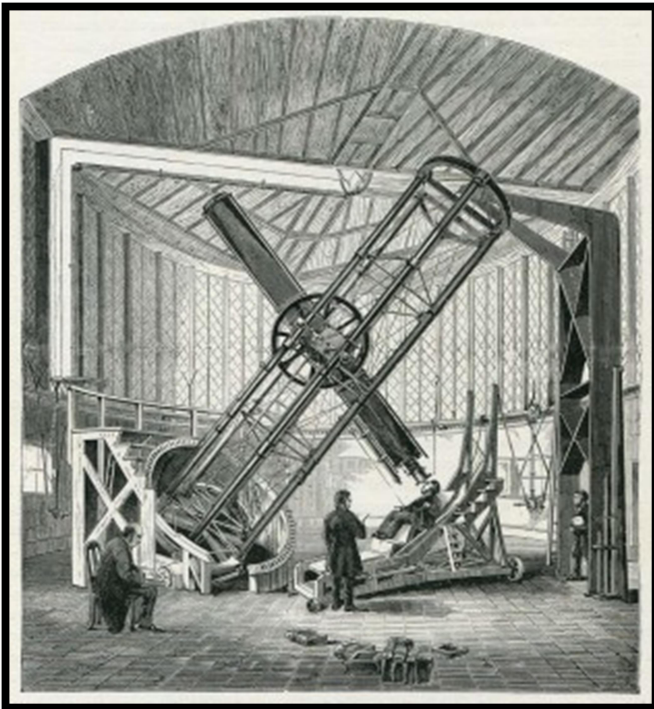


Plantas y secciones del edificio del Gran Ecuatorial. Con torre giratoria.

El peso del propio telescopio y la montura, así como la necesidad de su estabilidad y estaticidad para el uso, fueron derivados a otra estructura diferente de la del edificio descrita anteriormente. En el lado Sur y lado Norte del octógono y sin tocar los muros perimetrales dos estructuras independientes se alzaban pasando a través de los forjados hasta la planta más alta. Las estructuras partían directamente del cimiento del conjunto. En el lado Sur la estructura recibía un plato de coronación de hierro donde se apoyaba un lado de la montura ecuatorial, la estructura

Jesús Carmona Morales

Norte se debía elevar más para obtener la altura polar, para ello disponían dos vigas metálicas que dejaban paso entre ellas y soportaban la montura a la altura necesaria, unos 51,5º. En este piso y en los pisos inferiores la estructura dejaba un paso para dar acceso a las estancias y a la escalera de comunicación del edificio realizada en una caja añadida al octógono, esto se hizo mediante dos cruces de San Andrés consecutivas al nivel del dintel de paso que daban rigidez al pórtico. Debido al nuevo uso que se daría a las estancias inferiores del lugar en 1862 se rehicieron los forjados a prueba de incendios, sustituyendo la tablazón y las vigas de madera por vigas metálicas y pavimentos cerámicos. La caja de escaleras, reemplazó la escalera de madera por una escalera metálica, y las puertas de madera por otras de hierro sólido. Esta medida fue necesaria pues los cronómetros que albergaría la planta baja del edificio se calentaban en un horno de gas para comprobar desviaciones por temperatura.



Observadores con el gran ecuatorial, dibujo de 1862.

En 1886 el Astrónomo Real, William Henry Mahoney Christie, propuso el reemplazo del telescopio Merz por un nuevo telescopio, el refractor de 28 pulgadas (71 centímetros de apertura). Christie propuso en su presupuesto inicial conservar la cubierta móvil en forma de tambor del observatorio, no estando claro si esto fue una maniobra para que el presupuesto se aprobara o falta de previsión del astrónomo. El telescopio refractor era 3 metros más largo que su predecesor, por lo que una vez en situación era patente que no podía ser utilizado con la cubierta anterior sin ocasionar daños estructurales a la misma. La nueva cúpula se diseñó en estructura de perfiles hierro revestida de papel maché y resultó ser más de metro y medio más ancha que la torre donde se sustentaría. Christie hizo la descripción de la nueva cúpula como "con forma de cebolla", ya que esta se abombaba en la zona más cercana a la base. En 1893 la cúpula y el telescopio estaban totalmente instalados y aún con el nuevo diseño en bajas altitudes el telescopio sobresalía peligrosamente o las rozaba siendo complicado el movimiento de cúpula y telescopio al mismo tiempo; en la coronación de tambor anterior habría sido del todo imposible el manejo del nuevo instrumento. En 1907 una corona fue añadida al tope de la cúpula para facilitar los trabajos de mantenimiento de la misma.

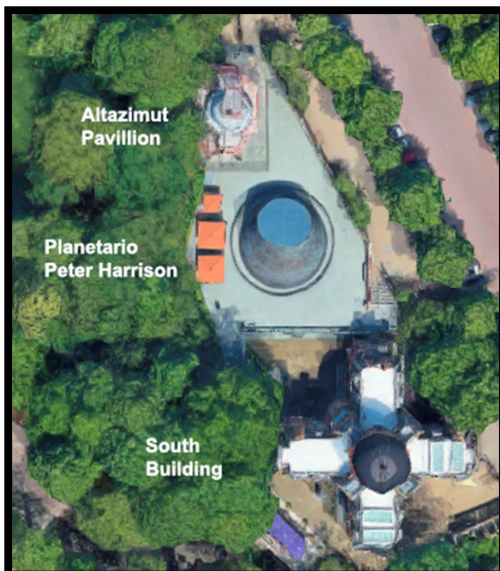
Hacia 1898, un muy deseado balcón exterior fue construido en la planta de observación del telescopio, que permitía salir a observar el cielo alrededor del edificio sin necesidad de mover primero toda la cúpula y el telescopio.



Edificio del Gran Ecuatorial hacia 1905. Visibles la cúpula "cebolla" y el balcón perimetral.

La cúpula sufrió sucesivos deterioros que se parchearon sin mucha pericia hasta que se decidió mantenerla inmóvil con la orientación de la abertura más favorable para una gran amplitud de observaciones. Por entonces ya se vislumbraba que el observatorio sería trasladado a otra localización. Durante la II Guerra Mundial las lentes del telescopio fueron desinstaladas por seguridad, y la cúpula acabó la guerra con serios desperfectos en el revestimiento debido a las explosiones cercanas. En 1952 se decidió destinar el observatorio como museo, para entonces el refractor había sido trasladado cinco años antes, destinando el espacio de la cúpula a diferentes ideas que no fueron llevadas a cabo (albergar un telurio astronómico gigantesco, un planetario e incluso un nuevo telescopio traído desde Cambridge). Sin embargo en 1970, cerca de la inauguración del museo, el refractor de 28 pulgadas no era necesario en el observatorio de Herstmonceaux y fue traído de vuelta a su lugar original en 1975, esta vez con una cúpula diseñada totalmente ex profeso, de estructura de acero y con revestimientos de fibra de vidrio en lugar de papel maché.

El Edificio Sur (South Building)



El edificio Sur, antes conocido como New Physical Observatory, es el resultado de la dirección del observatorio por parte del Astrónomo Real, William Christie. Como ya visto en el gran edificio ecuatorial, el principal objetivo de Christie fue traer al observatorio instrumentación de grandes dimensiones, sin mayor necesidad que la de poder compararse con otros observatorios del mundo. Así en 1883 las hijas de William Lassell donaron al observatorio el telescopio de su padre, un refractor de 60 centímetros de apertura con el que había sido descubierto Tritón, la mayor Luna de Neptuno. Christie aceptó la donación y pensó un nuevo

Jesús Carmona Morales

espacio para albergar el equipo. Los terrenos libres más extensos del observatorio quedaban ya al Sur de la hoy desaparecida Magnetic House, allí, se planteó una cúpula astronómica de 9 metros de diámetro de hierro y papel maché sobre unos muros circulares de una sola altura. En 1884 el edificio estaba listo.



New Physical Observatory, conocido posteriormente como South Building.

Christie, siguiendo la línea que lo caracterizaba, en 1889 planteó al Board of Visitors la construcción de un nuevo edificio con objeto de albergar toda la instrumentación repartida por construcciones menores del observatorio, oficinas y cobertizos, para darles un mejor resguardo y en parte para generar un espacio de exhibición de las misma, pensando que la cúpula del telescopio Lassell sería este espacio. El edificio fue planteado de modo que los instrumentos en la exposición pudieran ser instalados en un espacio de observación del propio edificio para su uso en caso necesario. Christie planteó un edificio de gran extensión pero de una sola planta y con dos alas principales. Sucesivas revisiones del proyecto de Christie acabaron por plantear un edificio de tres plantas de altura y con cuatro alas en forma de cruz. Las razones finales de tal cambio radical frente a la propuesta inicial fueron, el excesivo consumo de espacio que planteó Christie en su origen, impensable respecto a los terrenos restantes del observatorio; por otro lado la foresta que circundaba el observatorio ya hacía muy restringida la parte fácilmente observable del cielo desde una baja altura; la forma en cruz tenía la gran desventaja de las desproporciones de espacio frente a estructura construida, pero fue finalmente llevado a cabo ya que una recesión en ciernes permitió que el edificio fuera construido en cuatro fases, menos costosas que un solo gran proyecto; a largo de ocho años desde 1891 a 1899 fueron construidas sucesivamente cada una de las cuatro alas del complejo. El sencillo edificio del Lassell por tanto fue sustituido por el edificio Sur, que en el encuentro de todas sus alas dispuso una torre de observación con una cúpula de grandes dimensiones.

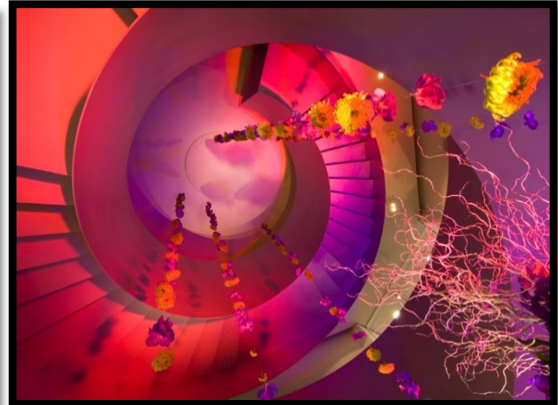
El nuevo edificio no tenía pasillos y cada una de las alas era una oficina diáfana que conectaba con el octógono central donde una escalera espiral hacía de comunicación vertical. En la cubierta del octógono se encontraba la cúpula de observación. El edificio contaba con una generación propia de electricidad que funcionó autónomamente hasta 1912, y un sistema de calefacción a carbón por conductos que dio problemas de hollín y velocidad de aire excesiva en el interior hasta su reforma en 1935.

Jesús Carmona Morales



Oficinas del South Building.

En la actualidad, la construcción del planetario adyacente incluyó una reforma de los espacios del Edificio Sur, eliminando el muelle de observación de la cúpula donde una sala de reuniones y una pequeña biblioteca coronan el edificio, Endeavour Room. La escalera fue reformada y una nueva escalera espiral realizada enteramente en acero conecta las diferentes plantas.



Reforma del muelle del telescopio para sala de reuniones y de la escalera.

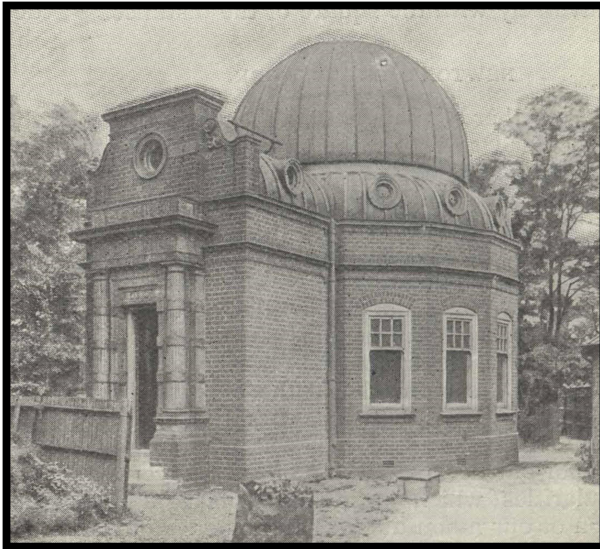
El arquitecto responsable de la construcción original fue William Crisp, que eligió un diseño extravagante inspirado en las operaciones urbanísticas de South Kensington tras las Gran Exposición de Hyde Park de 1851. Para ello empleó ladrillo rojo y decoraciones de terracota que profusamente recrean frontispicios, medallones y bandas donde aparecen los nombres de los Astrónomos Reales, ingenieros y constructores de telescopios, bustos de insignes científicos y matemáticos británicos, así como musas, motivos astronómicos y decoraciones con la rosa, el cardo y el trébol, representando respectivamente Inglaterra, Escocia e Irlanda.



Detalles artísticos del edificio realizados en terracota.

El objetivo de Christie de dar mayor almacenaje a toda la aparatología del observatorio se completó con la adición al Edificio Sur, del piso inferior, Lower Store, en el lado Sur Oeste, hoy en día convertido en el Astronomy Cafe y la terraza Gagarin dentro de las instalaciones del parque.

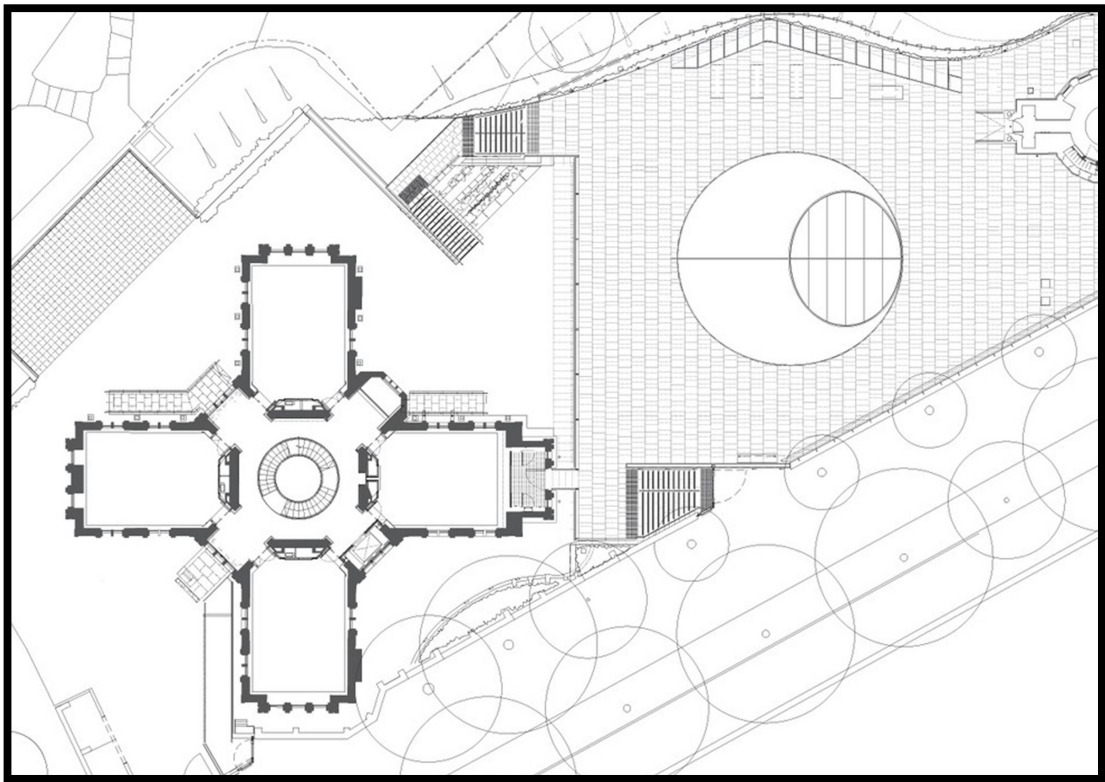
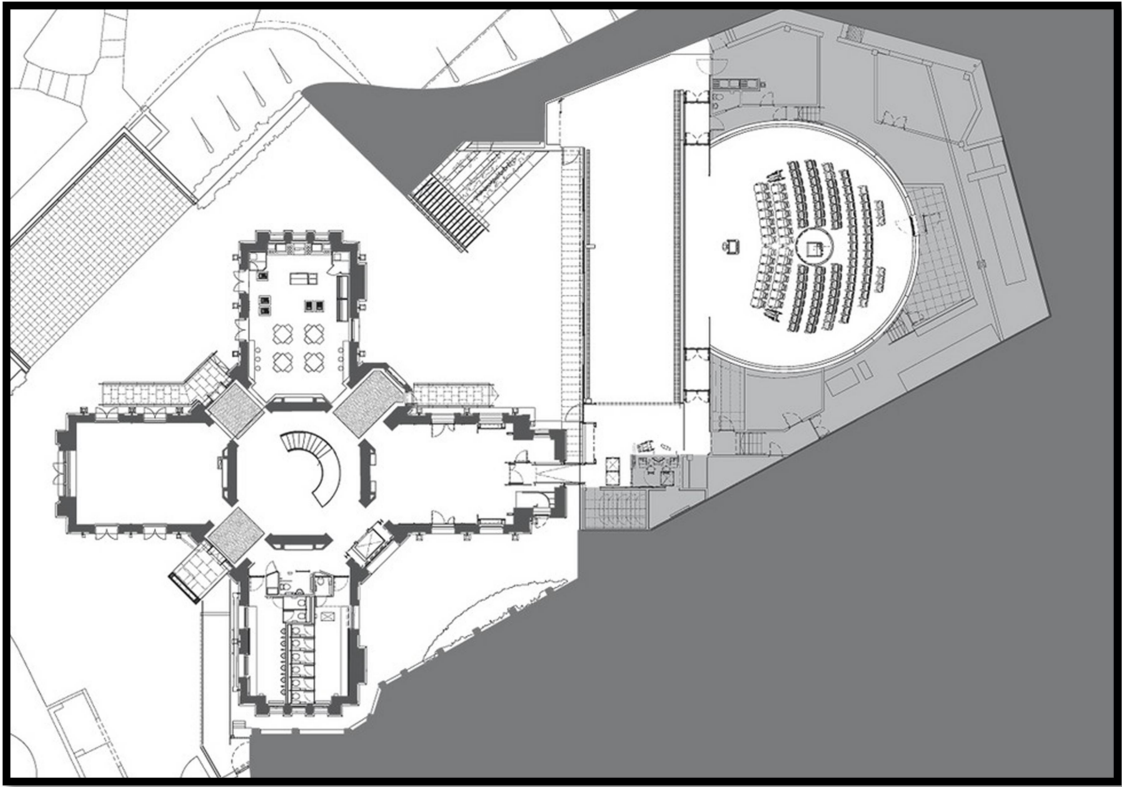
El mismo arquitecto del Edificio Sur fue el autor del pabellón Altazimut entre 1894 y 1896 al que nos referimos ahora brevemente. Christie en su afán por aumentar el observatorio y los instrumentos instalados en él lo propuso en 1892 para albergar el nuevo instrumento altacimutal, básicamente un telescopio de tránsitos, pero que gracias a ciertas modificaciones podía apuntar a objetos fuera del meridiano. Nunca fue un gran éxito o de especial utilidad. El edificio, de reducidas dimensiones y situado en el único espacio libre que le quedaba al observatorio por entonces, justo al Sur del edificio del gran ecuatorial, ha llegado hasta nuestros días tras muchos desperfectos tras la II Guerra Mundial. Realizado en ladrillo rojo y con decoraciones de terracota de las que no han sobrevivido muchas.



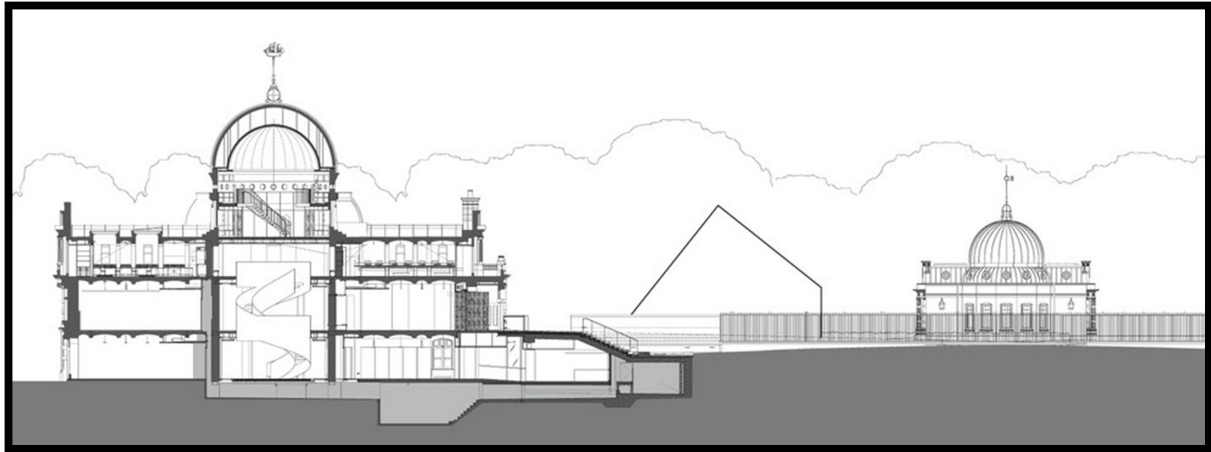
Pabellón Altazimut tras la construcción, tras la II Guerra Mundial y en la actualidad.

Como nota singular la cúpula del edificio posee una apertura diferente a las del resto del observatorio, abriéndose en dos mitades lateral mente dejando un espacio libre de unos 140 centímetros de Sur a Norte. En torno a la cúpula una serie de ojos de buey dan luz al interior del espacio. Sobre este edificio fue colocada la veleta de Halley, con un diseño que conmemore el descubrimiento del cometa que lleva el nombre del mismo. Tras muchas dudas sobre si conservar o no este pabellón finalmente fue integrado en el museo y adaptado para dar lugar al planetario Peter Harrison.

A continuación se muestran plantas conjuntas del South Building y el Planetario Peter Harrison y una sección de ambos.



Planta baja (arriba), planta de acceso (abajo) del South Building y el Planetario Peter Harrison



Sección del South Building y el Planetario Peter Harrison (a la derecha el Pabellón Altazimut).

Planetario Peter Harrison

Hacia principios del siglo XX, los terrenos del observatorio estaban totalmente ocupados. La voracidad acaparadora de Christie más algunos proyectos remanentes a lo largo del último siglo habían generado estructuras menores de madera que servían a diferentes fines, tales como el estudio del magnetismo y la declinación magnética terrestres, el Magnetic Office. Otras sin embargo estaban realizadas con materiales más nobles como el Transit Pavillion que ocupó un buen espacio del patio de acceso a Flamsteed House o la Biblioteca Airy, que seguía el límite de la propiedad entre el pabellón Altazimut y el Edificio Sur. El Magnetic Office y la Biblioteca Airy fueron demolidos hacia 1960 pues no representaban un valor arquitectónico especial, habían sido seriamente dañados durante la II Guerra Mundial, y bloqueaban la consecución de un proyecto mayor: la conversión de todo el observatorio en un museo. El observatorio había sido cedido a la Marina Nacional y en ese contexto se pretendía poner en uso para tal fin todo el conjunto del observatorio, sin embargo se temía que la Marina utilizara algunos de los edificios menos relevantes como almacén, coartando la idea de un museo en todos los espacios cedidos. Con la demolición de estos dos edificios un nuevo espacio quedó disponible, aunque no fue hasta entrado el siglo XXI cuando la financiación necesaria (17,7 millones de £ más una ayuda filantrópica de la Fundación Peter Harrison de 3,25 millones de £) cristalizó en el Planetario Peter Harrison, que fue inaugurado en 2007.

El proyecto del planetario, realizado por el estudio Allies and Morrison, fue respetuoso con los edificios preexistentes y se desarrolló en una planta subterránea dejando un hito de características astronómicas sobresaliendo de la plaza generada a cota cero, no hay competición entre el Edificio Sur y El pabellón Altazimut que acotan el lugar.



Sección por la sala de proyección del planetario. Jardín para eventos visible a la izquierda.

Los espacios que circundan la sala de proyección se dedican a exposiciones sobre la observación del cielo y la evolución del universo y la Tierra. La sala de proyección ocupa el espacio central y posee un diámetro de 15,5 metros y 120 plazas. Se dotó de un sistema de proyección en alta definición que ofrece una imagen de 5.000 x 4.000 píxeles. La sala de cúpula semiesférica de proyección queda situada bajo el cono truncado que caracteriza la plaza superior.



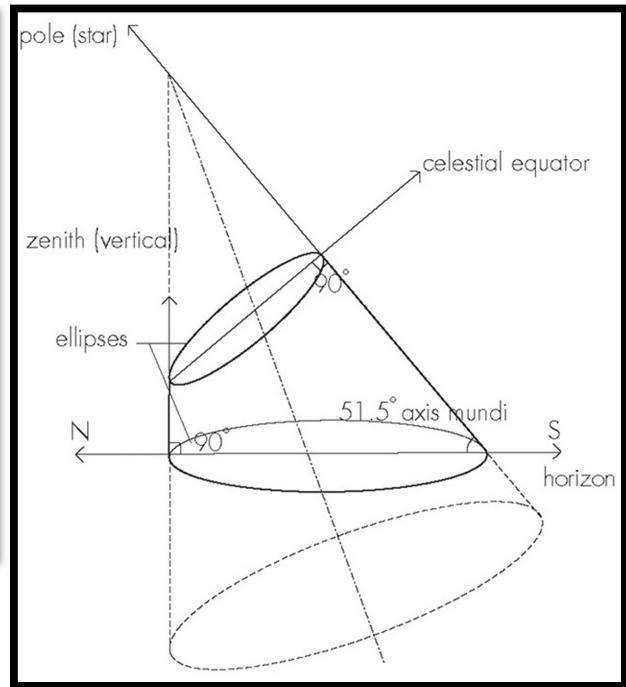
Imagen nocturna de la plaza superior del Planetario.

El edificio genera un desnivel en la zona Sur, iluminando desde este flanco una galería longitudinal para exposiciones itinerantes y otros eventos. En la plaza superior diferentes lucernarios iluminan los espacios inferiores cenitalmente. En esta plaza se ha dispuesto un acceso al Edificio Sur de Christie.

El cono truncado que destaca en la plaza superior está realizado en bronce se inclina en dirección Norte para marcar la dirección del meridiano, aunque no coincide con la línea del Prime Meridian es paralelo a esta. El ángulo de la generatriz superior del cono forma $51^{\circ}59'$ con la horizontal inclinándose hacia el Norte, esto es, apunta al polo Norte celeste (también es la latitud del lugar). El plano donde el cono está truncado tiene como vector director la generatriz mencionada, es decir, el plano mira al polo Norte celeste o dicho de otro modo es tangente a la Tierra en el polo Norte.



Razones geométricas y astronómicas del cono truncado del planetario.



Observatorio de Greenwich y Greenwich Park en la actualidad

Desde 1947 a 1958 se completa el cambio del observatorio y la oficina del Astrónomo Real a un nuevo emplazamiento en el Castillo de Herstmonceux, en East Sussex, destinando las instalaciones originales para un museo a cargo del Museo Nacional de la Marina. El museo se centra en los logros sobre la institución de meridiano de Greenwich como meridiano principal y los cronómetros de John Harrison. El observatorio, a largo de su historia y hasta la actualidad ha conseguido mantener el entorno original de Greenwich Park, que es uno de los parques urbanos más extensos de los alrededores de Londres. Los jardines del viejo observatorio están abiertos al público como parte de los espacios del parque al cobijo de Flamsteed House y el Prime Meridian.



Castillo de Herstmonceux, nueva sede del observatorio de Greenwich.

London Planetarium

Sin salir de Londres dedicamos ahora una breve referencia al viejo planetario de la ciudad, que aunque no está relacionado con el observatorio de Greenwich entra dentro de los objetivos de este trabajo. Poco antes de la inauguración del Peter Harrison, el planetario de Londres cerró su

Jesús Carmona Morales

programación astronómica y fue adquirido por el Museo Madame Tussauds, con el que es contiguo en Marylebone Road.

La construcción del planetario original se remonta a 1958, sustituyendo un viejo cine que había quedado destruido durante la II Guerra Mundial. Fue diseñado por George Watt. La cúpula fue realizada en hormigón armado y revestida de cobre. Exteriormente la cúpula señalaba la presencia de la atracción mediante un orbe representando un planeta con un anillo. Un pequeño voladizo de hormigón daba cobijo a los accesos y se fundía con los edificios circundantes.



Planetario de Londres junto al Museo Madame Tussauds en los '70.

La sala de proyección se encontraba en la primera planta, dejando el lobby de acceso para diferentes tiendas, puesto de golosinas y servicios. El planetario posee una cúpula de 18 metros de diámetro y espacio para 330 espectadores.



Interior del planetario.

Desde 2010 ofrece un espectáculo relacionado con los cómics Marvel en ultra alta definición y no es posible visitarlo separadamente al museo de cera. La reforma previa incluyó nuevos sistemas de proyección pero también una actualización de los sistemas de seguridad y salud, ventilación, aire acondicionado y el cambio integral de la esfera de proyección.

Complejos astronómicos Jantar Mantar, India (1724 - 1737)

Los observatorios que tratamos a continuación son tal vez un ejemplo anacrónico de su tiempo, tal vez por estar relegados a una zona del mundo más aislada por entonces de los grandes centros de astronomía de Europa. Sin embargo son en parte una revisitación de los métodos de observación y medición del cielo más clásicos de la astronomía, como algunos de los ya vistos en los observatorios de Maraghe y Gurjani Zij, pero en un estado de conservación mucho mejor.

Con el declive del Imperio Mogol a comienzos del siglo XVIII, Jai Singh II (1688 - 1743) ya había sido señalado en varias ocasiones como “sawai” por los emperadores mogoles debido a su ingenio no sólo en el combate sino por su interés y conocimientos en matemáticas, arquitectura y astronomía. En la década de 1720 el estado Mogul decayó y el reino de Singh II floreció desde Amber, que creció vertiginosamente sufriendo problemas de abastecimiento de agua. La influencia de Singh fue muy extensa durante el primer tercio del siglo XVIII, ampliando o fundando ciudades en el Norte de la actual India en un área de más de mil kilómetros de extensión.



Jai Singh II

Debido a su interés en astronomía Singh solicitó permiso al emperador mogol Muhammad Shah para construir los centros de observación en India hasta en cinco localizaciones diferentes: Delhi, Jaipur, Benarés, Ujjain y Mathura. La razón principal para multiplicar los lugares estaba en obtener mediciones que no estuvieran sujetas a la puntualidad de un observatorio, sino al contraste entre diferentes puntos de la Tierra. Jai Singh II se caracterizó por ser uno de los gobernantes y terratenientes más poderosos del Norte de la India y por tanto pudo realizar esta diseminación. Todos ellos menos Mathura se conservan en mayor o menor medida. Referenciaremos la posición de las diferentes ciudades con el observatorio de Jaipur, por ser el más completo y mejor conservado, y ofrecer una mejor perspectiva

de la gran área de influencia en la que estos complejos astronómicos estaban enclavados.

La iniciativa de Jai Singh para construir los observatorios se basaba además en una falta de consenso sobre las horas de salida y puesta de las estrellas errantes, los planetas, y sobre la precisión de los eclipses de Luna y Sol por una falta de precisión de las tablas astronómicas que se manejaban en su tiempo. La precisión de estos eventos era por un lado puramente astronómica y por otro práctica para la organización de la vida religiosa y política.

Jesús Carmona Morales

Singh envió una expedición científica en diferentes direcciones con objeto de recopilar toda la información posible acerca de los métodos de observación astronómicos; a su regreso, los tratados e instrumentos fueron rediseñados y adaptados en algunos casos siguiendo los conocimientos de Singh en matemáticas y geometría, produciendo originales configuraciones.

Aunque el telescopio era conocido en la época, los medios con los que contaba Singh y sobre todo la finalidad de aportar correcciones a las mediciones existentes, lo hicieron decantarse por sistemas de observación que se especializaran en una gran precisión. Así como la precisión de un astrolabio depende de la diligencia del usuario, pero también de la calidad del instrumento y con ello la escala de lecturas posible, Singh diseñó instrumentos de tamaño gigantesco para obtener mediciones de precisión no vistas hasta entonces. Para este periodo ya se habían desarrollado en Europa instrumentos de medición que suplían la precisión de las mediciones con la incorporación de “nonios” o “escalas Vernier”, sin embargo el tamaño de los instrumentos profundizaba más allá de lo que estas técnicas avanzaban.

Otra de las técnicas de estos observatorios consistía en la multiplicidad de instrumentos iguales en diferentes localizaciones, con los que se podían tomar mediciones simultáneas a mucha distancia para contrastar mediciones o para calcular errores absolutos. Sin embargo la dualidad o multiplicidad de muchos instrumentos viene por el propio diseño de estos y su uso como veremos más en detalles cuando tratemos las diferentes tipologías.



Jantar Mantar es la definición de estos observatorios, el origen hindi de la palabra es difícil de concretar; algunos se decantan por las raíces más oscurantistas, con los significados de “magia”, “brujería” o incluso “malabares”, refiriendo lo hermético o complicado para los ajenos al observatorio de los trabajos realizados; otras referencias se inclinan hacia traducciones más directas dando a “Jantar” la traducción de “instrumento”, y a “mantar” la de “cálculo”. Pero por ser más clara y directa no quiere decir que sea la correcta pero la hemos dado como fiable para referirnos a los instrumentos (yantra).

Localizaciones y características de los jantar mantar

Delhi (1724)

El observatorio de Delhi fue el primero en ser construido hacia 1724 y uno de los mejor conservados. Está separado de su homólogo de Jaipur por 270 kilómetros hacia el Norte.

El observatorio está situado dentro de Nueva Delhi, en la zona conocida como Connaught Place, un clásico centro comercial, que hoy concentra las principales empresas del país y que

Jesús Carmona Morales

tuvo especial desarrollo durante la ocupación británica.

El lugar se muestra como un espacio abierto, con jardines y zonas arboladas donde se intersecan las construcciones del observatorio. Los instrumentos se caracterizan por sus fábricas revestidas de rojo y los planos de medición en contraste blancos.

Este Jantar Mantar cuenta con:

- 1 rama yantra
- 1 gran samrat yantra
- 1 jay prakash
- 1 misra yantra

La organización de este lugar responde a un plan longitudinal, donde el samrat yantra marca un claro eje Norte-Sur en el que se encuentran todos los aparatos. El misra yantra como veremos más adelante fue construido años después de su inauguración por el sucesor de Jai Singh II.



Conjunto Jantar Mantar en Dehli.

Jaipur (1728)

En 1727, Singh II fundó la nueva capital, Jaipur, diseñada por el arquitecto Vidyadhar Bhattachary. Jaipur fue concebida en siete áreas rectangulares que contenían en su centro los palacios y construcciones reales. Una de estas construcciones fue un observatorio astronómico todavía conservado hoy que cuenta con la colección más grande de instrumentos de todos los observatorios de este tipo, en muchas ocasiones doblados o multiplicados. La construcción del lugar se destaca por los colores amarillentos de los instrumentos (algunos de ellos rojizos) y la muralla que lo rodea.



Este Jantar Mantar cuenta con:

- 1 rasivayala
- 1 rama yantra
- 2 samrat yantra (uno de ellos de grandes dimensiones)
- 1 jay prakash
- 2 kappala yantra
- 1 digamsa yantra
- 1 nadivalaya

El observatorio de Jaipur es el más completo, extenso y mejor conservado de todos. Posee un amurallamiento de características similares a la obra de las construcciones, y la disposición es más desorganizada que su predecesor tal vez por insertarse en un contexto más urbano. Los instrumentos cubren un área rectangular a modo de plaza sin orden aparente, donde destaca el samrat yantra de grandes dimensiones en una esquina.

Inmediatamente al Norte del conjunto se encuentra el palacio de la ciudad de Jai Singh.



Conjunto de Jantar Mantar de Jaipur.

Benarés o Varanasi



En Benarés, a 850 kilómetros de Jaipur, se encuentra el jantar mantar construido en 1737, es el más oriental de todos con diferencia. Está situado a orillas del Ganges en las cubiertas de otras construcciones. Los tonos de los paramentos son amarillentos pero a diferencia de Jaipur las superficies de medición están realizadas en piedras de todos ocre.

Cuenta principalmente con:

- 2 samrat yantra (uno de ellos de pequeñas dimensiones)
- 1 digamsa yantra
- 1 nadivalaya
- 1 rasivalay yantra



Vista del Digamsa Yantra desde el Samrat Yantra de Varanasi, el río Ganges al fondo.

Ujjain



Ujjain es una ciudad a unos 500 kilómetros al Sur de Jaipur, posee el más austral de los jantar mantar. Ujjain se distinguió en la época por ser el meridiano 0 de las mediciones astronómicas en La India, además está situada en el Trópico de Cáncer. El observatorio, también conocido como Vedh Shala, fue construido en 1725 junto al río Kshipra, sin embargo los instrumentos que perviven son escasos, de un total de 13 documentados, y su mantenimiento y corrección son dudosos. El color que predomina en el entorno del observatorio es el blanco.

- 1 samrat yantra
- 1 nadivalaya
- 1 dakshinottara bhitti yantra
- 1 digamsa yantra



Samrat Yantra y Digamsa Yantra en Ujjain.

Mathura

A unos 220 kilómetros al Este de Jaipur se sitúa Mathura, esta ciudad contó con un jantar mantar desaparecido hacia 1850. No podemos por tanto hacer un análisis de los instrumentos o la disposición de estos.

Tipos de instrumentos y su uso

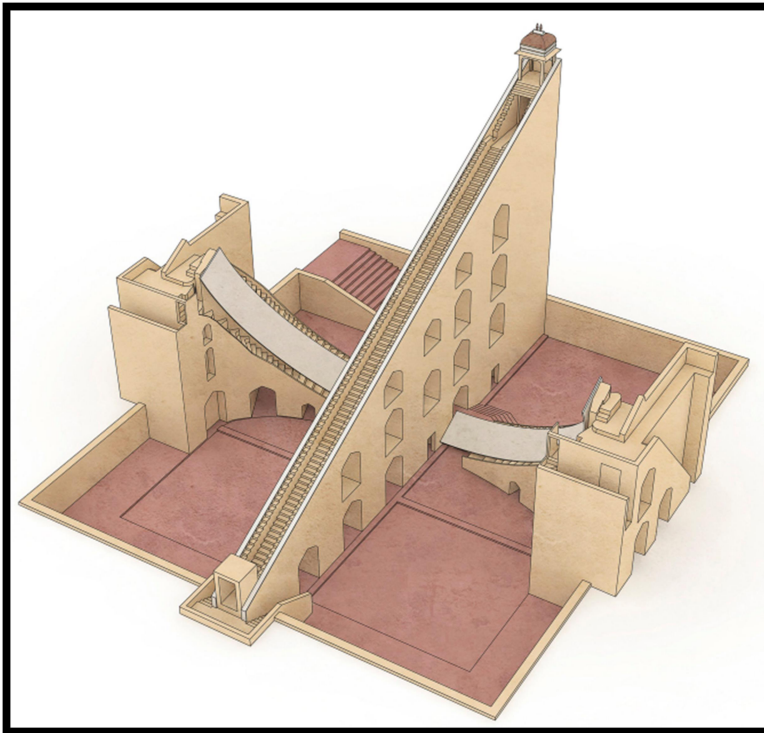
A diferencia de otros observatorios donde los edificios sirven al alojamiento y soporte de los instrumentos de medición y observación, en los observatorios Jantar Mantar las edificaciones en sí son los propios instrumentos. El diseño de las edificaciones con las consideraciones de alineación con el meridiano local está pensado para tomar medidas de sombras autoproyectadas o con referencias dentro de la propia edificación; al mismo tiempo los diseños buscan poder recorrer los instrumentos desde su interior para la toma de mediciones sin interferir en las mismas, para ello las superficies de toma de referencia son accesibles mediante galerías semi-subterráneas donde el astrónomo puede apuntar el valor desde una posición cómoda.

Previo a la construcción de los observatorios, Singh realizó modelos en cera con sus propias manos a modo de maquetas para refinar el diseño final, como acreditó posteriormente el misionero jesuita Jean-Antoine Dubois, que aunque no vivió de primera mano la época floreciente de los observatorios si recogió su tradición posterior más inmediata del hijo de Singh.

Singh descartó la construcción de los instrumentos con partes metálicas debido a que ciertas referencias de la astronomía islámica apuntaban a la limitación de la precisión que ofrecían, por lo que se realizaron todos en obras de piedra y ladrillo. Las mediciones se tomaban de superficies blancas que en origen y para ciertos instrumentos se realizaron en mármol, pero también hay referencias de exploradores británicos que hablan de unas yesería muy finas que aparentaban un aspecto marmóreo. Para situar los observatorios se elegía un terreno que no ofreciera grandes desniveles y se afinaba su horizontalidad. Para tal fin se practicaban canales realizados en ladrillo que se llenaban de agua. Estos canales tenían la dirección Norte-Sur en sentido y Este-Oeste en el perpendicular. Con el nivel del agua se buscaba una referencia fiable para la nivelación del terreno. Estos canales son todavía visibles en los observatorios de Jaipur y Ujjain.

Los instrumentos que encontraremos en los observatorios Jantar Mantar con estas características son: el Samrat Yantra, el Nadivayala, el Misra Yantra, el Jaya Prakasa, el Kappala, el Rama Yantra, el Digamsa Yantra y el Rasivayala.

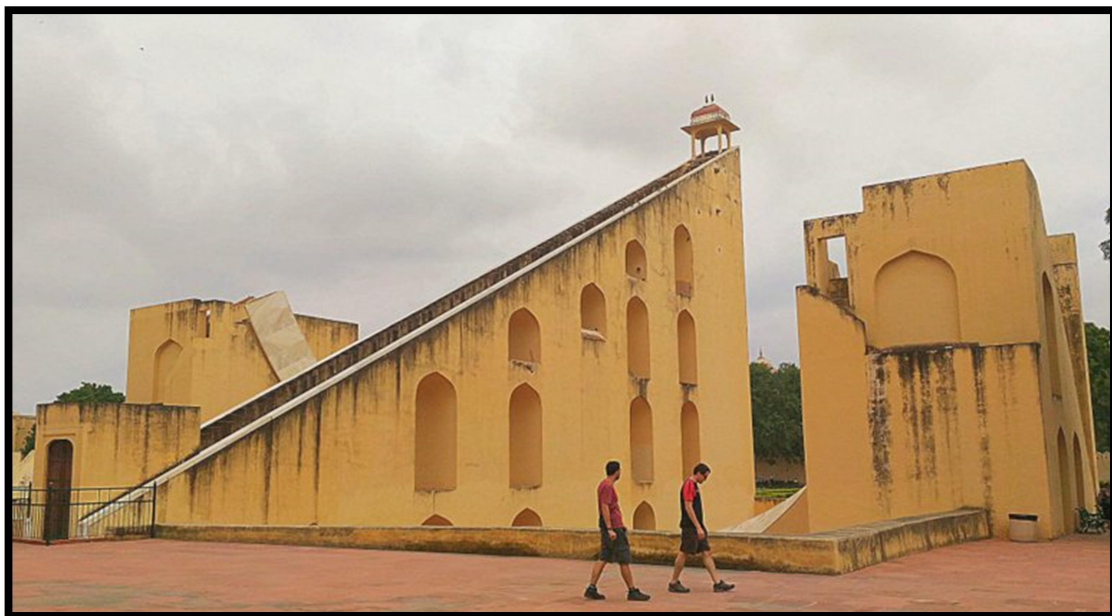
Samrat Yantra



Este instrumento se traduce como “instrumento supremo”, consiste básicamente en un reloj de Sol equinoccial, modificado por Jai Singh para los Jantar Mantar. Su diseño y funcionamiento responde a una serie de características locales que enunciamos a continuación.

El plano del muro principal está alineado con el meridiano local en dirección Norte-Sur. El ángulo de la escalera, hipotenusa del triángulo, coincide con la latitud del lugar y apunta al polo Norte celeste. Esto nos indica que la inclinación del

muro será diferente según donde se construya el reloj de Sol. Sobre esta escalera se deslizaba una vara arriba y abajo hasta obtener una sombra sobre los cuadrantes laterales.



Samrat Yantra en Jaipur.

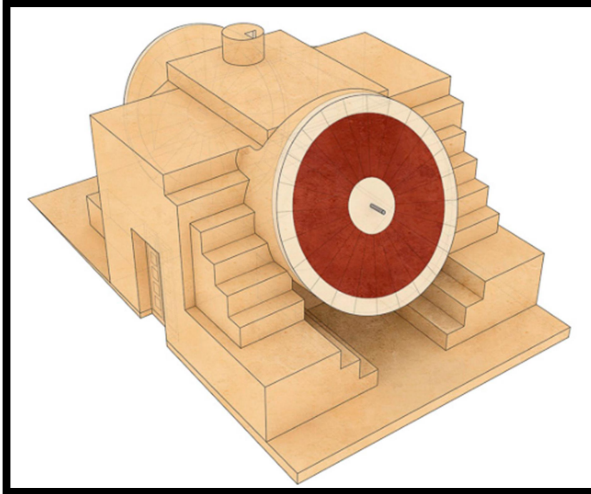
Los cuadrantes laterales reglados son planos de proyección del reloj, que intersecan con el plano de la ecuatorial. Los planos son curvos para facilitar el diseño de las escala de medidas; si fueran planos necesitarían de una reglaje no constante debido a la diferentes distancias con el punto de proyección en el gnomon. Se sitúan a ambos lados del muro principal. Cuando la sombra del gnomon no recae en ninguno de los cuadrantes se ha alcanzado el mediodía. Para realizar

Jesús Carmona Morales

correctamente las mediciones los cuadrantes se acompañan de escalerillas para encaramarse a las zonas más pendientes.

El samrat yantra de Jaipur puede alcanzar una precisión de 2 segundos de arco.

Nadivalaya



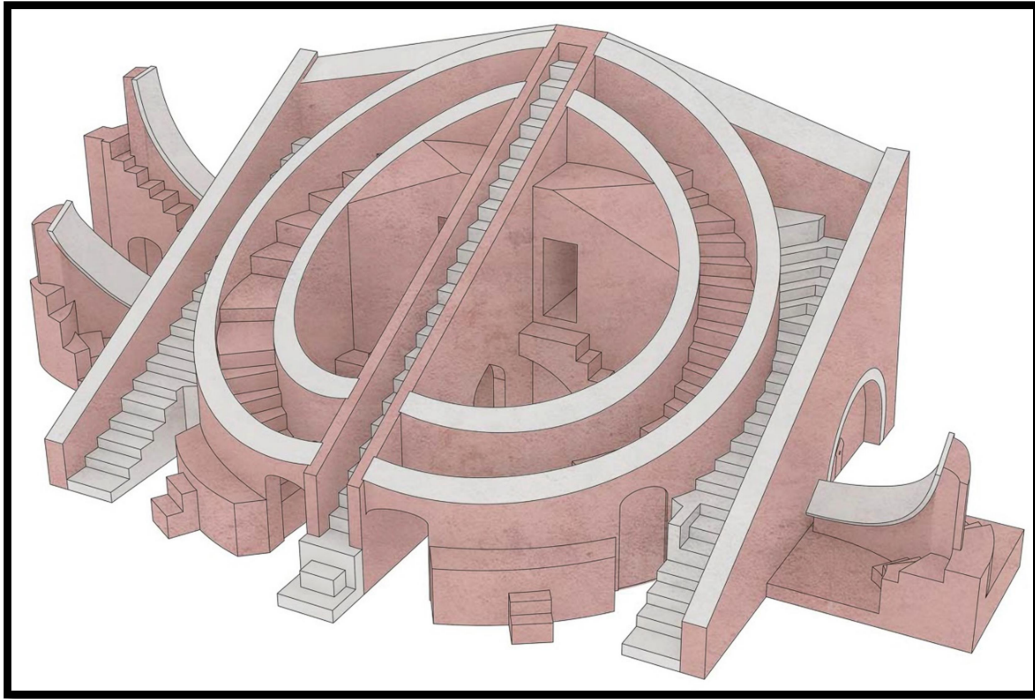
Este instrumento es otra variación del reloj de Sol equinoccial, con la diferencia de que tiene dos planos de lectura. El macizo central sirve para sostener en el lado Norte y en el lado Sur dos relojes de sol circulares con la misma inclinación, uno apuntando hacia el polo Sur celeste, es decir mirando ligeramente al suelo, y otro mirando al polo Norte celeste, esto es al cielo, siempre que se diseñe en el hemisferio Norte. La inclinación se proyecta para que el plano de los relojes sea paralelo al plano ecuatorial terrestre.



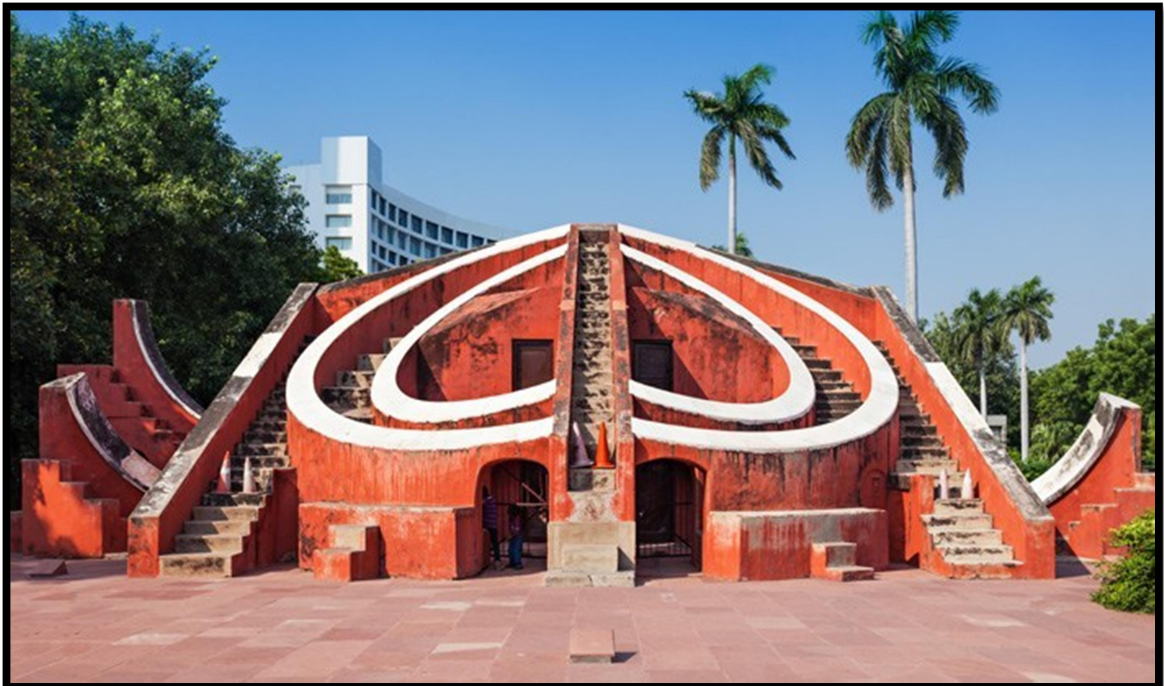
Nadivalaya en Jaipur.

El diseño del reloj además de dar la hora solar local a través de los gnómones, tiene una función concreta, señalar los equinoccios. En el día del equinoccio vernal sería posible la lectura de la hora solar en ambos relojes por estar el Sol situado en el plano ecuatorial terrestre, igualmente sucedería en el equinoccio de otoño. En los días anteriores y posteriores a estos eventos la lectura de la hora solo será posible en uno de los dos relojes.

Misra Yantra



Este instrumento se encuentra únicamente en el observatorio de Delhi y es uno de los más complejos pues aúna las características de cinco instrumentos. Aunque fue construido en Delhi, el primero de todos los jantar mantar, fue el más tardío en erigirse, y no se atribuye a Jai Singh II sino a su hijo, Madho Singh.

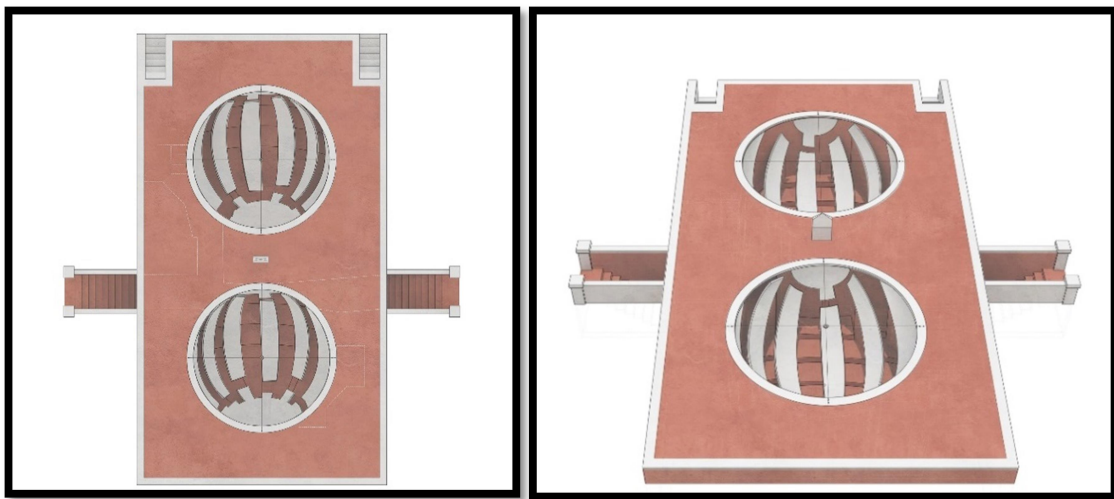


Misra Yantra en Delhi.

Jesús Carmona Morales

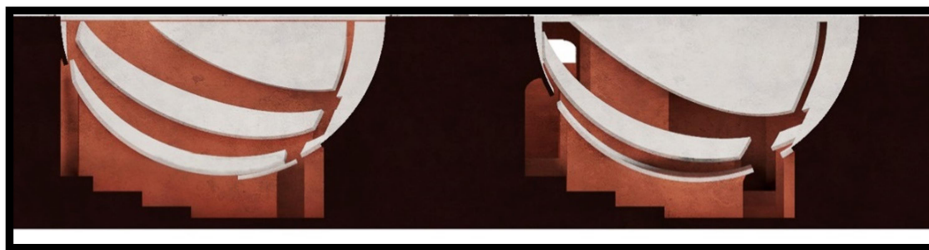
Esta construcción es básicamente un samrat yantra, en el que el gnomon central ha sido duplicado, uno al oeste y otro al este, de modo que cada cuadrante tiene su propio gnomon y no uno central conjunto (esta tipología se llama "laghu samrat yantra"). A este instrumento dispuesto de esta forma se le añade un reloj de singular en el centro, que está compuesto por el gnomon central con su escalinata y los cuatro semicírculos laterales, con los que es posible conocer la declinación del sol en las longitudes de estos semicírculos (a esta parte se la denomina "niyat chakra"). En la zona Norte del instrumento un muro esconde un arco para medir la longitud de los cuerpos celestes (karka rasivalay yantra). Finalmente aparecen dos añadidos uno en el muro Este, un arco para medir la altitud del Sol en su paso por el meridiano ("dakshinottara bhitti yantra") y otro un cuadrante inclinado adicional en el muro Oeste ("agray yantra") sobre uno de los cuadrantes ya vistos.

Jay Prakash yantra



Planta y cónica del Jay Prakash.

El jay prakash yantra significa literalmente el instrumento de la luz de Jai, en referencia a su diseñador y creador. Es un instrumento astronómico original de los Jantar Mantar, diseñado por Jai Singh II. Está basado en un reloj de proyección sobre semiesfera y en la esfera armilar clásica, sin embargo las características de su uso lo constituyen en una tipología diferente en sí. Es totalmente subterráneo, consistente en una semiesfera enterrada bajo el nivel de cota 0 con galerías para acceder a las mediciones.



Sección longitudinal del Jay Prakash

Sobre la semiesfera existe un dial o gnomon situado en el centro de la esfera para marcar la posición del Sol, la sombra se proyecta sobre la superficie de la semiesfera marcada con las líneas horarias o graduaciones angulares. Al poseer un tamaño muy grande la lectura de mediciones sería complicada si el astrónomo tuviera que caminar sobre la superficie curva; para solucionar este punto se practican incisiones en la esfera a modo de trinchera, dejando la lectura de

Jesús Carmona Morales

mediciones a la altura del pecho para una persona que esté situada en dicha trinchera. Para poder acceder a esta posición se practican unas galerías subterráneas que meten al astrónomo dentro del instrumento sin necesidad de pisar o caminar por la superficie de proyección.

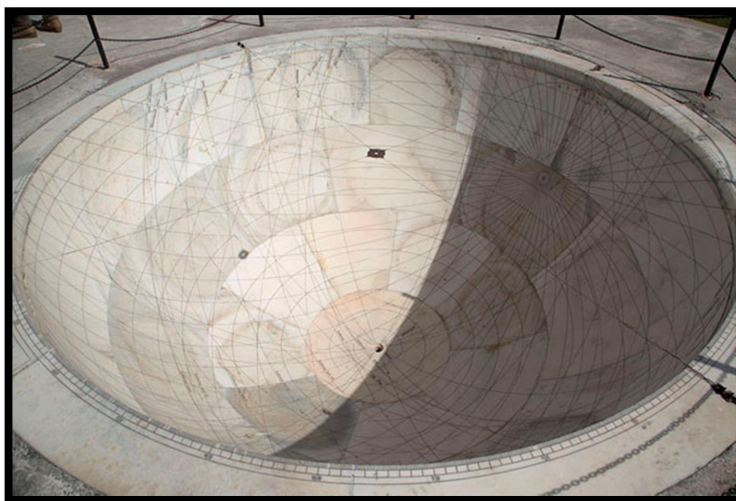


Este diseño presenta un problema directo, la pérdida de mediciones y superficies de lectura en los lugares que han sido horadados para el paso de una persona. La solución es muy simple, se duplican los instrumentos pero las hendiduras se practican en los lugares opuestos, las superficies inversas, de modo que cuando la sombra del gnomon empiece a perderse por la presencia de una trinchera, en el instrumento gemelo estará apareciendo para continuar con la medición. Por tanto ambas superficies son complementarias para formar una semiesfera completa.

Durante la noche el proceso de medición es el contrario, la mirada del astrónomo se hace pasar por el gnomon y se toman los ángulos de las posiciones de los cuerpos celestes. Esta tipología fue de las últimas en colocarse en los observatorios debido a su complejidad, y sirvió como corrector de medidas tomadas con otros instrumentos debido a su precisión.

La construcción y materiales de estos instrumentos es muy simple son quitar mérito a la precisión de su ejecución para obtener resultados fiables. Las superficies semiesféricas están realizadas en mármol blanco, sustentadas sobre muros de ladrillo macizo que a su vez funcionan como muros de contención de los terrenos.

Las galerías de acceso se practican desde la plataforma superior en los laterales.



Instrumento en Jaipur.

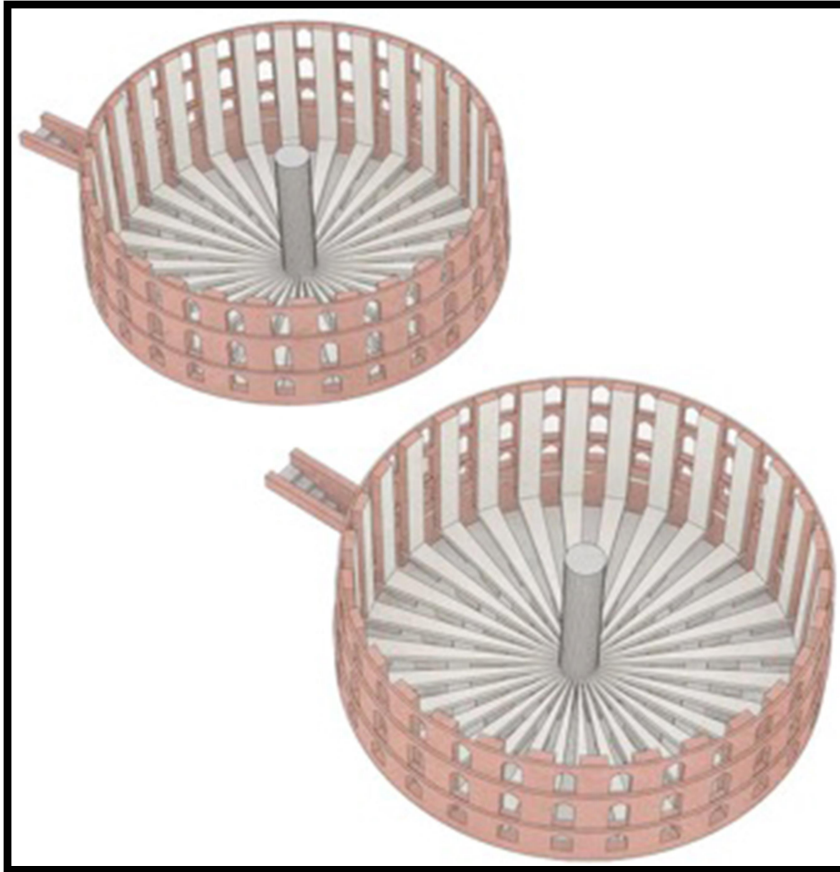
Kappala Yantra

Este instrumento es un antecesor del jai prakash visto anteriormente y en el que Jai Singh II se basó para el diseño del jau prakash. A diferencia de la versión de Singh el kappala no posee trincheras de lectura o galerías para acceder a él, y es

Jesús Carmona Morales

básicamente un reloj de proyección semiesférica; por tanto no necesita de un gemelo para obtener la medición ya que la superficie es continua.

Rama Yantra



El rama yantra sirve para la medición de ángulos en azimut y altitud de los objetos celestes. El gnomon principal es una vara en el centro del cilindro que se usa de referencia para tomar las medidas en el plano horizontal o en las paredes interiores verticales.



Rama Yantra en Dehli.

Este instrumento aparece duplicado por las mismas razones que el jai prakash, cuando una hendidura no permite la lectura en uno se realiza en el contiguo. Como en el jai prakash el plano de medición horizontal queda a la altura del pecho para facilitar la toma de datos, aunque en este caso la construcción se eleva en lugar de hundirse en el terreno.

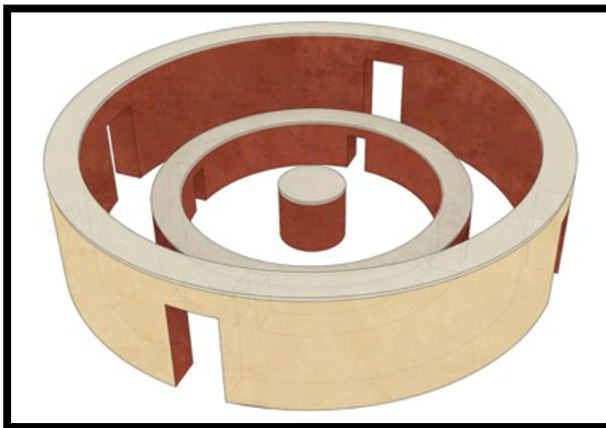
Jesús Carmona Morales



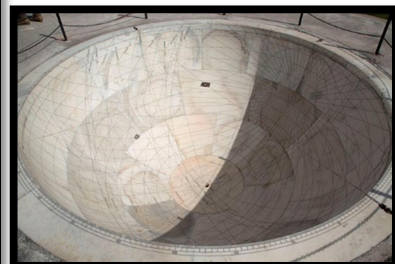
Interior del Rama Yantra.

Para la toma de medidas bastaba dirigir la mirada al objeto celeste pasando por el gnomon central, o bien como se describe en alguno lugares tendiendo un hilo desde el gnomon hasta el ojo para alinear el cuerpo celeste y a través de este hilo realizar las lecturas en la escala del suelo o del cilindro.

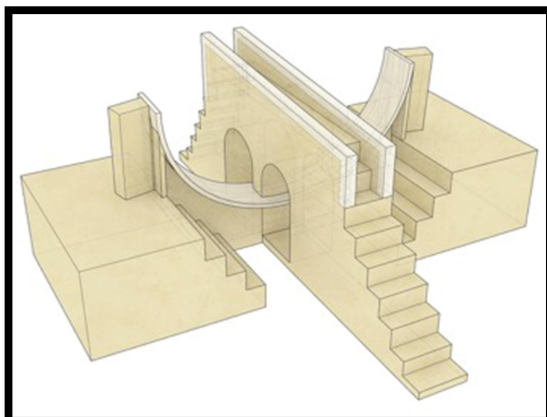
Digamsa Yantra



Este instrumento es muy similar al Rama Yantra visto en el caso anterior, pero su finalidad es la de obtener únicamente el ángulo de azimut (digamsa) del objeto. Consiste en dos muros circulares concéntricos, el interior de menor altura que el exterior, y un pequeño pilar en su centro. Desde el pilar central se extiende un cable que pasa por el muro exterior, un observador situado entre los dos muros concéntricos será capaz de determinar, situando el cable coincidiendo con el objeto celeste, la ángulo azimut de este objeto en el círculo interior.



Rasivayala



El rasivayala debe ser considerado como un único instrumento dividido en 12 partes. En configuración es parecido al samrat yantra, pero en lugar de medir el recorrido del Sol por el ecuador celeste mide el recorrido de las estrellas a lo largo de la eclíptica. Para ello el muro principal no apunta al polo Norte celeste, sino al polo de la eclíptica. La eclíptica tiene diferentes inclinaciones a lo largo del año

Jesús Carmona Morales

por lo que es necesario un instrumento diferente en cada mes.

La precisión de este instrumento es dudosa y se hacen necesarias costosas interpolaciones entre las mediciones de dos instrumentos la mayor parte del tiempo. Sin embargo es una idea original de Singh para medir posiciones de objetos respecto a un concepto tan poco inmediato como la eclíptica.



Conjunto de Rasivayala en Jaipur.

Cada rasivala sería útil sólo cuando el signo zodiacal correspondiente entrara en el meridiano local, en ese momento el plano ecuatorial sería paralelo a los cuadrantes, del mismo modo que el plano ecuatorial del samrat yantra es paralelo con el de la Tierra. Los rasivayalas están diseñados con una inclinación precisa para cada signo del zodiaco, pero la extensión de estas constelaciones hace que solo uno o dos días de la media de 30 que permanecen en el meridiano el plano ecuatorial del instrumento sea realmente coincidente con el del signo en cuestión.

Estos artilugios fueron colocados únicamente en el observatorio de Jaipur. Donde suman 12 debido a los doce signos del zodiaco, pero a su vez y conectada con esta característica con el hecho práctico de dividir la esfera celeste en secciones iguales de 30°.

Se han obviado algunos instrumentos menores presentes en los observatorios debido a su sencillez o poca representatividad respecto a otros diseños que fueron más innovadores en estos complejos astronómicos.

Real Observatorio de Madrid (1790)

Los primeros observatorios astronómicos españoles de la edad moderna coinciden prácticamente en el tiempo y en promotores. A pesar de pertenecer a una nación con grandes intereses en los viajes por mar la fundación final de los observatorios dista en el tiempo más de 100 años con otros observatorios europeos como París y Greenwich, de naciones igualmente volcadas en los viajes ultramar. Es precisamente un marino, Jorge Juan Santacilia (1713 – 1773), el que plantea al rey Carlos III la fundación de un observatorio en Madrid.

Años antes Juan había fundado un observatorio perteneciente a la Marina en la Isla de León, hoy San Fernando, en Cádiz; donde se realizaban tareas de enseñanza de conceptos astronómicos junto a una primigenia academia. Este será el germen del Real Instituto y Observatorio de la Armada, que trataremos más adelante y que a pesar de ser muy anterior al Real Observatorio de Madrid con las actividades ya comentadas, su fundación efectiva no se producirá hasta 1797.

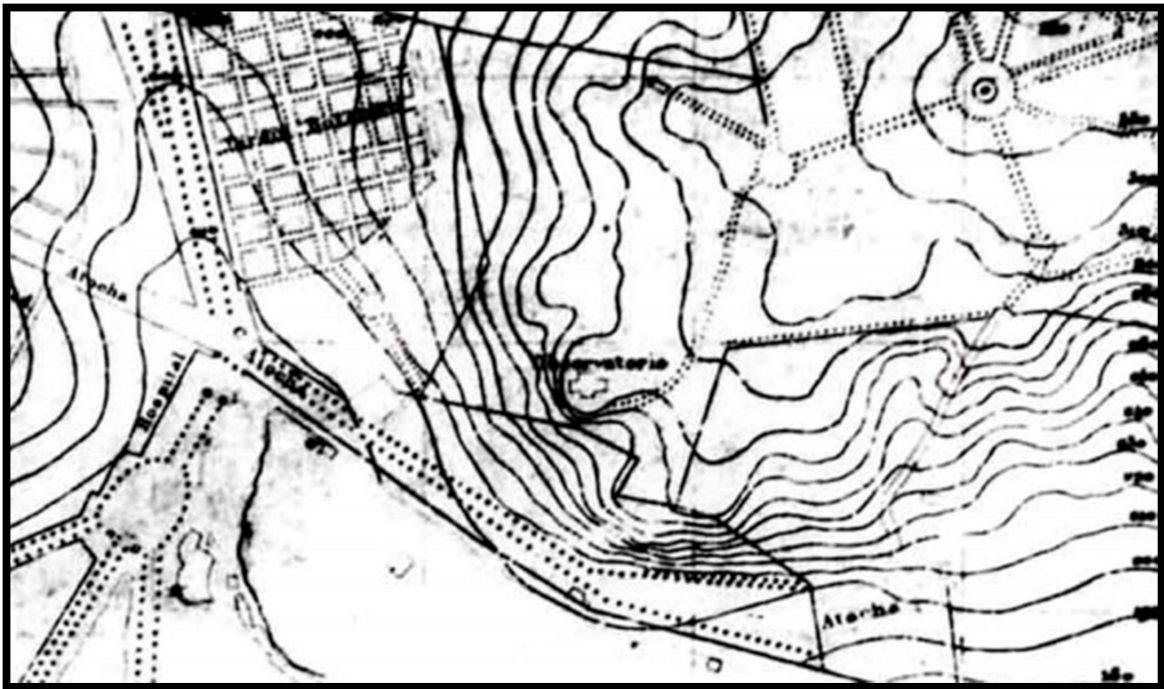
La petición de Jorge Juan a Carlos III deriva en la fundación del Real Observatorio en 1757, que no se formalizará en un decreto de constitución hasta 1790, ya bajo el reinado de Carlos IV. En los 33 años que transcurrieron, se envían matemáticos a diferentes lugares en Europa para informarse de los últimos adelantos y técnicas en astronomía, el propio Jorge Juan fue espía en Inglaterra de la tecnología e ingeniería inglesas para exportarlas a España. Fue el matemático Salvador Jiménez Coronado quien de regreso a España será el primer director del Real Observatorio.



Estado actual del Real Observatorio de Madrid. Plano general.

Edificio Juan de Villanueva

El lugar elegido para el emplazamiento del observatorio fue el Cerrillo de San Blas, un lugar en el límite Sur de los Jardines del Buen Retiro, en las afueras de Madrid, y donde existía una pequeña ermita que daba nombre al lugar. La elección de este emplazamiento responde a una operación urbanística que completaría las actuaciones de la Academia de Ciencias (hoy Museo del Prado) y el Real Jardín Botánico, completando el llamado “Eje de las Ciencias”. El edificio original del Real Observatorio fue encargado al mismo arquitecto que las otras intervenciones del Eje, Juan de Villanueva (1739 – 1811); sin embargo las dimensiones del edificio del observatorio serán mucho menores que las de los otros.



Plano topográfico del Cerrillo de San Blas (Rafo y Ribera 1848) con el edificio de Villanueva en el centro. Al Noroeste el Jardín Botánico y al Noreste los caminos del Parque del Retiro.

En un primer proyecto el edificio de Villanueva sería más voluminoso y extenso. El desnivel de la zona sería absorbido por las alturas del edificio que mostraba un cuerpo con columnas dóricas a modo de pórtico en el nivel inferior del desnivel Sur y un cuerpo mayor muy similar al que finalmente se realizaría en la parte superior, sin embargo las restricciones del presupuesto reducirían estas primeras aspiraciones por un edificio más modesto en tamaño y superficie.



Proyecto inicial no realizado del Real Observatorio de Madrid.

El edificio finalmente construido es de estilo neoclasicista con líneas sobrias y órdenes clásicos. Destacan del conjunto el pórtico y el templete superior, rescatados de la idea original. El pórtico es de orden corintio hexástilo con cuatro contrapilastras en la fachada interior. El templete que corona la construcción central posee dieciséis columnas de orden jónico y está inspirado en las ruinas del templo de Vesta en Tívoli que Villanueva pudo conocer en su juventud viajando por Italia. El edificio sigue la traza de un templo de cruz griega, donde el alzado principal queda ocupado por el pórtico y los lados restantes con tres cuerpos menores, los del eje Este-Oeste iguales entre sí. En este sentido el edificio tiene inspiración clásica con intención de crear un templo de la ciencia y la razón modernas. La alineación del observatorio coincide con los puntos cardinales para facilitar las observaciones y las referencias.



Fotografía de 1869 del Templo de Vesta en Tivoli. Villa Rotonda de Andrea Palladio (Veneto).

En volumen el edificio tomaría referencias de las villas palladianas, y elementos como el pórtico y la rotonda central. Exteriormente el edificio mostraba su fachada principal al Sur hacia una

Jesús Carmona Morales

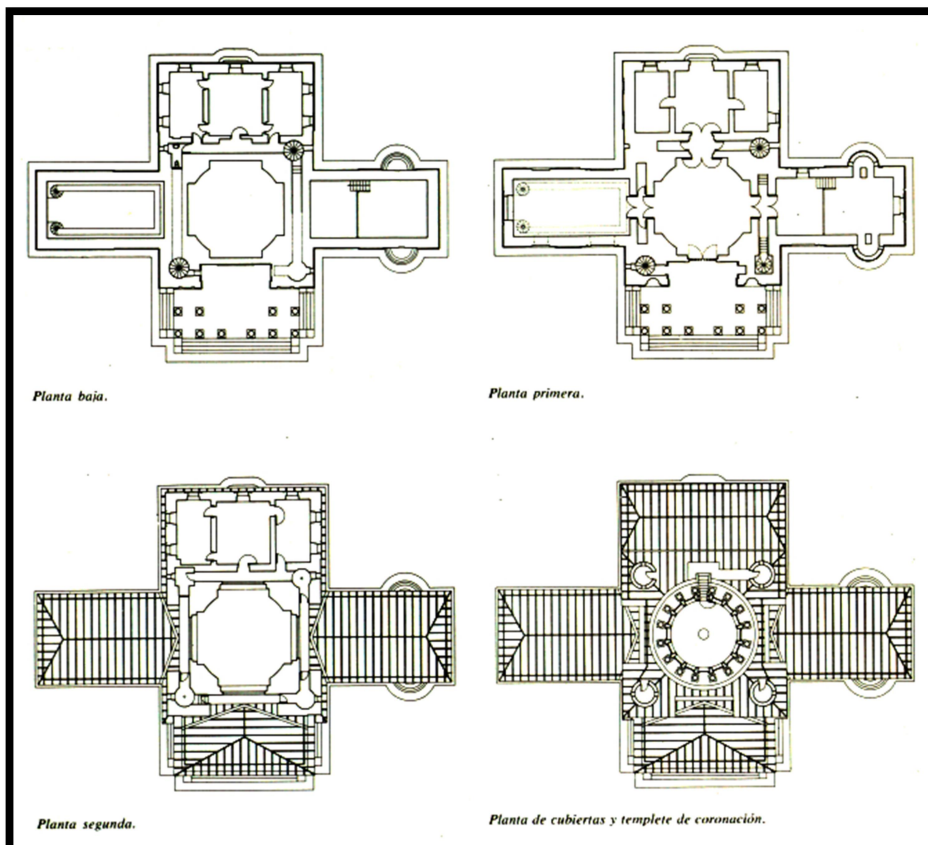
avenida, con parterres y un pequeño estanque, que acababa en un gran desnivel. Este desnivel era uno de los accesos del recinto del observatorio a través de unas escaleras coronadas con un mirador con pretil de piedra. A primeros del siglo XX la puerta quedó sin uso y hacia la Guerra Civil lo único visible de la misma era el pretil de coronación, el resto quedaba enterrado.



El edificio de Villanueva con el bastión de acceso Sur hoy desaparecido.

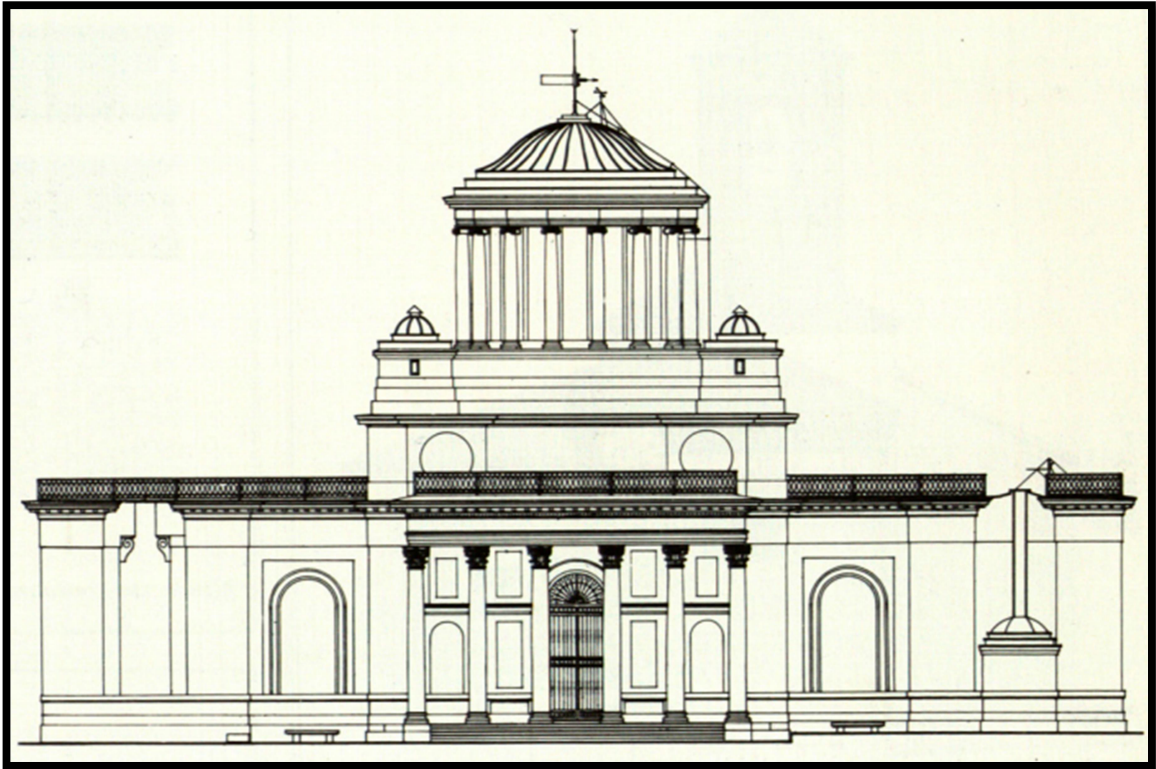
El edificio de Villanueva estaba destinado a albergar una biblioteca, oficinas e instrumentación traída desde el resto de Europa, entre la que se encontraba el telescopio encargado a William Herschel, de 7,6 metros de longitud y con un espejo 61 centímetros de diámetro. Este instrumento no pudo ser instalado en el edificio en un primer momento pues el armazón pensado para sostenerlo no cabía. Además el edificio no se completó a tiempo y parte de este material fue alojado en una nave provisional cercana, Villanueva nunca lo vería completado.

El ala Este es la que se ve claramente preparada para la instalación de equipo astronómico de tránsitos al disponer una rendija en los muros y la cubierta que permitía la observación del



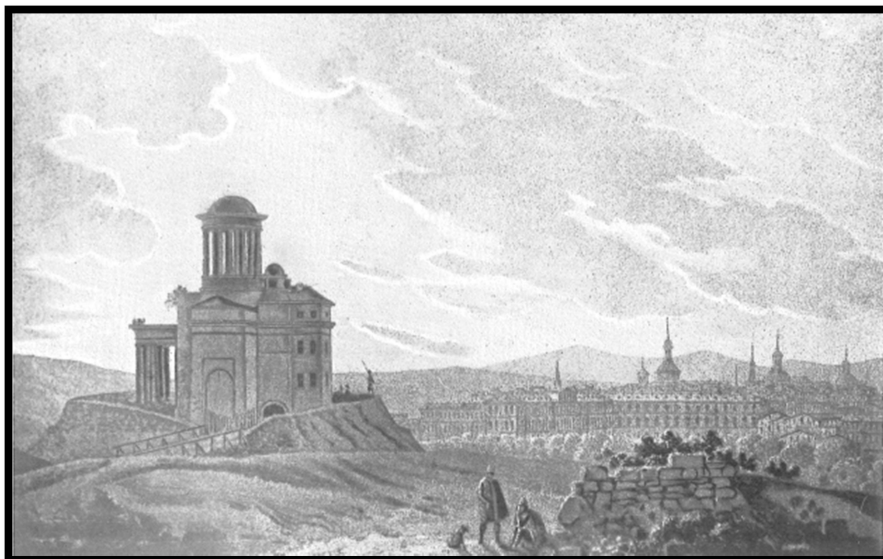
Plantas de los diferentes niveles del Edificio de Villanueva.

mediodía y la culminación de los objetos celestes.



Alzado Sur del edificio de Villanueva.

La invasión de las tropas francesas detuvo totalmente el desarrollo del observatorio de Madrid, y perjudicó las instalaciones al asentarse los militares en la zona del Buen Retiro. El edificio fue usado como polvorín y almacén de armas, retirando o destruyendo todo lo que albergaba, e instalando en el templo un cañón. El telescopio Herschel fue destruido, salvándose únicamente el espejo. José I Bonaparte encargó al arquitecto Silvestre Pérez un proyecto de rehabilitación que nunca llegó a ejecutarse. Fernando VII encarga en 1815 una evaluación del estado del edificio al arquitecto Antonio López Aguado, que reporta muchos daños en el pórtico, bóvedas y escaleras en parte por una explosión del polvorín.



Grabado de Bacler D'Albe del Real Observatorio durante la Guerra de la Independencia.

Jesús Carmona Morales

En 1841 se recaban los fondos y la determinación para finalizar el observatorio, aunque designándolo sólo como “observatorio meteorológico”, y lo completa el arquitecto Narciso Pascual y Colomer entre 1845 y 1848. Puesto que no fue terminado hasta más de 50 años después de la redacción del proyecto, el edificio final sufrió algunas modificaciones. Al proyecto de Villanueva, Pascual y Colomer añade dos pequeñas cúpulas sobre torreones tras el pórtico imitando las dos traseras ya planeadas, cerró el templete superior con ventanales de hierro y vidrio y además completa el remate del pórtico con una balaustrada de hierro. No se acometió la sustitución de la cúpula del templete por una cubierta plana que habría acabado con la referencia directa que dio origen a este elemento. Sobre el templete hay que señalar que, fuera en la época de su construcción como en épocas posteriores, se trataba de una referencia y un recurso artístico poco práctico para la instalación de cualquier tipo de equipo fijo, que durante la observación se vería constantemente interrumpido por las columnas.

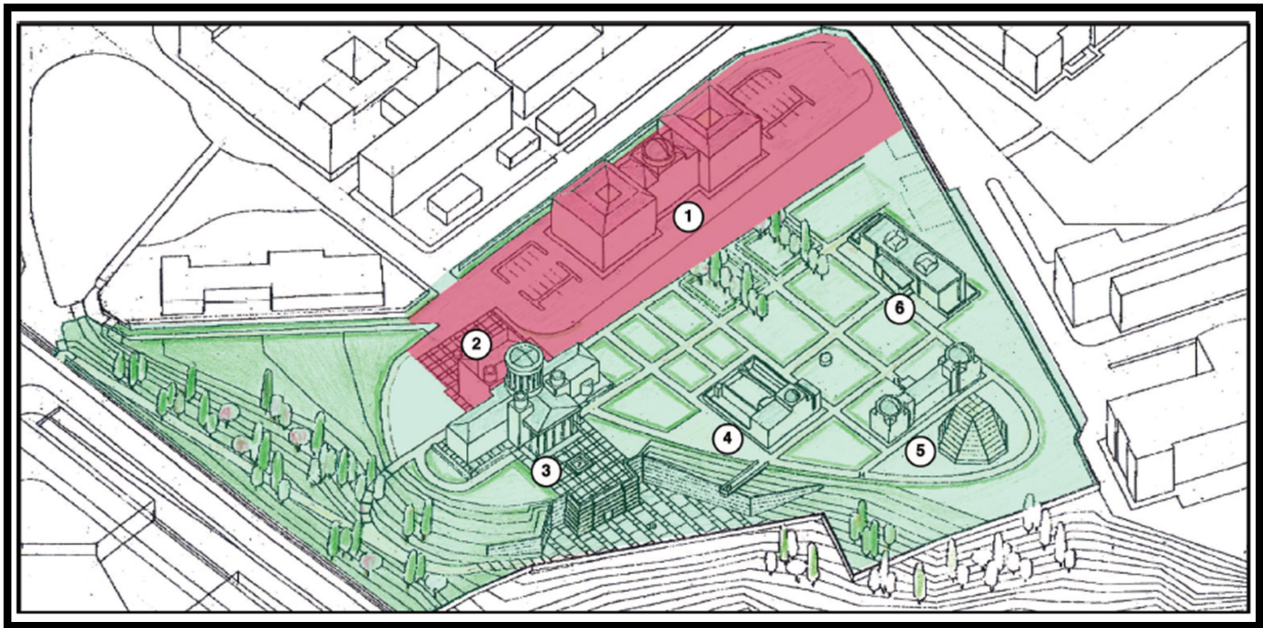
En 1974 el edificio fue sometido a una restauración por parte del arquitecto Antonio Fernández Alba, que realizaría más intervenciones en el lugar en años posteriores. Siguió respetuosas directrices marcadas por la idea original del proyecto, consiguiendo el Premio Nacional del Patrimonio Artístico en 1980.



Edificio de Villanueva en la actualidad.

Instituto Geográfico Nacional al que pertenece el Real Observatorio desde 1904.

A finales del siglo XX y principios del XXI, una serie de proyectos que se extendieron en el tiempo unos 12 o 15 años pretendían modernizar las instalaciones, readaptar edificios y crear nuevos espacios para la divulgación. Gran parte de la observación y la investigación había sido trasladada al Observatorio de Yebes de modo que los trabajos desde Madrid no eran los principales de la rama de astronomía del



*Diferenciación de las zonas de investigación (en rojo) y los espacios y edificios abiertos al público (en verde).
Numeración: 1) Edificio del Gran Ecuatorial. 2) y 3) Edificio de Villanueva. 4) Edificio del astrógrafo. 5) Pabellón del Sol y Pabellón Herschel y 6) Sala de Ciencias de la Tierra y el Universo.*

Edificio del Gran Ecuatorial

Poco después de la puesta en funcionamiento del edificio de Villanueva, se hizo patente que era necesario construir un espacio en los terrenos del observatorio para alojar a los astrónomos y geodestas que trabajaban allí. En 1854 se construyó el edificio del Gran Ecuatorial, diseñado por el arquitecto José María Aguilar y Vela, hermano del entonces director del observatorio el astrónomo Antonio Aguilar y Vela. La estrecha colaboración produjo un edificio de viviendas que en el tiempo ha sido versátil y capaz de adaptarse a otros usos.

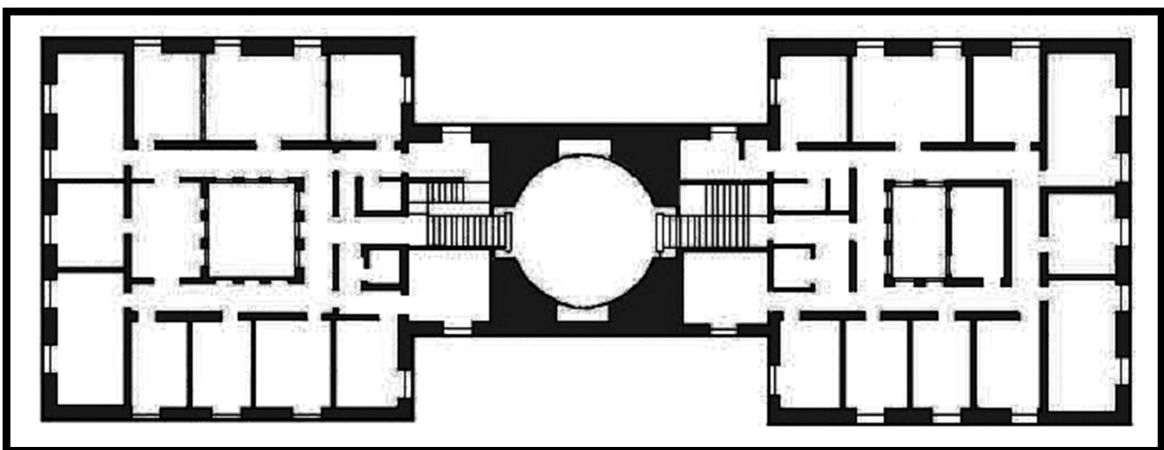
La intención principal era la de alojar a los astrónomos residentes del observatorio, pero también se incluyó en el programa espacio para un nuevo telescopio de grandes dimensiones, el refractor ecuatorial Merz de 27 centímetros de apertura.



Fotografía anterior a 1924 donde se aprecia la torre giratoria del edificio del Gran ecuatorial, a la derecha.

La instalación se diseñó en dos alas más voluminosas ordenadas de Este a Oeste, de tres alturas, organizadas en torno a patios de luces centrales en los que se sitúan las circulaciones quedando las viviendas volcadas a la fachada exterior. Ambas alas quedaban unidas por un cuerpo central más estrecho con un espacio abierto para albergar en su planta superior el telescopio. La cubierta de la rotonda central se construyó inicialmente como una torre giratoria, que se sustituiría por la típica cúpula en 1924 con motivo de la llegada de un nuevo telescopio ecuatorial mayor, el Grubb de 40 centímetros de apertura, que rebautizó el edificio como “Gran Ecuatorial”.

La estructura del edificio está realizada mediante muros de carga de ladrillo macizo con esquinas rematadas en piedra noble, los forjados son de madera y la cubierta de teja cerámica.



Planta primera del edificio del Gran Ecuatorial.

La conexión entre ambas alas se hacía a través de la planta baja, ya que toda la rotonda central estaba ocupada por el gran ecuatorial. Con el paso del tiempo algunas zonas del edificio se utilizaron como talleres, y a principios del siglo XXI se produjo una remodelación, encargada de nuevo a Fernández Alba, que eliminó las viviendas y acondicionó el espacio para despachos y zonas de investigación. Quedando el ala Oeste destinada a astronomía y la Este a geodesia. La planta inferior fue reacondicionada con zonas comunes: biblioteca, sala de reuniones, comedor,....

Jesús Carmona Morales

La remodelación finalizada en 2006, se ha alabado como una intervención respetuosa con el proyecto original y efectiva de cara a sus nuevos usos.



Rotonda central en planta baja desde la escalera del ala oeste.

En la actualidad es la única zona del observatorio que queda fuera del acceso público y sigue destinada a las actividades de investigación.



Ala Este y acceso central del edificio del Gran Ecuatorial.

Pabellón del Sol

Para el eclipse solar del 28 de Mayo 1900, cuya totalidad pasó por el centro de la península, el observatorio se dotó de dos telescopios Grubb. Tras el eclipse, los telescopios fueron instalados en

Jesús Carmona Morales

un edificio diseñado a tal efecto por el arquitecto Enrique María Repullés y Vargas en 1901. Sin especial complicación, el edificio situado en el extremo Sur de los terrenos del observatorio y alineado con los puntos cardinales, posee dos cúpulas astronómicas, una en cada extremo, unidas por una pieza longitudinal.

En la puesta en valor de finales del XX, el edificio se destinaría a salón de reuniones del observatorio. Las cúpulas serían restauradas dotándolas de una estanqueidad que no habían tenido nunca y que había malogrado la conservación de los telescopios. Los instrumentos fueron trasladados a zonas de exposición del observatorio.



Pabellón del Sol, el casco esférico central pertenece al pabellón del telescopio Herschel situado detrás.

Edificio del Astrógrafo

Este pequeño edificio albergó un astrógrafo, telescopio fotográfico, para lo que fue edificado hacia 1925, posee un diseño racionalista con juegos entre los diferentes volúmenes y el espacio de la cúpula; frente al edificio una pequeña avenida lo presenta entre muretes a modo de bancadas que delimitan los jardines e incluso el acceso, en su escueta aparición, hace guiños al racionalismo planos curvados y pequeños voladizos. Por lo demás en el edificio reina la sobriedad, si bien recupera el enmarque de las ventanas que posee el pabellón del Sol.



Acceso al pabellón del astrógrafo.

Aunque en las actuaciones de remodelación de esta pieza, se pensó en incorporarla al público, finalmente ha quedado en un limbo en el que todavía funciona como parte de las zonas de investigación del observatorio y como sala de control remoto de telescopios en otras instalaciones.



Pabellón del astrógrafo.

Jesús Carmona Morales

Sala de Ciencias de la Tierra y del Universo

Este espacio es de los últimos construidos junto con el Pabellón del telescopio Herschel, y junto con este con un carácter de acceso público y centrado en la divulgación. Este edificio alberga espacios de exposición principalmente y algunas dependencias para reuniones y almacenamiento del observatorio. En esta sala se exponen piezas rescatadas y restauradas de la historia de la institución, así como modelos interactivos para dar a conocer la astronomía y otras ciencias. Esta vez como obra nueva, el edificio fue diseñado por el arquitecto Antonio Fernández Alba y construido en 2005. Sin embargo no fue inaugurado hasta 2010 a la vez que el pabellón Herschel, en este espacio de tiempo hasta su apertura se diseñó, preparó y dotó de las exposiciones que ofrece.

El edificio situado en el extremo Este del recinto es un volumen longitudinal, de Norte a Sur, con una fachada de vidrios opacos a Oeste donde se generan los accesos desde el jardín del observatorio. Los colores de esta nueva intervención están en sintonía con las restauraciones realizadas al resto del conjunto, e incluso los vidrios tienen el mismo tratamiento que los usados en el pabellón Herschel.



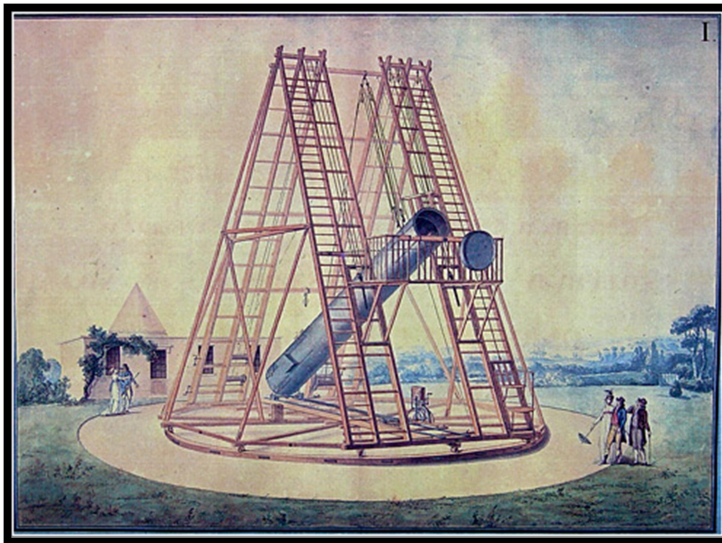
Acceso a la Sala de Ciencias de la Tierra y del Universo.

Pabellón del telescopio Herschel

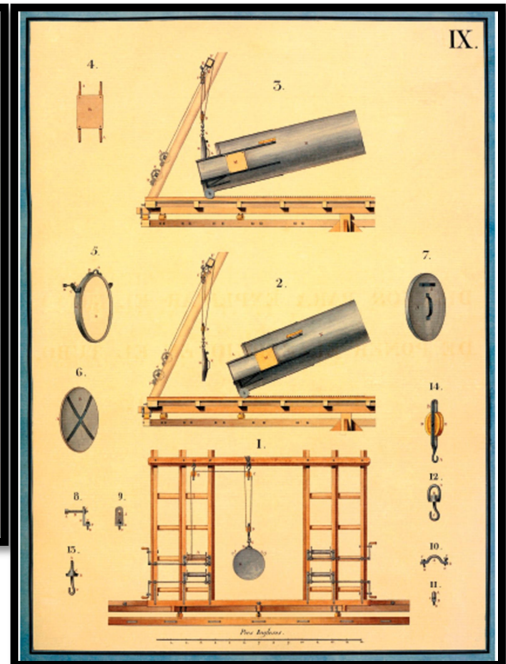
El telescopio encargado por el observatorio a William Herschel en 1796 fue definido por el astrónomo como el de mejor factura que había realizado. Llegó al observatorio de Madrid hacia 1802, y estuvo disponible sólo hasta 1808.

Jesús Carmona Morales

El telescopio sufrió diferentes penalidades en su trayecto desde Inglaterra y ya en España. José de Mendoza y Ríos, astrónomo que siguió el trabajo de Herschel para la instalación del instrumento en Madrid, desarrolló planos e instrucciones de montaje para el observatorio, sin embargo no estuvo durante la instalación perdiéndose parte del conocimiento del manejo del telescopio. El telescopio no cupo en el espacio diseñado para él y fue instalado en el jardín. Con la invasión francesa los astrónomos escondieron el espejo pulido a mano por Herschel y algunas piezas de los mecanismos en una de las cúpulas de la fachada Norte, y los planos fueron puestos a buen recaudo. La montura fue reducida a astillas y quemada por las tropas francesas. Por desgracia el espejo no se encontró hasta cien años más tarde y los planos hasta 1931.



El telescopio Herschel original. A la derecha lámina IX original del montaje del telescopio.



El telescopio consistía en un tubo tipo reflector (Newton) de unos 7 metros de longitud sobre una montura ecuatorial manejada con cuerdas y poleas, realizada en madera de roble inglés.

En 2004 se reconstruyó el telescopio siguiendo los planos rescatados, sin usar el espejo original que está expuesto en la colección de piezas del observatorio, mientras que el armazón fue construido por los astilleros de Francisco Mendieta. Para albergar la reproducción, Antonio Fernández de Alba diseñó un edificio con la exclusiva intención de albergar y contar la historia del telescopio, inaugurado en 2010.

Jesús Carmona Morales



*Proceso de reconstrucción del telescopio.
Reproducción en exposición.*



Cubiertas del Mercado de la Cebada en Madrid.

Las razones por las que se llegó al diseño final están muy ligadas al que ha sido promotor de todas estas reformas, el astrónomo Jesús Gómez González, quien en estrecha colaboración con el arquitecto dio directrices para que el edificio fuera un espacio en el “que el telescopio pudiera ver, y [...] ser visto”. Se hicieron diferentes diseños imitando los accesos del Louvre, con una pirámide de cristal (repitiendo los esquemas del armazón original), que fueron descartados para que el instrumento tuviera un espacio menos constringente a su alrededor y favorecer su conservación, pues las altas temperaturas que generaría ese diseño acabarían por estropear las maderas.

Finalmente se optó por una “urna” donde quedaría expuesto pero con claras vistas libres al Sur, zona libre del cielo para observar con el telescopio (aunque no fuera posible). La cubierta utilizada fue señalada

por el mismo astrónomo al considerar las existentes en el Mercado de la Cebada de Madrid en el Campo de la Cebada, cascos esféricos cortados por planos verticales. El cubo proyectado finalmente es prácticamente diáfano con cerramientos de vidrio con tratamiento anti-infrarrojo a fin de proteger la pieza y cubierto por un casco esférico de zinc.



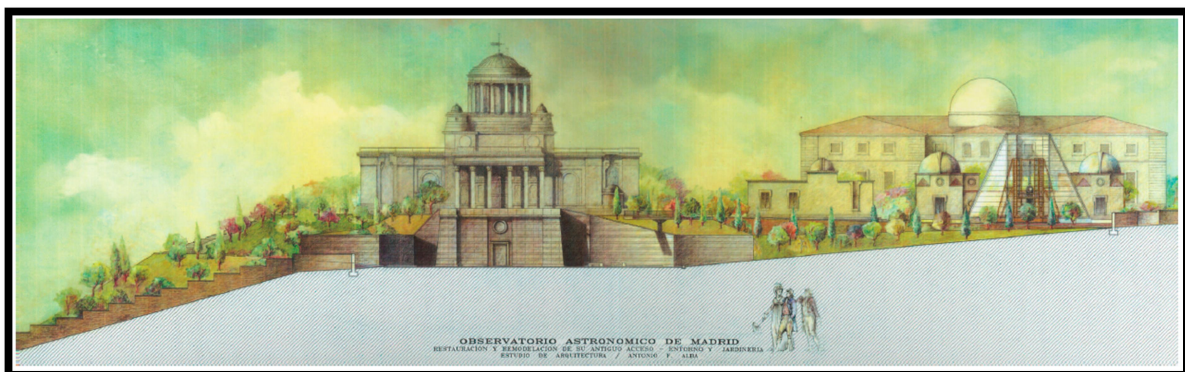
Edificio de exposición de la reconstrucción.

Acondicionamiento de zonas exteriores y recuperación de la puerta Sur

Los espacios que conectan los edificios del Real Observatorio fueron modificados y reordenados en la intervención realizada por Antonio Fernández Alba. La intención principal, además del embellecimiento del recinto, fue la de marcar la división de actividades de investigación (en la parte Norte del recinto) y divulgación pública (en todo el resto Sur y Suroeste del recinto).

Se dotó de nuevas instalaciones de calefacción, así como de un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) para ciertos centros, concentrando estos sistemas en la zona Nordeste junto al edificio del Gran Ecuatorial, y generando además una zona de aparcamiento que liberaba de este uso a las inmediaciones del edificio de Villanueva.

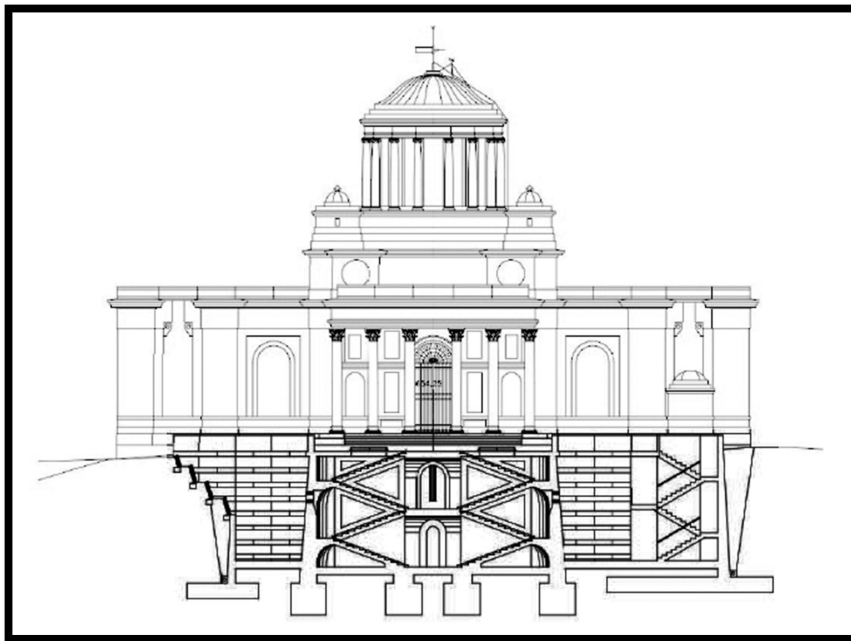
Las zonas del centro de la parcela se reordenaron con nuevos jardines y galerías verdes que conectaban los edificios del Astrógrafo, del Sol y el Gran Ecuatorial.



Alzado Sur del conjunto del observatorio con el acceso de la puerta Sur perdida; a la derecha es posible ver el proyecto primitivo para albergar el telescopio Herschel.

Jesús Carmona Morales

Finalmente quedaba la recuperación del frontón de acceso del edificio de Villanueva enterrado en el talud Sur. En las actuales condiciones de la parcela, esta pieza queda en su linde Suroeste a escasísimos metros del fin de la propiedad y cuya base podría estar enterrada por debajo de la cota actual del terreno por lo menos un metro. Desde una bocacalle de la Calle de Alfonso XII se puede apreciar la pendiente de la colina que lleva al observatorio y a este elemento enterrado. Hoy en día continúan las diligencias con el Ayuntamiento de Madrid, al que pertenecen los terrenos inmediatos al acceso perdido, para rescatarlo y poner en servicio no solo la puerta sino las escalinatas interiores. Sin embargo no han sido completadas en este punto todavía. Para asegurar las lindes y el cierre del recinto tan solo se ha llevado a cabo la recuperación del pretil superior de la puerta y se ha dotado de una pantalla de árboles que enmascara provisionalmente la presencia del desnivel.



Sección del Bastión Sur destacado sobre el edificio de Villanueva al fondo.



Aspecto actual del acceso Sur y el tope del bastión frente al edificio de Villanueva.

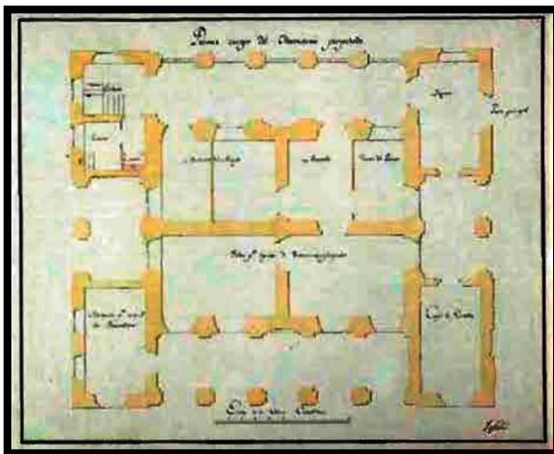
Real Instituto y Observatorio de la Armada (1797)

Como se ha comentado en el Real Observatorio de Madrid, el origen del Real Instituto y Observatorio de la Armada es incluso anterior al de la capital, sin embargo su fundación final se demoró unos años.

Los orígenes de este observatorio han de buscarse en la Academia de Guardias Marinas en Cádiz, fundada en 1717, que no se trasladará a la Isla de León hasta 1769. La formación de esta academia incluía doctrinas no sólo navales sino una formación científica entre las que se encontraba la astronomía, por cuestiones de utilidad práctica en la navegación. Por otra parte Jorge Juan Santacilia fundaría en 1753 el Real Observatorio Astronómico, en un torreón anexo al Castillo de la Villa. El traslado de ambas instituciones a la Isla de León dará como resultado el impulso final a la fundación de un Real Observatorio de la Armada en 1793 en el emplazamiento cercano a la Torre Alta.

Edificio original

Se presentaron dos proyectos para el Observatorio de la Armada, uno realizado por Vicente Tofiño y otro por el Marqués de Ureña, Gaspar de Molina y Zaldívar. El proyecto de Tofiño se organizaba en torno a un espacio central ligeramente rectangular, rodeado por espacios porticados abiertos al exterior en todas las fachadas, menos al norte, en tres alturas, en las que en la última generaba una gran sala para los equipos astronómicos, circundada de terraza exteriores.



Planta y Alzado del proyecto no construido de Vicente Tofiño

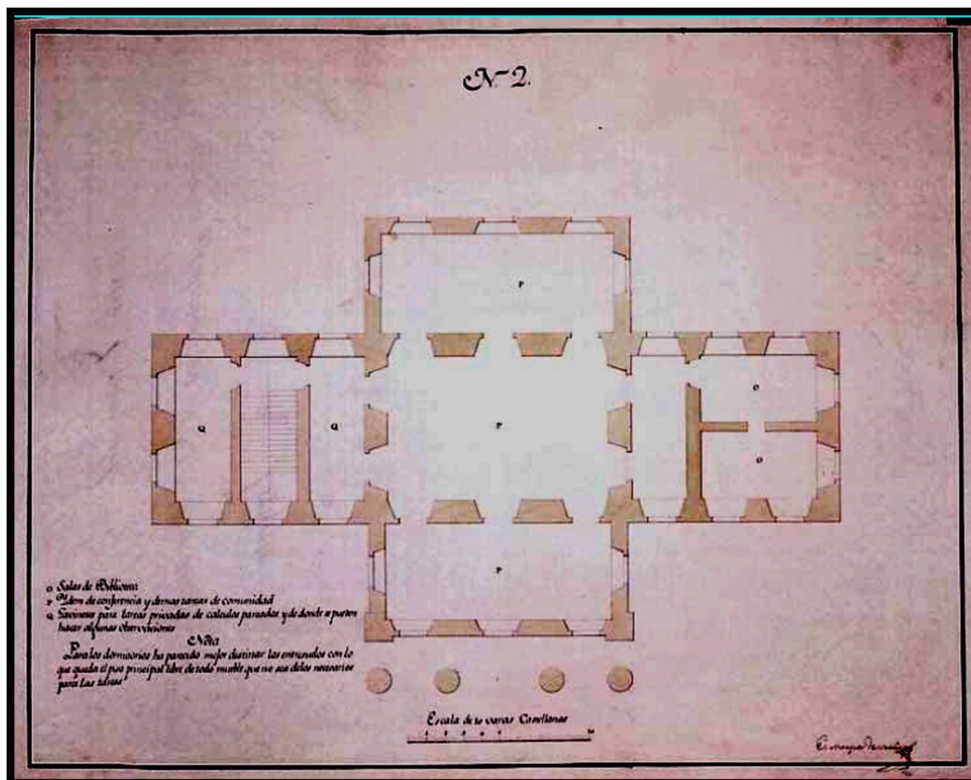
El edificio original del Real Observatorio de la Armada fue diseñado y finalmente construido por Gaspar de Molina y Zaldívar, iniciado en 1793 y finalizado en 1797. Está situado en el cerro de Torre Alta, lugar con mayor elevación de San Fernando (30 msnm), para facilitar las observaciones costeras, como ya había sido cometido este el de la Torre Alta cercana. El edificio tiene una rígida orientación Norte – Sur, de planta de cruz griega, en dos plantas más la cúpula original en la zona central de la cubierta. La fachada principal mira al Sur, donde presenta un pórtico de cuatro columnas de orden toscano de líneas clásicas.



Edificio original de Gaspar de Molina

La fachada Sur presenta un zócalo que encuadra el edificio original y lo sobre eleva a modo de los templos clásicos.

El diseño de Molina repartía espacios compartimentados en el eje Este-Oeste, mientras que dejaba espacios más amplios en el eje Norte-Sur de la cruz griega, en planta baja. Hoy en día estas salas forman parte del museo del observatorio. En la planta superior se ha habilitado un espacio totalmente dedicado para el amplio fondo de la biblioteca del observatorio, inicialmente ubicada en un reducido espacio del ala Este de la planta baja.



Planta baja diseño del Marqués de Ureña



Alzado principal del diseño del Marqués de Ureña

El proyecto original contaba con una gran cúpula rebajada que fue eliminada para construir una torre giratoria, sin cúpula, que a su vez fue sustituida en el siglo XX por una cúpula astronómica. El instrumento estrella del observatorio, que no fue aprovechado todo lo que se esperaba, fue el refractor Brunner, de la misma casa que el refractor instalado en la torre Arago del observatorio de París. Ocupó el espacio de la cúpula del edificio principal desde 1869. Hoy la cúpula alberga un telescopio emisor/receptor Cassegrain de 60 centímetros, para la medición y el control de satélites; la sala de telemetría láser y de control está situada justo debajo en el propio torreón con la que lo comparte.

El edificio principal sufrió ampliaciones en el lado Este y Oeste entre el primer y el segundo tercio del siglo XIX. En la actualidad todavía cuenta en la cubierta con una esfera de señales horarios (time ball) que funciona una vez al día.



Ampliación Oeste a la derecha

Jesús Carmona Morales

Adición para el telescopio de tránsitos

El observatorio adquirió un anteojo con montura altacimutal en 1860 construido por Troughton & Simms. Este instrumento de tránsitos meridianos fue situado en un nuevo edificio añadido en el lado Oeste del edificio original. Esta nueva construcción se realizó siguiendo las necesidades del nuevo instrumento: orientación Norte-Sur y un bajo horizonte. Para ello se dispuso de una construcción a dos aguas, seccionada en la zona del telescopio, con aberturas móviles para exponer o proteger el telescopio.

Un pabellón similar fue realizado en el flanco Este, sin embargo en la actualidad no se conserva.

Para la construcción de estos pabellones y demás labores de ampliación del complejo fue demolida, en 1857, la Casa de Astrónomos, edificio de viviendas de una sola planta donde se alojaban los científicos residentes de la institución.



Grabado del s. XIX con la ampliación y la Casa de Astrónomos



Torreón con torre giratoria

Instalaciones del Observatorio

Diferentes puestos de medición y observación han ido completando las instalaciones del observatorio, algunos de ellos relacionados con la astronomía, Sección Astronomía, como la pequeña cúpula para el telescopio ecuatorial Cooke, situado en la linde Norte del recinto (jardín trasero al edificio principal) y otros, Sección Geodesia, más ligados al magnetismo, la sismografía (en el mismo jardín mencionado) o el cálculo actual de la hora, la Sección Hora (el espacio más extenso del observatorio al Oeste del edificio original).



Instalaciones del Observatorio en 1929

Sección Hora

La Sección Hora, funciona desde 1973 en instalaciones sin especial complejidad técnica o proyectual, situadas junto al edificio original. Desde 2017 esta sección cuenta con nuevas instalaciones al Sur de la Torre Alta, construidas por el Instituto de Vivienda, Infraestructura y Equipamiento de la Defensa (INVIED), llamadas la Casa del Reloj.



Casa del Reloj, nueva Sección Hora.

Jesús Carmona Morales

El edificio, en dos alturas más sótano, tiene planta en "L". Posee una alta funcionalidad y pocos gestos a nivel de diseño. Exteriormente presenta un revestimiento modular y relojes junto a uno de los ángulos del volumen de acceso que se iluminan en azul por la noche. En planta sótano hay una sala limpia para la calibración de los patrones de Cesio 133, en las plantas superiores se encuentran diferentes equipos, oficinas y espacios auxiliares, con diferentes condiciones de control del ambiente. El edificio ha sido equipado con suelos técnicos para la versatilidad de las instalaciones.

La Torre Alta

Dentro del recinto del Observatorio y perteneciente a la armada queda incluida la Torre Alta, que debe su nombre a los terrenos en los que se asienta pertenecientes al conde de Torre Alta en el siglo XVI. Fue erigida a comienzos del XVII y posee 18 metros de altura, está realizada en piedra ostionera, muy utilizada en la zona. La torre sirvió durante décadas como punto de vigilancia ante asedios y como punto de comunicación visual con la torre Tavira en Cádiz. En la actualidad ha sido consolidada y restaurada por la Armada.

Edificio del astrógrafo Gautier

El observatorio de San Fernando cuenta con un pabellón dedicado al proyecto "Carte du Ciel", propuesto en París en 1887. La participación de 19 observatorios por todo el mundo con equipos de idénticas características contó con la participación de España. La situación más meridional del observatorio de San Fernando respecto al de Madrid le valió la obtención de la sede española.

El proyecto consistía en la cartografía fotográfica de todo el cielo, San Fernando debía aportar la parte correspondiente del cielo entre los -3° y los -9° de declinación. Para la consecución del proyecto se realizó un pabellón que albergaría dos telescopios, uno astrógrafo y otro visual, de 33 y 20 centímetros de apertura y en torno a 350 centímetros de longitud focal, construidos por Paul Ferdinand Gautier, de ahí el nombre. A diferencia del pabellón en el observatorio de París, en San Fernando ambos telescopios fueron instalados en una misma montura ecuatorial, para lo que fue necesaria una sola cúpula astronómica.



Pabellón Carte du Ciel

Jesús Carmona Morales

El pabellón, situado al Sur Oeste del edificio principal del observatorio es de planta sensiblemente simétrica, de 31,5 por 11,5 metros, dejando en su centro el espacio de la cúpula. Ésta fue traída desde Francia, realizada en aluminio por la Société Anonyme des Anciens Etablissements Cail. Los constructores trataron de cambiar el revestimiento interior de la cúpula, solicitado en madera, por linóleo, con la excusa de que las maderas no resistirían bien el viaje hasta Cádiz, ante lo que promotores franceses y españoles del proyecto se negaron forzando la ejecución como había sido especificada. En 1888, a la llegada de la cúpula al muelle de la Carraca cercano al observatorio, en 19 paquetes de más de una tonelada cada uno, el edificio ya estaba construido y preparado para el montaje de la semiesfera móvil.



Astrógrafa ecuatorial Gautier

Los espacios a ambos lados de la sala de la cúpula se dedicaron respectivamente a estudio fotográfico, para el revelado de las placas obtenidas, y a sala de cálculos para llevar a cabo el proyecto.

La construcción del pabellón se llevó a cabo en muros de mampostería de 50 centímetros de espesor, con una coronación de piedra labrada, donde se apoyaron los raíles de la cúpula metálica y las estructuras metálicas horizontales. Se hace especial referencia en la relación del proyecto de la cimentación en la zona del telescopio ecuatorial doble, realizados en piedra, y apoyados sobre el sustrato de roca calcárea de la zona que se había alcanzado previamente en la excavación, para dar no solo resistencia ante el peso de cerca de 2 toneladas de la instrumentación, sino dotarlo de la mayor fijación posible ante movimientos parásitos cercanos.

La cúpula poseía un revestimiento interior de madera pensado especialmente para las temperaturas de la zona, por lo que fue defendido por el constructor de telescopios Paul Ferdinand Gautier y el director del observatorio Cecilio Pujazón. En la cúpula este revestimiento dejaba una cámara de aire de 25 centímetros entre la madera y el metal de las placas de la cúpula, lo cual preservaba de un duro recalentamiento del espacio interior que las resinas y el corcho del linóleo no habrían paliado.

Jesús Carmona Morales

En 1889 el equipo fotográfico fue recibido en el observatorio y las labores de cartografía empezaron en 1891 y se extendieron por 30 años.

Hay que señalar que el proyecto “Carte du Ciel” pensado para una o dos décadas de trabajo finalizó en 1964 con 4,6 millones de estrellas catalogadas y 254 volúmenes de datos en bruto. San Fernando tuvo ciertas dificultades para seguir el buen ritmo inicial de trabajo por modificaciones presupuestarias, y a menor ritmo finalizó su asignación en 1929 publicando los últimos volúmenes de la cartografía, junto con Greenwich y Oxford.

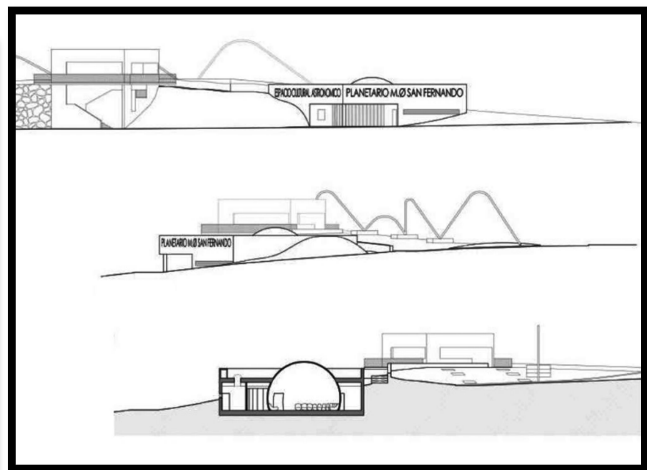
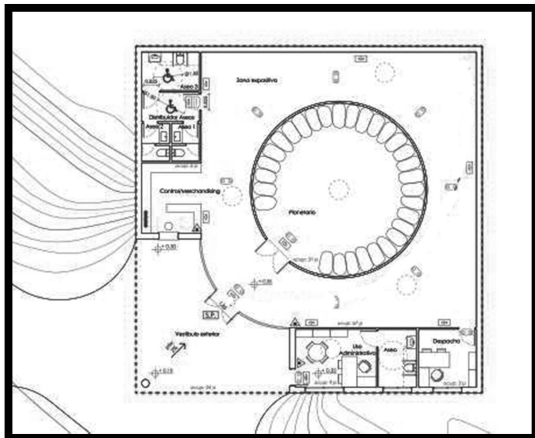
En la actualidad

Hoy en día el Real Instituto y Observatorio de la Armada realiza las efemérides anuales, es el responsable de la hora nacional mediante relojes atómicos, con patrones de Cesio133 y un máser de Hidrógeno. Participa en la detección sísmica dentro de una red por el Sur de Europa y el Norte de África (contó en 1898 con el primer detector sísmico de Europa), estudia las deformaciones de la Tierra y participa en el seguimiento de satélites de comunicaciones.

Cuenta con una Biblioteca de más de 30.000 volúmenes y más de 3.000 volúmenes de un fondo antiguo entre los que se cuentan varios incunables de la astronomía como “De revolutionibus orbium coelestium libri VI” de Nicolás Copérnico impreso en 1543.

Una parte está dedicada a espacios museísticos con instrumentos de navegación y diferente instrumentación astronómica en desuso.

El ayuntamiento de San Fernando planea en el cercano Parque del Barrero, un pequeño planetario como complemento al atractivo turístico del lugar. Sin confirmación final o fecha de ejecución del proyecto.



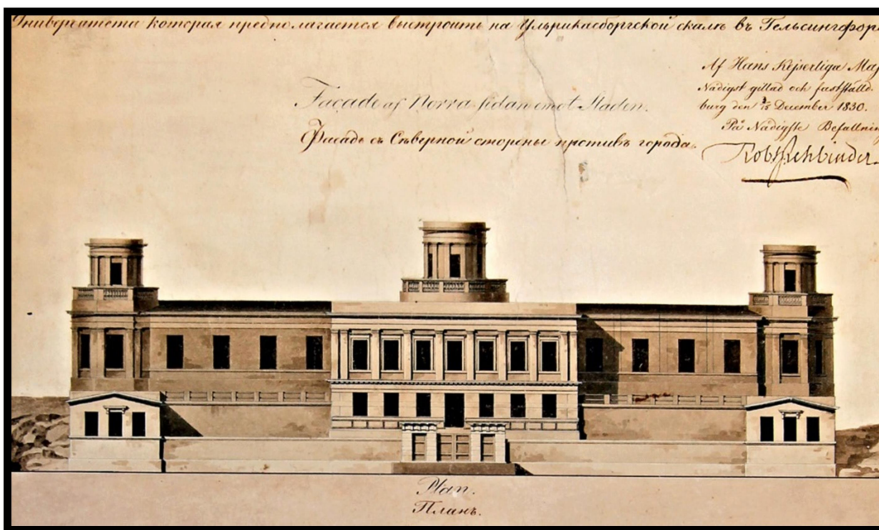
Proyecto del Planetario de San Fernando

El Observatorio de Púlkovo, San Petersburgo (1839)

El observatorio está situado a unos 5 kilómetros del límite Sur de la ciudad de San Petersburgo, sobre una cadena de colinas del mismo nombre a unos 75 msnm. Púlkovo pertenece a la Academia de Ciencias Rusa, y ostentó el mayor telescopio del mundo en 1885. Como centro astronómico y de mediciones geodésicas de Rusia todas las referencias en sus cartas y mapas tomaron durante años la referencia de Púlkovo como meridiano 0.

El trazado del observatorio está ligado a la propia ciudad de San Petersburgo, la avenida *Prospekt de Moscú* (que termina a unos 15 kilómetros del observatorio) es la arteria principal de llegada a San Petersburgo y tiene un trazado rectilíneo alineado con los trazados de los jardines del observatorio, define el eje de simetría del edificio principal, y en definitiva sigue el meridiano de San Petersburgo/Púlkovo con el que se referenciaron los mapas generados por el observatorio.

En 1833, el Emperador de Rusia, Nicolás I, planeó el establecimiento de un nuevo observatorio cercano a San Petersburgo, para lo que llamó a participar al que sería su primer director, el astrónomo ruso-alemán Friedrich Georg Wilhelm von Struve (1793-1864), quien como Cassini en París fundó una pequeña dinastía de astrónomos y directores de la institución. Von Struve había trabajado en el observatorio de Tartu (Estonia) y conocía también los logros técnicos que había alcanzado el observatorio de Helsinki por lo que solicitó al arquitecto Carl Engel los planos del observatorio finlandés. Engel accedió a la petición y envió la información a von Struve. Sobre estas premisas el diseño del observatorio fue confiado al artista y arquitecto Aleksandr Briulov (1798-1877), de formación académica en Italia, Francia y Alemania. Su producción pictórica supera a la arquitectónica, aun así diseñó y construyó diferentes iglesias y teatros principalmente en San Petersburgo, así como fue responsable de parte de la restauración de los interiores del Palacio de Invierno de San Petersburgo tras el incendio de 1837 (Sala de las Malaquitas, Salón Blanco,...). Su formación y trabajo se encuadraron dentro del Neoclasicismo ruso.

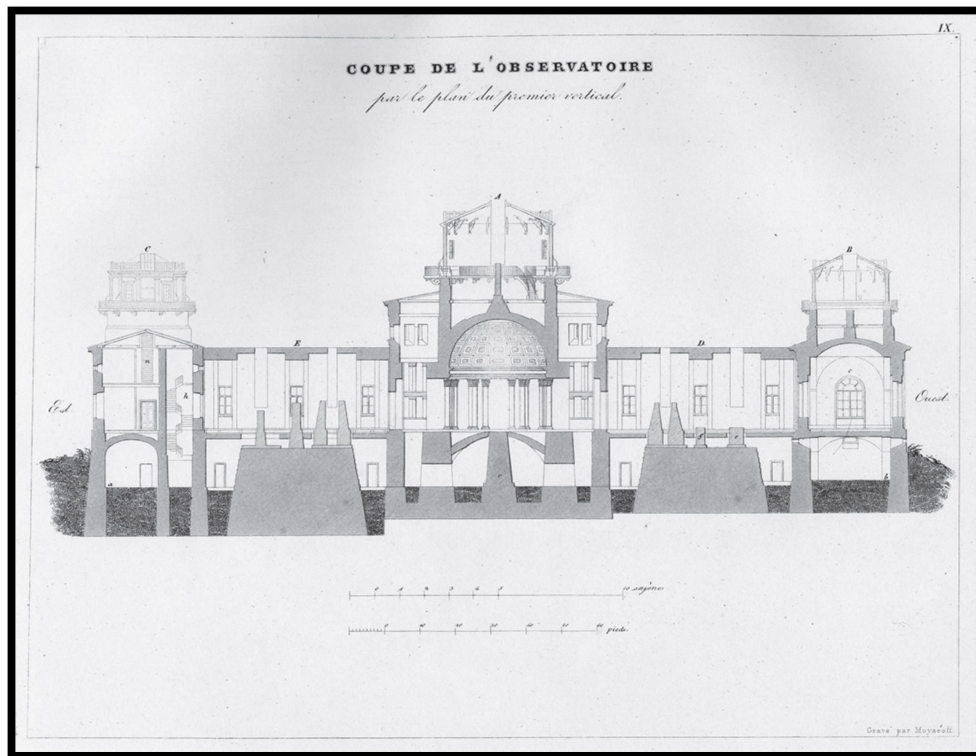


Alzado principal del observatorio de Helsinki por Carl Engel.

El observatorio de Púlkovo se construyó entre 1834 y 1839, la idea original del trazado está inspirada en el observatorio de Helsinki pero a una escala mucho mayor. Desde los cimientos se planteó que la construcción necesitara de unos

Jesús Carmona Morales

sólidos asentamientos para la instalación de los instrumentos, de modo que se dotó de grandes zapatas en zonas especialmente delicadas. Estos cimientos estaban escrupulosamente separados de los forjados de observación como plataformas volantes, de modo que ambas fundaciones eran independientes.

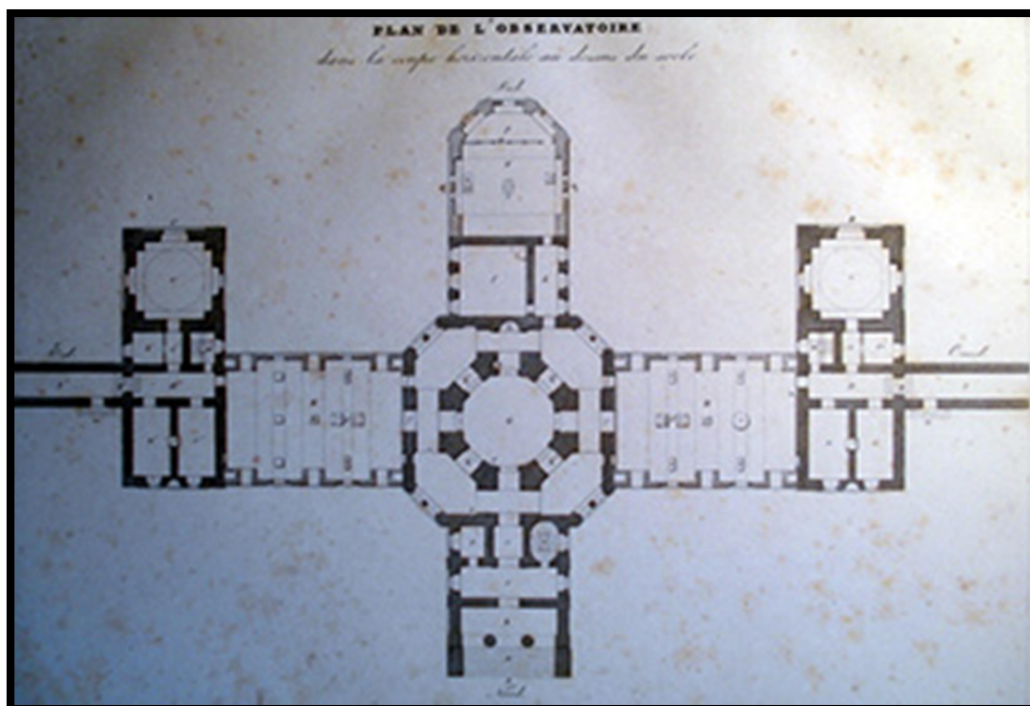


Sección transversal del edificio central de Púlkovo. Se aprecian los cimientos especiales separados de las plataformas de observación.

El edificio principal del observatorio, como comentábamos, está alineado en dirección Norte-Sur, aunque su desarrollo en extensión lo presenta en el eje Este-Oeste. Está formado por tres cuerpos principales: dos laterales en forma de "L" simétricos respecto al central, y uno central en forma de peine que concentra las torres/cúpulas astronómicas y demás instrumentos como veremos. Las piezas en "L" laterales estaban destinadas a los empleados del observatorio.



El observatorio hacia 1855.



Planimetría original del edificio principal



Vista satélite del complejo principal en la actualidad

El edificio más interesante es sin duda el central, que posee un gran muelle de observación y cuatro estaciones menores. En las galerías intermedias se dispusieron los telescopios de tránsito y los círculos meridionales, que sólo giran en altitud por lo que el edificio, como hemos visto en Greenwich o San Fernando, abre una rendija con postigos móviles para dejar trabajar a los telescopios.

Los puestos de observación de la cubierta fueron diseñados con torres giratorias, de menor complejidad técnica en su construcción. En la reconstrucción del observatorio fueron utilizadas cúpulas semiesféricas.



Fachada principal del observatorio hacia 1889, se observan las torres cilíndricas y las galerías intermedias con las rendijas para los telescopios de tránsito y los círculos meridionales.

En la sala circular central, el observatorio ostenta un pequeño pináculo que marca el punto por donde pasa el meridiano de Pulkovo, que fue referencia de las observaciones en Rusia.



El edificio fue inaugurado en 1839 y pronto se propuso como un referente para otros observatorios del mundo como Lisboa (1867), Potsdam (1874) y Berlin-Babelsberg (1913), por destacar en cuanto a la funcionalidad y la dirección de los espacios hacia una finalidad científica. Por otro lado inspiró el que sería un nuevo modelo de observatorio abierto al público en Los Ángeles con el Observatorio Griffith (1904).



Instalaciones aisladas en los terrenos del observatorio

Los terrenos donde se asienta el observatorio son tremendamente vastos, hay 900 metros desde la avenida principal hasta los límites del observatorio al Sur. Al Sur del edificio principal y a lo largo de 400 metros existen diferentes cúpulas astronómicas aisladas, desperdigadas en medio de los bosquecillos, testigos de los dos siglos de existencia de esta institución. Algunas de ellas están abandonadas, sin embargo no carecen de gran interés arquitectónico por su desarrollo y originalidad.

Una de las cúpulas para telescopios menores instaladas en los jardines muestra una configuración

Jesús Carmona Morales

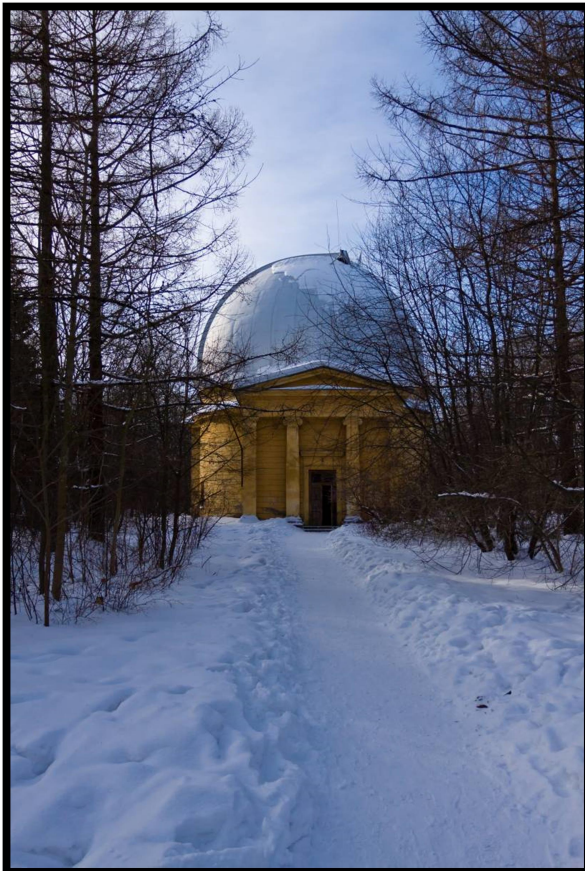
original, con revestimientos metálicos para evitar la afectación del edificio por las temperaturas externas, sin embargo el estado de conservación de la misma no es el más óptimo.



En la actualidad existe un refractor de 26 pulgadas en los jardines del observatorio en un edificio independiente de planta circular y un frontón clásico. La cúpula está revestida interiormente de madera, una medida cada vez más popular en la actualidad por cuestiones de aislamiento térmico y de aspecto estético.



Instalación en metal abandonada



Cúpula e interior del refractor de 26 pulgadas.

El refractor más grande del mundo

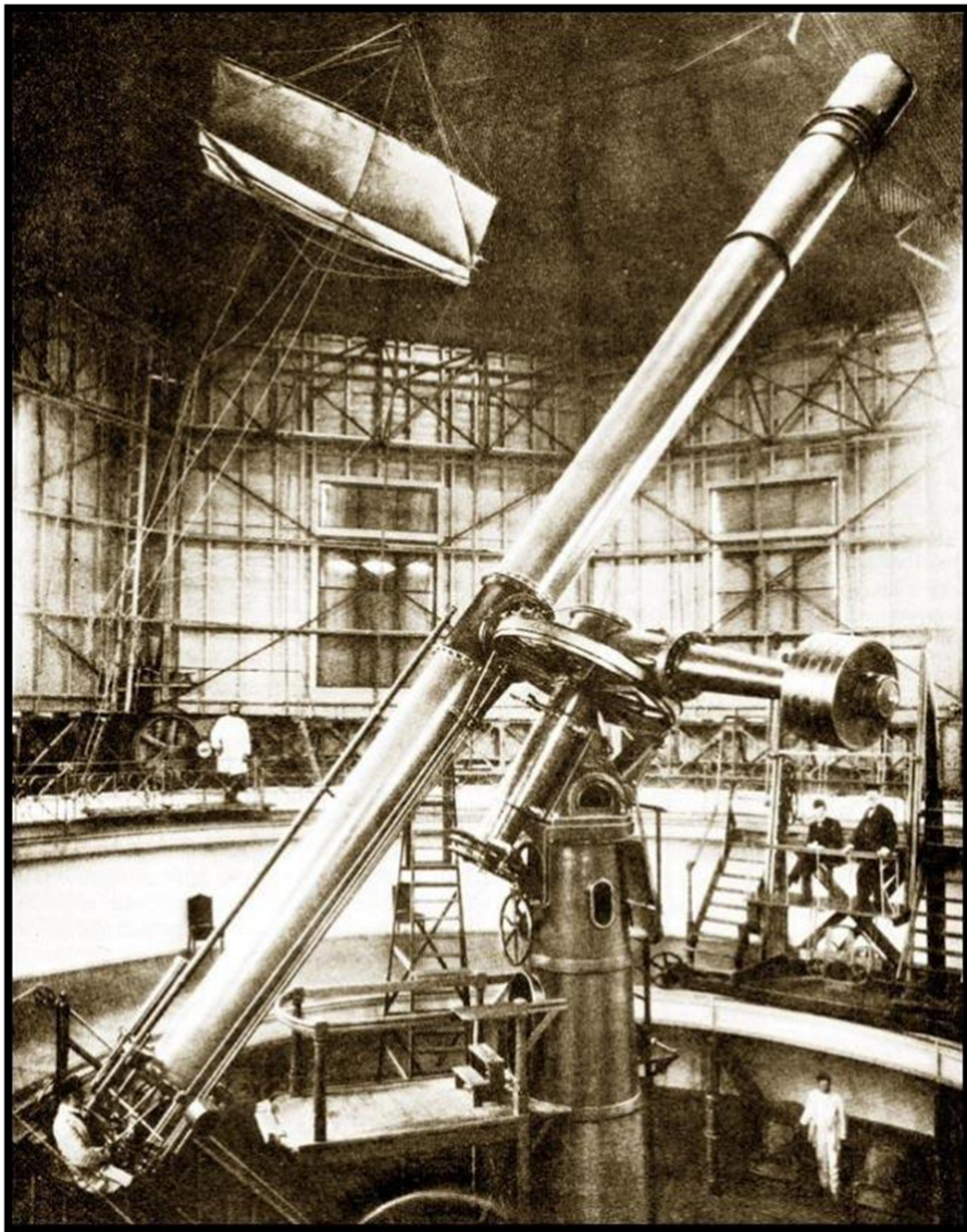
Para el 50º aniversario del observatorio fue encargado el telescopio refractor de 30 pulgadas (76 centímetros de apertura y 15 metros de focal), convirtiendo a Púlkovo en el observatorio con el mayor telescopio del mundo.

El telescopio necesitó de nuevas instalaciones pues no podía ser contenido en el edificio principal. Para ello se diseñó un edificio llevado a cabo por el constructor militar general Paucker, donde se instaló en 1886.



Exterior del edificio del telescopio de 30 pulgadas.

El nuevo edificio de dos alturas, una inferior circular interrumpida por frontones apilastrados donde se situaban la entrada y algunos ventanales, y otra superior de menor entidad con forma octogonal. Esta segunda altura se realizó exteriormente con detalles de pilastras y cornisas, siguiendo el diseño de la planta inferior en fachada, como si estuviera realizado en fábrica de ladrillo, sin embargo estaba compuesta por paneles metálicos conformados con este aspecto, pues se trataba de un torre giratoria que no habría sido posible mover de otra manera.



Interior de las instalaciones y telescopio de 30 pulgadas.

Para albergar el telescopio y la montura, se excavó ligeramente el terreno, de manera que una pequeña escalera descendente daba acceso a la cota desde donde partía la montura del telescopio. Esta medida solucionó por una parte acceder a un cimiento más estable para la instalación del telescopio y evitó realizar un edificio más alto.

Con el asedio de Leningrado en la II Guerra Mundial el telescopio fue destruido, salvándose las lentes, que a pesar de las obras de restauración del observatorio no han vuelto a formar parte de una versión moderna del mismo instrumento y se conservan en el museo de la institución. El edificio del refractor fue destruido igualmente.

Jesús Carmona Morales

Decadencia y reconstrucción del observatorio

Los avatares del observatorio llamado “la capital astronómica del mundo”, comenzaron poco después del fin de la dirección del mismo por el hijo de Struve, Otto Wilhelm von Struve, en 1889. Hasta entonces el trabajo del observatorio se había mantenido principalmente en alemán y posteriores directores rusos limitaron el acceso a los científicos alemanes en favor de los rusos. Con la revolución comunista la Academia de Ciencias Rusa se vio afectada por la incursión de miembros del partido comunista que primaban la ideología frente al desarrollo y la investigación científica.

El peor momento del observatorio fue durante la Segunda Guerra Mundial. Durante el asedio de Leningrado entre 1941 y 1944, el observatorio fue la diana de la artillería y los bombardeos alemanes, reduciendo el observatorio original a escombros. La instrumentación se puso a salvo en la ciudad, incluyendo las lentes del refractor de 30 pulgadas, así como numerosos volúmenes de la biblioteca.

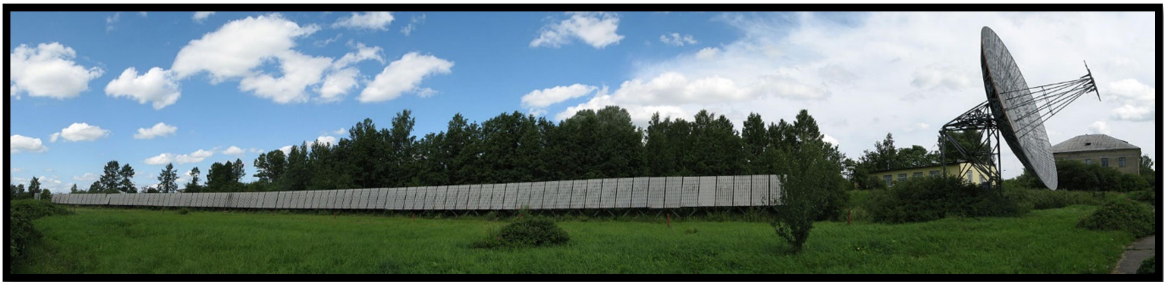


Estado del observatorio tras la II Guerra Mundial.

En 1946 se decide reconstruir el observatorio y para Mayo de 1954 los trabajos están acabados. El observatorio se equipó de nuevo restaurando un gran número de los instrumentos originales y dotándose de muchos otros nuevos. Se abren secciones nuevas que incluyen radioastronomía, espectroscopía y un taller de fabricación de instrumentos propio del observatorio.



Estado actual del edificio principal



Radio telescopio de 15 metros en Pulkovo y frente de ondas de 100 metros al fondo

El edificio principal se reconstruyó siguiendo la planimetría original. Los edificios anexos al Este y al Oeste, destinados a alojamiento de personal cambiaron su uso por laboratorios y otros espacios de oficinas, así como una sala de conferencias revestida de mármol. Desde su reinauguración los terrenos del observatorio se han ampliado hasta triplicar la superficie original, se ha dotado de casas individuales para personal, un hotel con medio centenar de habitaciones y demás edificaciones.



Hotel asociado al observatorio.

Observatorio Astrofísico de Potsdam (1874)

En 1835 el filósofo francés Auguste Comte, primer positivista, dijo: “En cuanto a las estrellas, [...] nunca podremos, de ningún modo, estudiar su composición química o su estructura mineralógica. Considero que cualquier idea sobre la verdadera temperatura media de alguna estrella nos será siempre negada”. Comte se basó en la imposibilidad de obtener mediante una experiencia directa información acerca de las estrellas por su distancia, o del Sol en parte por igual motivo y por su temperatura. Sin embargo pocos años después de la muerte de Comte este pensamiento había sido desautorizado, la astronomía había encontrado un camino para estudiar la composición, temperatura y naturaleza de las estrellas de mano de Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen, la astrofísica. A los observatorios de todo el mundo se abrió un nuevo campo de observación especializado en la luz del Sol y otras estrellas mediante una nueva generación de telescopios, o telescopios clásicos adaptados a un nuevo tipo de observación, la espectrografía.

El director del observatorio de Berlín, Wilhelm Julius Foerster (1832-1921) hacia la segunda mitad del siglo XIX preparó las bases de un nuevo observatorio centrado en la astrofísica en Potsdam, el entonces príncipe coronado, después Emperador Guillermo II, apoyó la iniciativa por la importancia de la investigación solar.



Vista aérea de la colina Telegrafenberg cerca de Potsdam en 1920; el observatorio al fondo, großer refraktor en el centro y (en construcción) Einsteinurm abajo.

Observatorio de Potsdam

En 1832 se había desarrollado una iniciativa de telégrafo óptico para la comunicación entre Berlín y Coblenza, en una colina en Brandenburgo cerca de Potsdam se encontraba una estación de repetición de señales. Con la llegada del telégrafo eléctrico el sitio había caído en desuso. Foerster señaló el lugar como emplazamiento del nuevo observatorio astrofísico. Foerster confió en la tradición arquitectónica de la escuela de Karl Friedrich Schinkel para la ejecución del nuevo observatorio, no en vano Schinkel había construido el primer observatorio de Berlín (Berliner Sternwarte) hoy desaparecido.

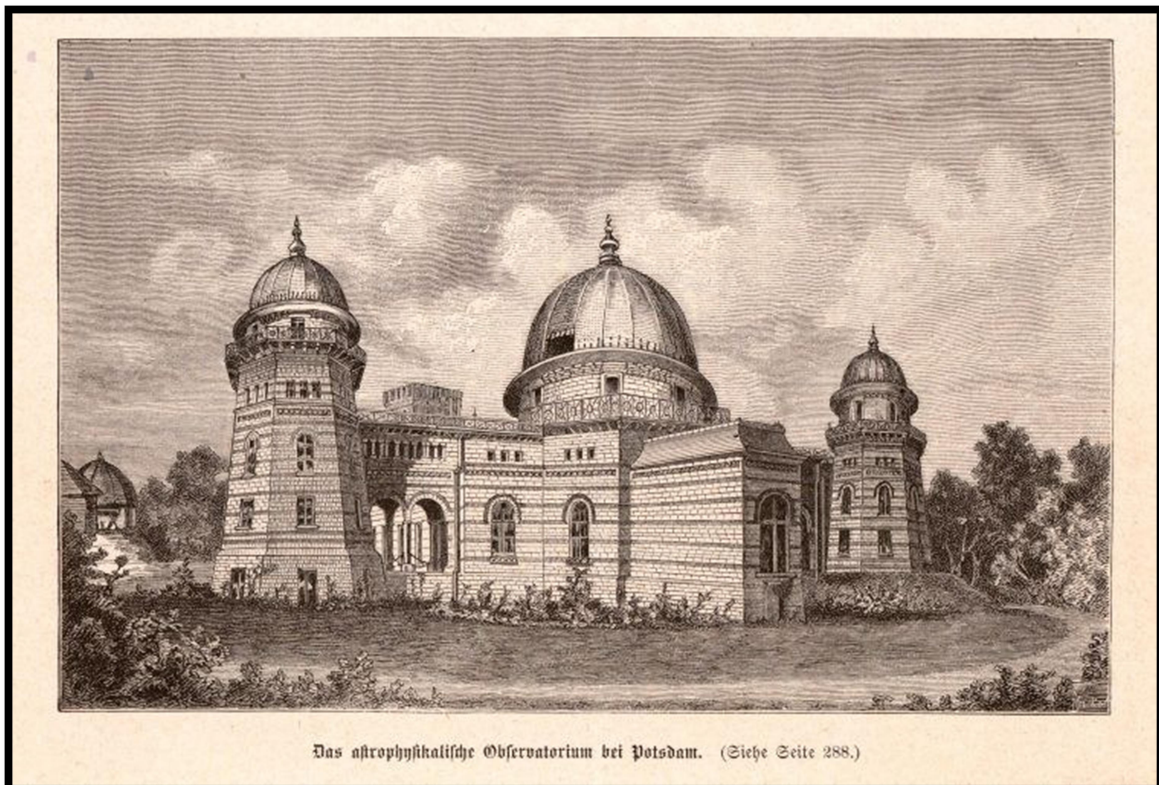


Torre utilizada en el Gran Orfanato Militar de Potsdam previa a la construcción del observatorio.

tradición arquitectónica de la escuela de Karl Friedrich Schinkel para la ejecución del nuevo observatorio, no en vano Schinkel había construido el primer observatorio de Berlín (Berliner Sternwarte) hoy desaparecido.

Aunque el observatorio había sido fundado oficialmente en 1871, no fue hasta 1879 cuando se finalizó el edificio principal; mientras tanto las observaciones fueron realizadas desde la torre de un orfanato militar en el casco urbano de Potsdam.

El observatorio de astrofísica fue diseñado por Paul Emmanuel Spieker (1826-1896), su construcción comenzó en 1876 y no fue acabado hasta tres años más tarde. El edificio consta de un cuerpo principal, alineado con el eje Norte-Sur para favorecer observaciones en el meridiano, donde destacan una cúpula de observación (al Sur) y una torre en el acceso Norte.



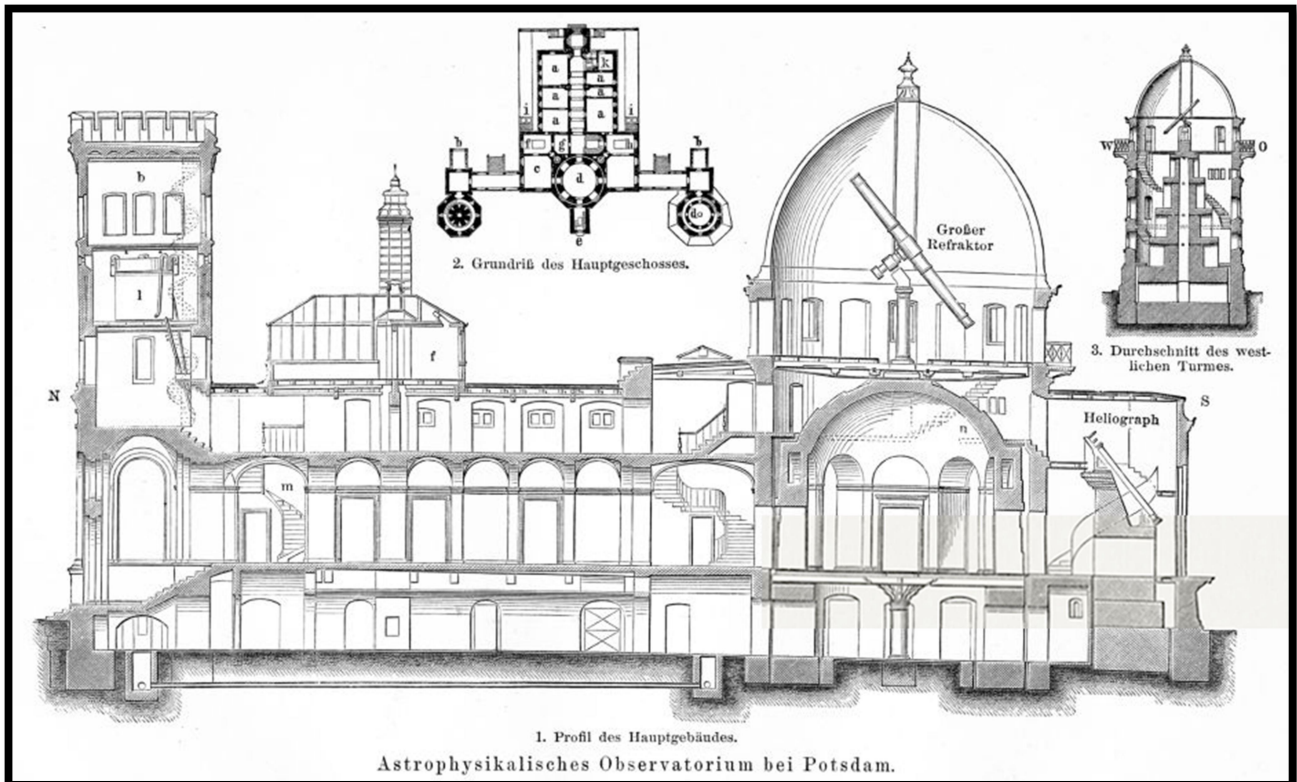
Das astrophysikalische Observatorium bei Potsdam. (Siehe Seite 288.)

Dibujo de la fachada Sur del observatorio.

Jesús Carmona Morales

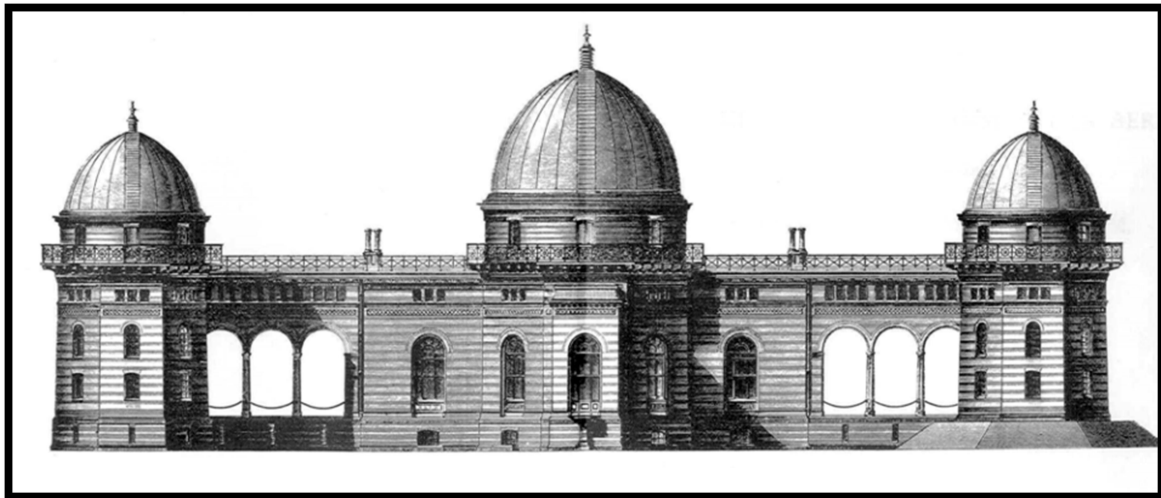
Dos galerías abiertas en la fachada Sur, alineadas de Este a Oeste dan acceso a dos torres más pequeñas con cúpulas de observación.

Las bases del diseño de la planta general del observatorio buscan un edificio funcional para su finalidad científica, y por ello se pueden encontrar similitudes con otros observatorios como el de Púlkovo, con torres desalineadas a lo largo de uno de los claros ejes marcados; mientras que la torre del acceso Norte es una referencia a la torre, de construcción posterior a su fundación erigida en el acceso del observatorio de París. En este caso la torre conservaba un sistema de señales del telégrafo óptico y un depósito de agua en altura para el observatorio.



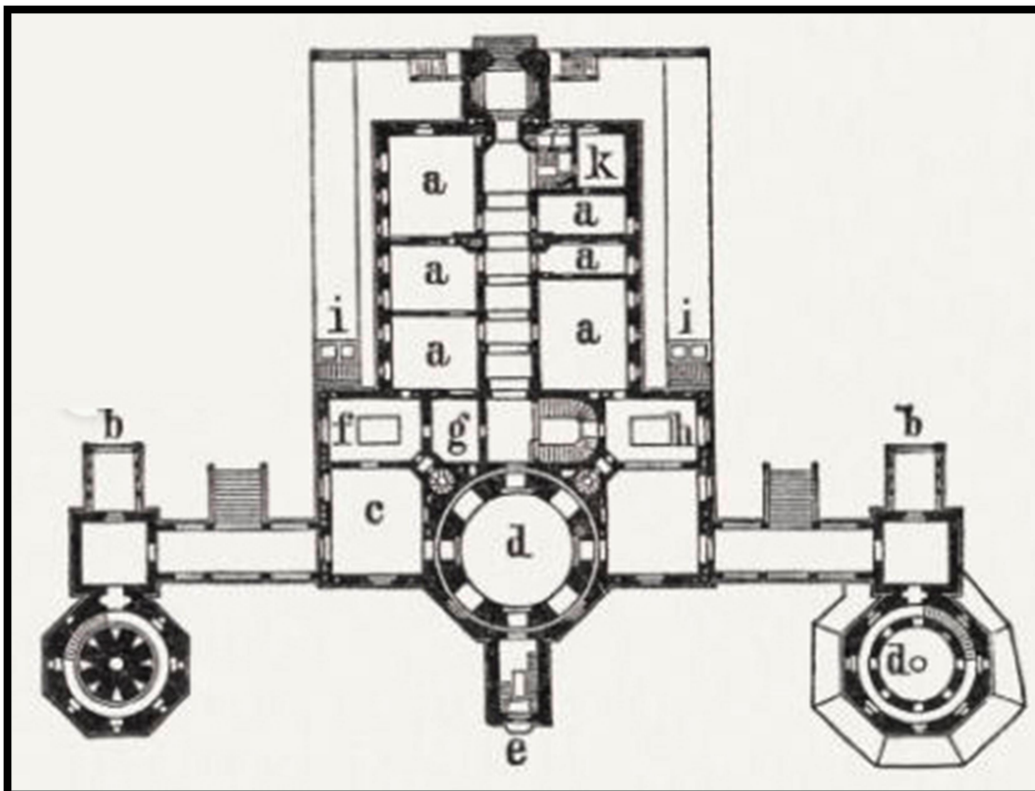
Sección longitudinal Norte-Sur, planta general y sección de la Torre Oeste.

Spieker fue alumno de Friedrich August Stüler, que fue alumno de Karl Friedrich Schinkel, y por tanto miembro de la escuela tardía de Schinkel, es posible ver cierto estilo a este último. El ladrillo y las fábricas utilizadas vienen de la tradición constructiva de Brandenburgo, incluyendo el uso de fábricas bicolor. Spieker utilizó decoraciones de estrellas y con motivos vegetales en frisos que han sido recuperados en las restauraciones del edificio de final del siglo XX y principio del XXI.



Fachada Sur del observatorio, se puede apreciar la cimentación especial de la torre Este, las cúpulas apuntadas sustituidas posteriormente, y las galerías abiertas que conectan las torres laterales.

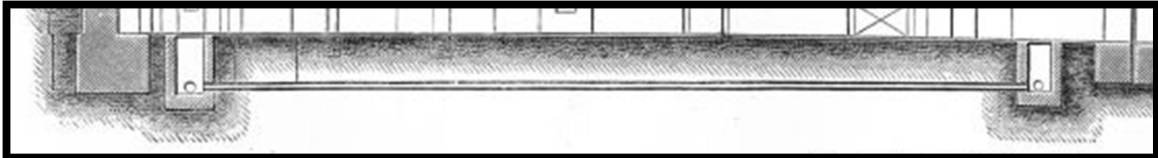
Originalmente las cúpulas de observación fueron diseñadas con topes apuntados, no esféricas, pero en reformas llevadas a cabo en 1911 fueron reemplazadas por semiesferas. Del mismo modo otras reformas acometidas en 1950 requirieron la elevación de la cota de toda la cubierta, con un añadido final en la zona Sur. Por otro lado las galerías que conectaban con las torres laterales fueron diseñadas con arcadas abiertas, y fueron cerradas con carpinterías después de 1961. La razón de estas arcadas abiertas se basaba en que un observatorio de astrofísica, según Spieker, se diferencia de uno astronómico en la separación de sus actividades, y la no interferencia de los sistemas del propio edificio (calefacción, radiaciones, iluminación) con los instrumentos de los laboratorios químicos, físicos, fotográficos y especialmente los de análisis espectral.



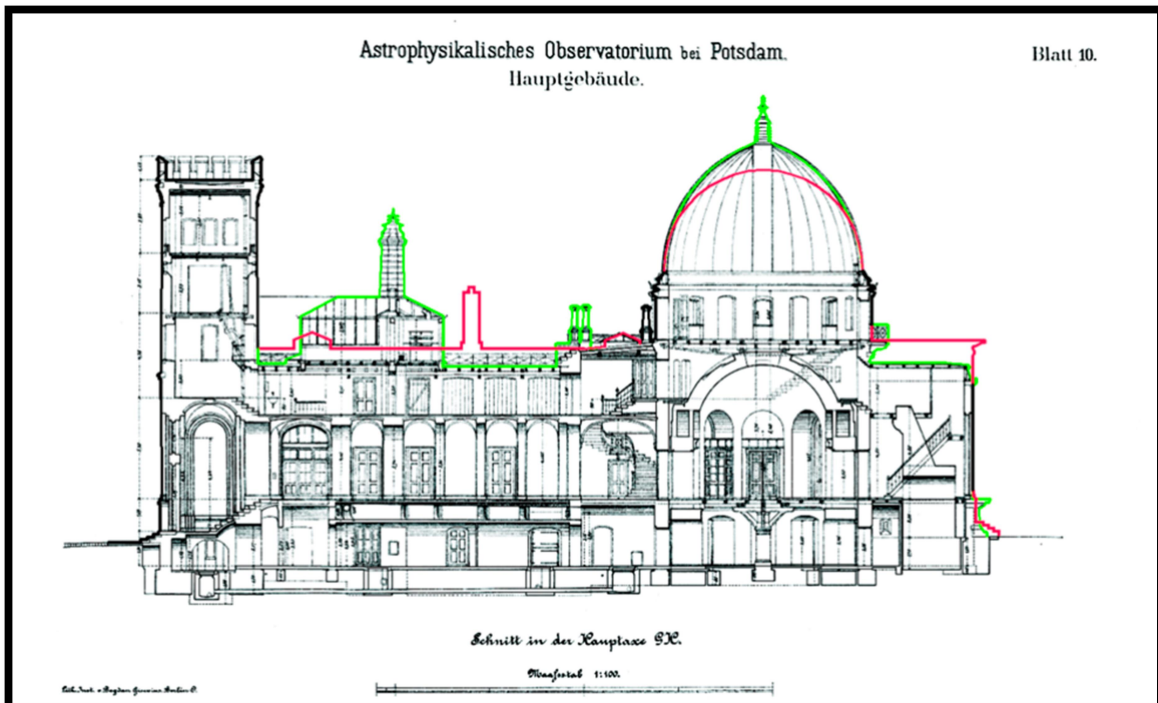
- a) zonas de trabajo,
- b) observatorio meteorológico,
- c) laboratorio de física,
- d) distribuidor,
- e) porche del heliógrafo,
- f) laboratorio de fotografía,
- g) habitación de revelado,
- h) laboratorio de óptica,
- i) conductos de aire para calefacción,
- k) sala de medición de placas fotográficas.

Jesús Carmona Morales

La planta tiene una distribución simétrica respecto al eje Norte-Sur, donde se encuentran la torre, el refractor en la cúpula central y el heliógrafo en el avance Sur del edificio sobre el jardín. Hay una especialización de salas, entre las demás salas de trabajo inespecíficas, para el revelado de las placas fotográficas, incluyendo una cámara oscura de revelado. El edificio contaba con conductos subterráneos que conectaban diferentes zonas y generaban una red de calefacción. La escalera central y la torre Norte están conectadas de forma subterránea para calefactar estos espacios de abajo hacia arriba. En el exterior unas rejillas de ventilación situadas en los flancos del edificio daban aspiración a estas zonas.

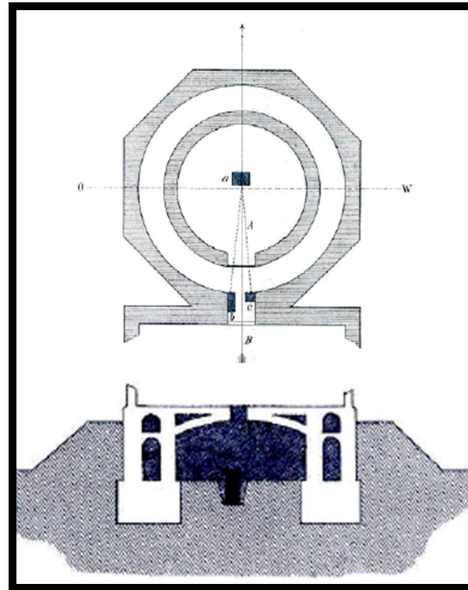


Detalle en la sección en la cimentación donde se aprecian los conductos de calefacción.



La línea verde muestra la sección original del edificio y la línea roja tras las restauraciones en 1911 y 1950.

La torre Este funcionó no solo como observatorio astronómico, bajo esta torre se podía acceder a las bóvedas de la cimentación, donde se equiparon con un péndulo horizontal o péndulo invertido para mediciones sismográficas. El complejo fue el primero en registrar un terremoto a gran distancia, en Japón el 17 de Abril de 1889, mientras se medían las alteraciones de la gravedad terrestre por otros planetas.



Torre Este en la actualidad, y detalle de la bóveda y la cimentación donde se instaló el péndulo invertido.

Hacia 1970 el edificio presentaba grandes signos de abandono, casi toda la actividad en astrofísica se había abandonado, y fue objeto de diferentes restauraciones para su recuperación. En la actualidad sólo la cúpula Este conserva un telescopio, y la mayor contiene una sala de reuniones. El edificio ahora pertenece a una entidad privada y realiza investigaciones a nivel global sobre el cambio climático.



Sala de reuniones bajo la cúpula central

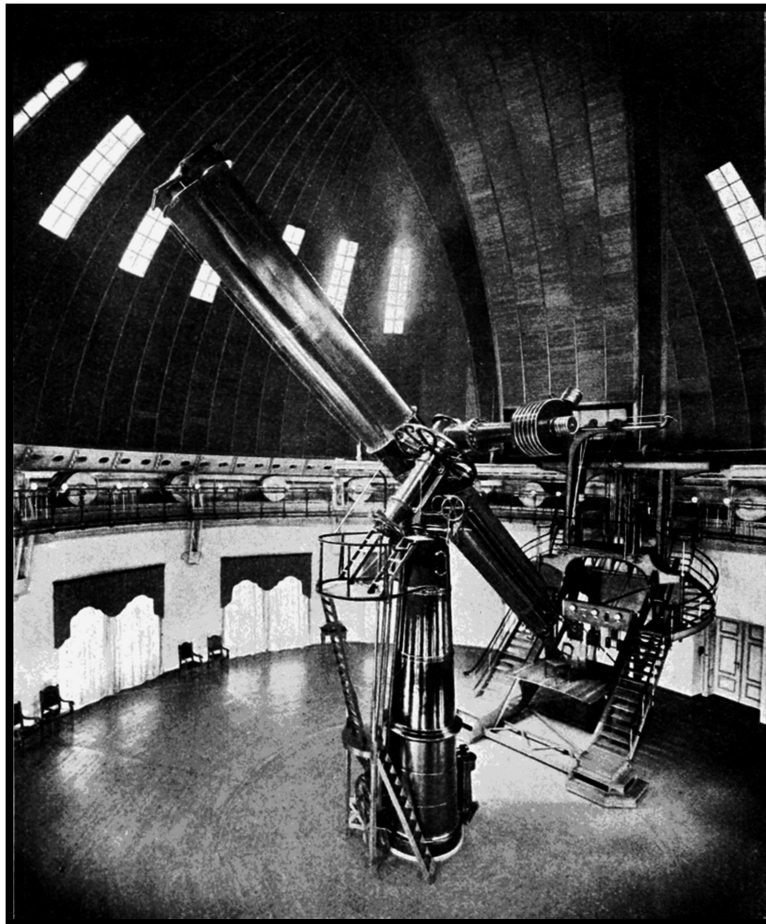
Großer Refraktor

La siguiente fase de ampliación del Observatorio de Astrofísica de Potsdam fue la construcción de una cúpula para albergar al telescopio nuevo telescopio refractor, llamado *Großer Refraktor* (Gran refractor). En realidad se trataba de dos telescopios en una sola montura paraláctica, de 80 y 50

Jesús Carmona Morales

centímetros de apertura, y 12,14 y 12,59 metros de distancia focal, fueron instalados. La lente de mayor diámetro pertenecía a un astrógrafo y la menor para observación directa. El gran refractor fue puesto en funcionamiento en Agosto de 1899 en presencia del emperador Guillermo II.

El edificio fue construido por Paul Emmanuel Spieker y Eduard Saal siguiendo las líneas de diseño del observatorio previo, situado a unos metros al Norte. Está realizado en fábrica de ladrillo con frisos con decoraciones en colores azules.

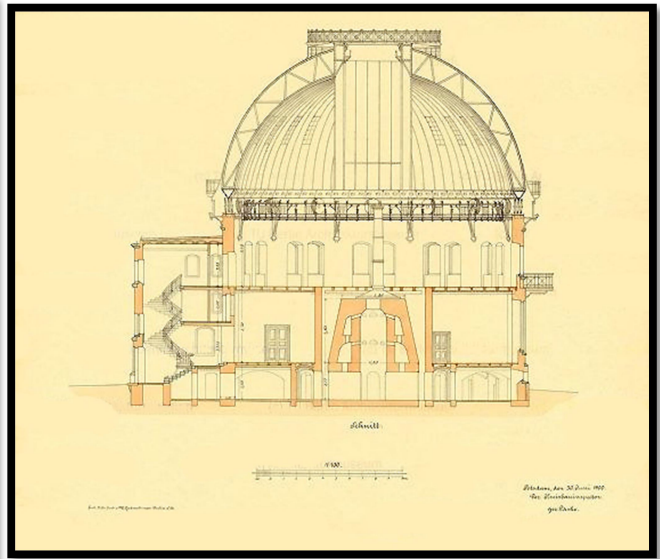


Gran refractor doble bajo la cúpula de 21 metros.

Cuenta con dos alturas y una entreplanta bajo cota de acceso; donde la inferior alberga los accesos y la estructura portante de la montura, la planta superior queda diáfana para la montura y el telescopio. La entreplanta posee los cimientos del telescopio independientes de la estructura del edificio y las bóvedas de la planta de acceso. Las conexiones verticales se realizan mediante una pequeña torre anexa en la cara Norte. La cúpula tiene un diámetro de 21 metros y un peso cercano a las 250 toneladas.



Obras de construcción del edificio del Großher Refraktor.



Sección Norte –Sur del Großher Refraktor.

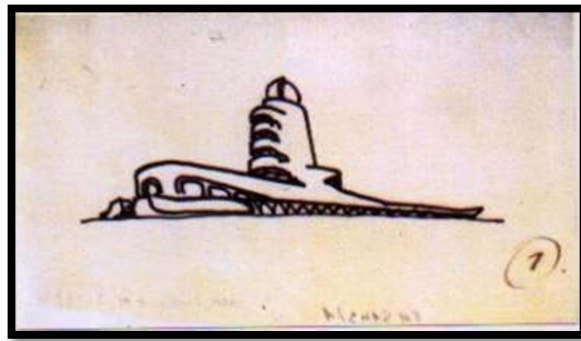
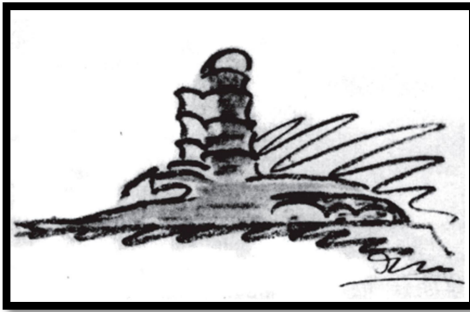
En Abril de 1945 un bombardeo dañó seriamente las instalaciones, sin embargo el telescopio continuó funcionando hasta 1968. Desde entonces el deterioro fue apoderándose de la instalación. A mitad de los 80 se inicia un programa de consolidación exterior que culmina en 1997 la creación de un fondo solidario para su restauración total. En 2003 la empresa 4H-Jena Engineering toma las riendas de la restauración y en 2006 se reinaugura el edificio. Un año antes el telescopio original era traído de vuelta al edificio.



El Großer Refraktor en la actualidad.

Einsteinturm

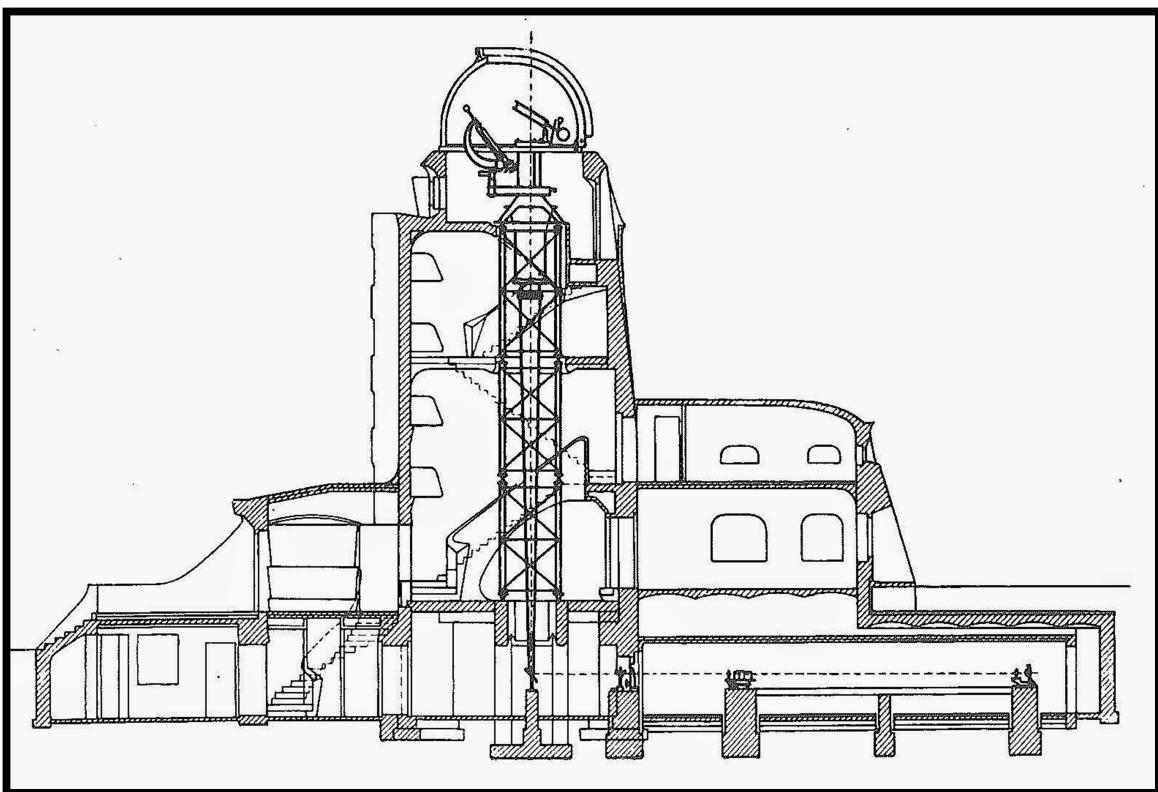
Desde 1913 Albert Einstein necesitaba evidencias para apoyar su teoría del espacio curvado por la gravedad. Einstein había intentado recoger pruebas en Crimea en el eclipse de Agosto de 1914 junto a un astrónomo estadounidense y otro alemán, sin mucho éxito. En 1917, el astrónomo alemán que había participado en la expedición, Erwin Finlay-Freundlich (1885-1964), propuso al Observatorio Astrofísico de Potsdam la construcción de un observatorio que sirviera a la demostración de la Teoría de la Relatividad de Einstein. El observatorio, llamado Einsteinturm (Torre Einstein) fue encargado al arquitecto Erich Mendelsohn (1887-1953) que lo diseñó y erigió entre 1920 y 1921.



Apuntes de Mendelsohn de 1918 y posterior sobre Einsteinturm.

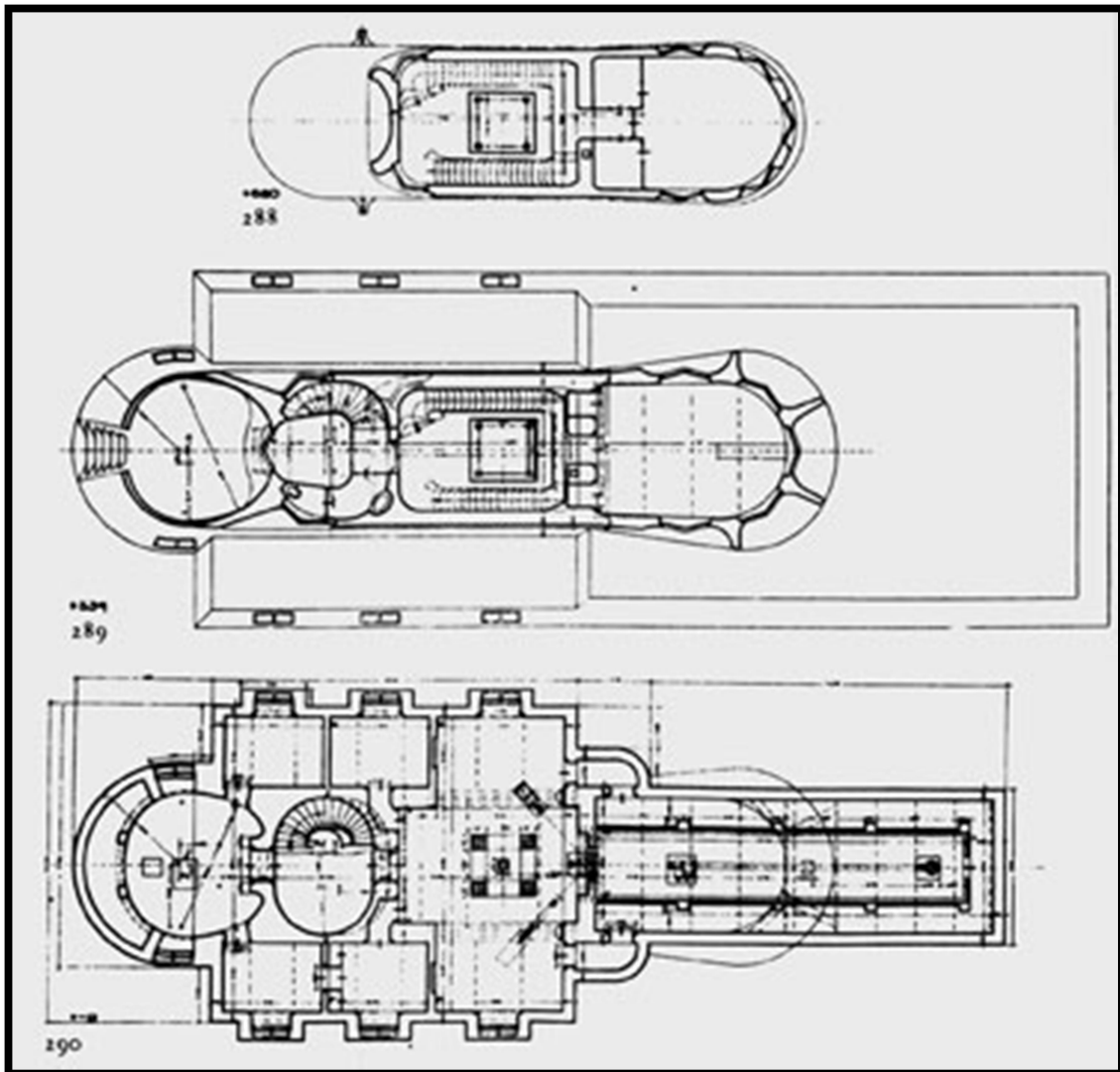
Justo antes del inicio de las obras, el astrónomo real de Greenwich, Arthur Eddington, había conseguido una observación propicia del eclipse africano de Mayo de 1919. Las observaciones del eclipse corroboraron los ajustes sobre la curvatura del espacio del mismo Einstein de 1915 a su Teoría de la Relatividad. Tras publicar los resultados el objetivo del observatorio quedaba en suspenso, sin embargo en 1924 fue finalmente inaugurado y utilizado en observaciones solares sobre el corrimiento al rojo de las emisiones del Sol llevadas a cabo por el propio Finlay-Freundlich.

La Torre Einstein es un observatorio solar, que realiza observaciones mediante heliostato (similar al siderostato utilizado en la Exposición Universal de París de 1900, véase el capítulo correspondiente), y envía la proyección del haz a lo largo de la altura de la torre, es decir, no contiene un telescopio convencional de tubo cerrado, sino que la propia torre es el tubo.



Sección longitudinal de Einsteinturm, se aprecia el heliostato bajo la cúpula y el recorrido del haz a lo largo de la caja de escaleras hasta el sótano, donde se desvía para pasar al espectrógrafo.

Mendelsohn fue el máximo exponente de la arquitectura expresionista y en este sentido Einsteinurm es un claro ejemplo de este movimiento. La innovación con formas curvas, en una especie de distorsión de lo convencional, define el edificio un sentido nuevo romántico que apunta a estimular la emoción. El diseño original era de un edificio de estructura en hormigón, pero finalmente fue ejecutado en ladrillo y revestido de estuco blanco. El boceto inicial a partir de un pequeño apunte fue casi definitivo, una característica muy repetida en la obra de este arquitecto. Einstein visitó las instalaciones y no emitió ningún juicio al respecto del diseño más allá de un escueto: "Orgánico".



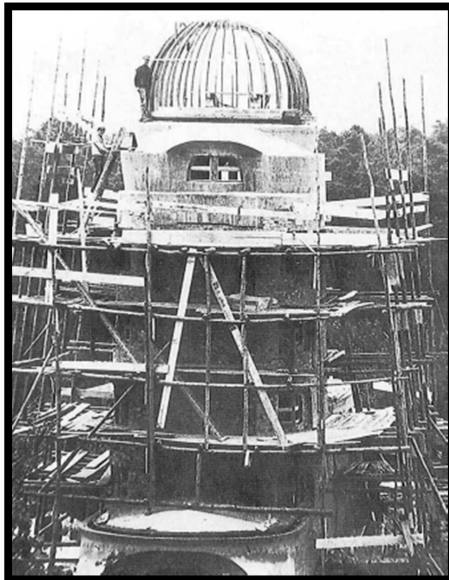
De arriba abajo, planta de la torre en altura, planta de acceso y planta de sótano.

La torre alcanza una altura sobre cota de unos 15 metros, sin embargo esta altura no era suficiente para realizar el foco de la lente de 60 centímetros de diámetro por lo que a diferencia de otros observatorios solares, que alcanzan la distancia focal elevando la altura de la torre, en Einsteinurm se dispuso un espejo en el sótano que gira 45° el haz para proyectarlo otros 14 metros hasta la zona de proyección en el propio sótano. La necesidad de instalar los elementos necesarios del espectrógrafo bajo tierra obligó al alargamiento de la base del edificio respecto al diseño original. Esto ofrecía ventajas para el edificio que no debía alcanzar complejidad técnica por una altura mayor por un lado y funcionales, ya que la proyección bajo tierra ofrecía una

Jesús Carmona Morales

temperatura constante estable y la no intrusión de otras fuentes de luz que alteraran el espectrógrafo y las mediciones. No obstante, hasta 1950 el telescopio no dio los resultados esperados en su campo de investigación.

El funcionamiento final del observatorio y el mantenimiento han necesitado de muchas intervenciones. La humedad y el deterioro de los paramentos fueron muy acusados desde la puesta en funcionamiento. El fuerte cambio de temperaturas afectó seriamente a la combinación de los diferentes materiales y espesores de los paramentos, traduciéndose en grietas y óxido a los pocos años, forzando reparaciones generales ya en 1927. En 1937 una infestación de hongos alcanzó el prisma del espectrógrafo. Durante la Segunda Guerra Mundial el edificio quedó afectado por bombardeos y fue restaurado en 1950. Se realizaron intervenciones en al menos cuatro ocasiones hasta final del siglo XX, cuando una actuación integral con financiación privada ante la posibilidad de entrada en ruina consolidó el edificio salvando todo lo posible de la construcción original.



Einsteinturm, en construcción, tras los bombardeos de 1945 y en la actualidad.

Jesús Carmona Morales

Evolución del sitio tras la II Guerra Mundial y la reunificación de Alemania

En la actualidad el observatorio de Potsdam está englobado en el *Wissenschaftspark Albert Einstein* (Parque Científico Albert Einstein) de Potsdam, como resultado de la fusión, tras la reunificación de Alemania. Desde 1992 el complejo forma parte del *Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam* (Instituto Leibniz de astrofísica de Potsdam o AIP). El edificio del observatorio original no está dedicado a la astronomía y es hoy el *Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung* (Instituto de Potsdam para la investigación del impacto climático). El Großer Refraktor y la Einsteinturm permanecen abiertos y en funcionamiento con visitas al público.



Edificio principal del Observatorio de Astrofísica de Potsdam en la actualidad.

El Observatorio Lick, San Jose CA (1887)

El observatorio de Lick se considera el primer observatorio de montaña todavía en funcionamiento. Aunque hoy en día parezca normal la situación de los observatorios en la cima de las montañas, hasta la construcción del observatorio Lick el emplazamiento habitual de los observatorios se realizaba en las propias ciudades. Sin embargo la revolución industrial había percatado seriamente a los astrónomos que las ciudades con la iluminación nocturna artificial amenazaba las investigaciones astronómicas y ya ni los extrarradios podían solventar esta desventaja. Newton había especulado ya, un siglo antes, que la cima de las montañas con atmósferas menos densas sería un lugar óptimo para la observación astronómica. El observatorio Lick fue el primer observatorio con una dotación permanente en ser construido fuera de núcleos urbanos a una altitud considerable.

El observatorio fue una iniciativa privada llevada a cabo por el empresario americano afincado en San Francisco, James Lick (1796 – 1876), que había hecho fortuna a lo largo de su vida en diferentes negocios. Lick dispuso hacia el final de sus días que gran parte de su fortuna fuera destinada tras su fallecimiento a obras de caridad y empresas científicas. Había adquirido a lo largo de su vida una fama de personaje excéntrico e irritable, uno de sus mayores deseos era que su nombre fuera recordado en la posteridad. En un primer momento dispuso que se construyeran enormes estatuas de sí mismo y sus padres visibles a gran distancia desde la costa, también pensó en construir una pirámide en un solar de su propiedad en San Francisco que superara en tamaño a la gran pirámide de Gizah. Finalmente tras diversas influencias en encuentros fortuitos con astrónomos y algunos amigos científicos su interés por la astronomía lo decantó en construir un telescopio:

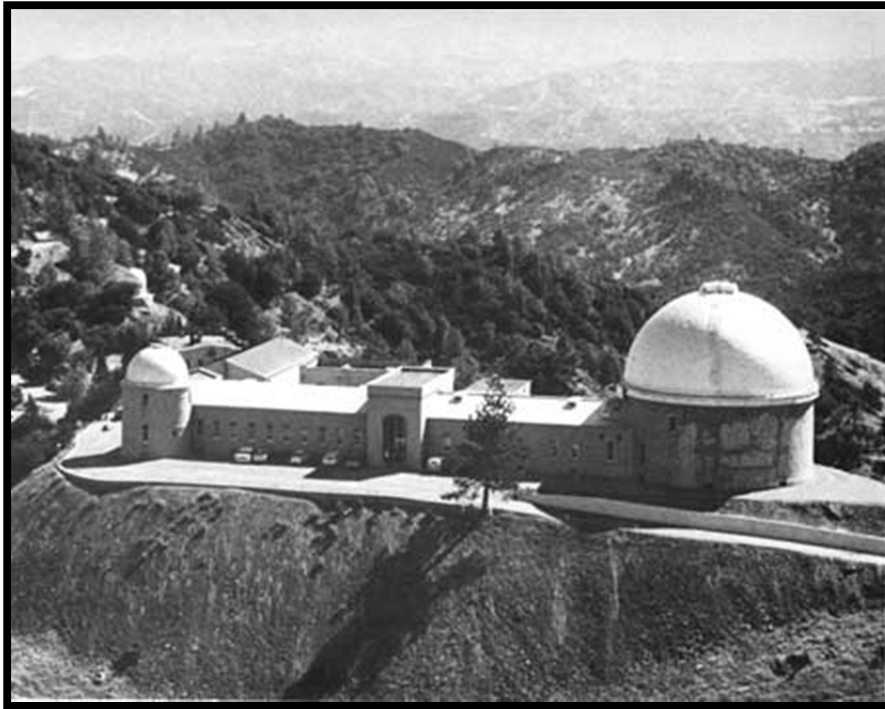
“Un telescopio superior y más potente que cualquiera de los que se hayan construido hasta ahora...y por lo tanto un observatorio a su medida”

Lick dispuso un fideicomiso de 700.000 dólares para la construcción del telescopio y el observatorio. Se dudó en un principio dónde podría emplazarse, finalmente algunas ventajas gubernamentales inclinaron la decisión por un lugar cercano al filántropo en el monte Hamilton (a 1283 msnm), a escasos 30 kilómetros de la población californiana de San Jose. Los constructores vacilaron acerca de la posibilidad de construir el observatorio en la localización elegida, los accesos al lugar, el transporte y la tecnología para realizar la construcción eran muy costosos y limitados. Sin embargo el compromiso del condado de construir una carretera hasta la cima del monte con tal de que se eligiera aquel lugar facilitaron las labores. Hoy en día la carretera del Monte Hamilton, inaugurada en su momento como Avenida de James Lick, resulta una carretera extremadamente sinuosa y lenta para cualquier automóvil, sin embargo hay que pensar que la carretera fue concebida para el transporte de las herramientas de construcción del observatorio mediante caballos y carros, cuya velocidad y manejo resultaba más sencillo en aquel diseño que no sobrepasa la pendiente del 7% en ningún punto.

El visto bueno final al lugar lo daría el renombrado astrónomo Sherburne Wesley Burnham, un especialista en estrellas binarias, que visitó la cima del monte Hamilton en el verano y el otoño de 1879, su informe acerca de la claridad del cielo de la zona venció las últimas resistencias de la comisión del fideicomiso para dar luz verde al proyecto.

Jesús Carmona Morales

Las labores de construcción comenzaron en 1880, el lugar ofreció naturalmente algunas ventajas no esperadas como el hallazgo de un lecho de arcillas finas a un par de kilómetros de la cima, lo que señaló la instalación de un horno que produjo los ladrillos para el observatorio, a un ritmo de 10.000 por día (hasta un total de más de tres millones). Por otro lado un manantial en la cima proveyó de agua las obras de construcción y posteriormente al observatorio en sí.



Vista general del observatorio.

El edificio fue diseñado en Washington D.C. por el arquitecto S.E. Todd, que siguió algunas pautas del renacimiento italiano, aunque la austeridad general en adornos es patente. La planta no presenta ninguna alineación cardinal, simplemente se adapta a la mayor superficie en la cota superior de la montaña.

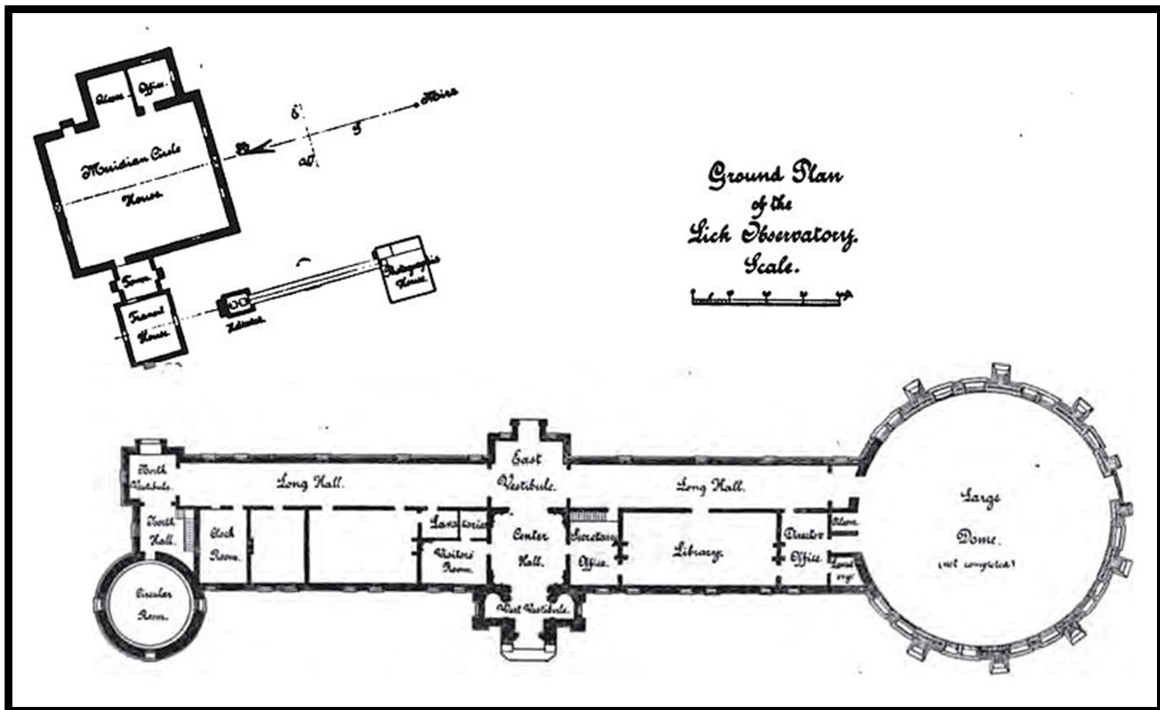
Las obras de construcción se centraron en primer lugar en un objetivo menos ambicioso, que sería la torre cupulada de 7'6 metros de diámetro para el telescopio de 12 pulgadas, comprado de segunda mano a los constructores Alvan Clark & Sons. La planificación de esta torre en primer lugar dio tiempo a que los dieciocho intentos de forjar una lente de 36 pulgadas (algo más de 91 centímetros) para el telescopio principal dieran sus frutos en París en la industria de Charles Feil. En la época el encargo de una lente de tales dimensiones no podía ser realizado por ninguna industria óptica en América del Norte y, de hecho, el trabajo supuso la ruina práctica a Feil.



Torre y cúpula del telescopio de 12 pulgadas en 1881

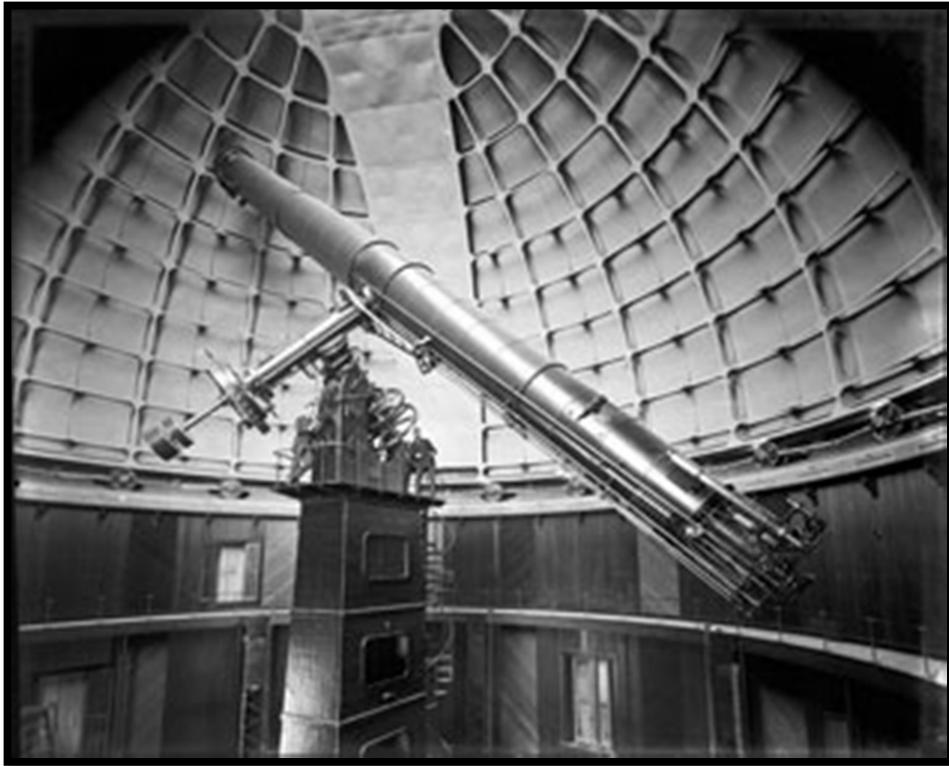
Jesús Carmona Morales

A continuación se construyó la galería principal del observatorio que estaría finalizada con el espacio de la cúpula principal. La galería continua de 50 metros de longitud daba acceso a los despachos, laboratorios y demás estancias de los astrónomos. El espacio diseñado para el telescopio debía esperar sin embargo a que los constructores del telescopio recibieran la lente. Alvan Clark & Sons, uno de los constructores de telescopios más famosos de Estados Unidos debía medir la distancia final del foco de la lente preparada por Charles Feil en París, que se demoró por casi un año. Finalmente el foco óptico del telescopio se encontraba a 17'68 metros de la lente. Con este dato el telescopio tenía longitud final, la cúpula que lo albergaría podía ser dimensionada a tal efecto y posteriormente construida.



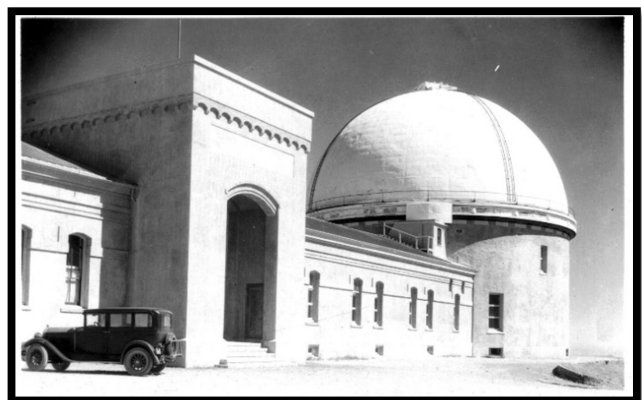
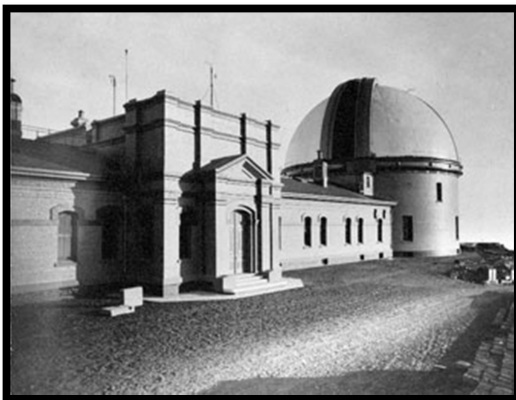
Planimetría general del observatorio Lick. A la izquierda la cúpula del telescopio de 12 pulgadas a la derecha la cúpula del telescopio de 36 pulgadas.

Los trabajos finales del observatorio se llevaron a cabo con la construcción de la cúpula metálica por la compañía Union Ironworks de San Francisco, alcanzando los 23 metros de diámetro exterior. A comienzos de 1887 se trajeron los restos de James Lick, y fueron enterrados en el lugar deseado por el propio Lick, bajo el piso del mayor telescopio del mundo, una sencilla placa marca el lugar del enterramiento. Los avatares para la finalización del observatorio se sufrieron hasta el último momento. Con todo el observatorio preparado a finales de 1887, la mala climatología del invierno retrasó la primera luz del telescopio al 3 de Enero de 1888 apuntando a la estrella roja Aldebarán en la constelación de Taurus. Al observar por el telescopio este no llegaba a enfocar la imagen, se había calculado mal la distancia focal y el telescopio era demasiado largo. Sin ceremonias se procedió a cortar parte del tubo y conseguir la imagen nítida de la estrella, “un llameante sol rojo”.



El telescopio Lick de 36 pulgadas

En Mayo 1888 el observatorio fue entregado a la Universidad de California. Los accesos a la galería principal fueron reformados a comienzos del siglo XX protegiendo el interior de las temperaturas externas durante el invierno mediante un pórtico cubierto. El 21 de Mayo de 1939 en una noche neblinosa un avión biplaza de la Fuerza Aérea Americana se estrelló contra la galería del edificio principal; por fortuna el accidente no provocó un incendio y solo dañó una oficina de espectroscopía.



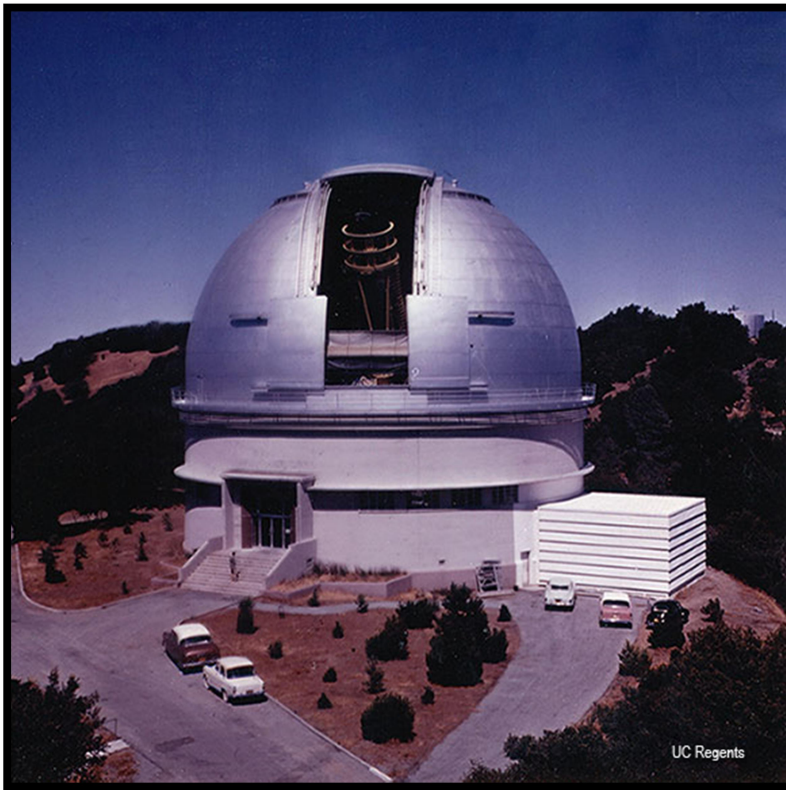
Aspecto original del acceso a la galería y la reforma de comienzos del s.XX

Telescopio reflector Shane de 120 pulgadas

En 1950 el Estado de California aprobó fondos para la construcción de una nueva cúpula en el observatorio que albergara un telescopio reflector de 120 pulgadas (3 metros de diámetro). El nuevo edificio estaba listo en 1959, consistente en un trazado circular y varias alturas para albergar, no sólo el telescopio sino varias oficinas, laboratorios, cámaras de frío intenso,

Jesús Carmona Morales

dormitorios y una pequeña cocina está situado a 500 metros del edificio original. Fue bautizado en 1978 con el nombre del director del observatorio de la época Charles Donald Shane.



Instalaciones y cúpula del reflector Shane de 120 pulgadas

eleva 7 micras para evitar rozamiento con su apoyo.

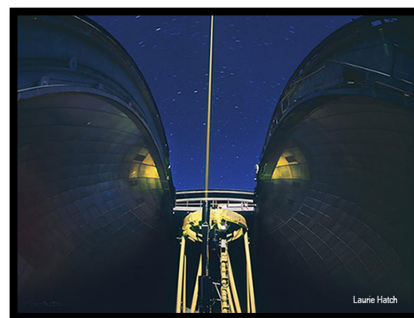
El edificio está realizado en hormigón armado con muros de 45 centímetros de espesor y una altura total del edificio de 29 metros. La cúpula tiene un diámetro exterior de 30 metros, el espesor de la misma es de 90 centímetros, sin embargo la mayor parte de este espesor es de la cámara de aire aislante (unos 85 centímetros), su peso total llega a las 200 toneladas.

El telescopio tiene un peso total de 45 toneladas y su movimiento es posible gracias a una bomba de aceite a presión que lo

En 2004 el telescopio fue equipado con un láser de Sodio para ópticas adaptativas; las lecturas del



láser a lo largo de la atmósfera dan información en tiempo real sobre las modificaciones del espejo que deben realizarse por inestabilidades de las capas de aire. Este sistema que hoy está instalado en la gran número de observatorios por todo el mundo fue implantado por primera vez en Lick en el 120 pulgadas.



Jesús Carmona Morales

Historia reciente y peligro de la institución

Hacia la década de los 70 del siglo XX, la creciente población de San Jose y San Francisco empezaron a hacer mella en las condiciones óptimas del cielo para las observaciones del observatorio. Sin embargo una activa campaña de concienciación que propició en 1980 el cambio en el diseño de lámparas y elección de luminarias de vapor de sodio a baja presión con espectros de emisión más respetuosos en la localidad cercana de San Jose paliaron el problema y el observatorio pudo continuar con sus observaciones. Hoy en día con el continuo crecimiento de las ciudades, así como de Silicon Valley visible desde el monte Hamilton vuelven a poner en jaque la continuidad de la instalación.



Contaminación lumínica en el Valle de Santa Clara.

El Observatorio Yerkes, Williams Bay WI (1897)

El observatorio de Yerkes como en el caso del observatorio Lick fue el resultado de una inversión filantrópica en busca de un nuevo record del telescopio más grande del mundo, su historia es paralela a la de Lick, si bien el camino hasta el observatorio fue el inverso, el de un científico buscando un inversor. Las dificultades en Lick fueron más duras, mientras que en Yerkes pudo centrarse en una superficie mayor, con mayor atención a los detalles estéticos arquitectónicos. El observatorio construido para la Universidad de Chicago fue el alma mater de muchos astrónomos e investigaciones de gran repercusión en la astronomía del siglo XX.

En 1890 el astrofísico George Ellery Hale supo acerca del proyecto fallido de construcción de un observatorio por la University of Southern California, el proyecto se había quedado sin fondos pero había llegado a encargar dos lentes de 40 pulgadas a la compañía Mantois de París, y que ya habían sido pulidas para el telescopio por Alvan Clark & Sons. Hale recurrió a la recién fundada Universidad de Chicago para adquirir las lentes y fundar su propio observatorio. El rector por entonces, William Rainey Harper, conocía al magnate Charles Tyson Yerkes (1837-1905), un financiero norteamericano con gran éxito en las inversiones del incipiente transporte de masas de Chicago y al final de su vida en Londres. Yerkes fue convencido para aportar la financiación del nuevo observatorio a condición de que llevara su nombre y a su fallecimiento fuera su lugar de enterramiento.

El lugar elegido para erigir el observatorio fue un terreno de 200.000 m² donado a la universidad en Williams Bay a medio kilómetro al Norte del Lago Geneva. Este lugar se encontraba a dos horas en tren desde Chicago en la época, lo que ponía relativamente fácil el acceso a profesorado y estudiantes y se alejaba de la contaminación y las luces de la urbe.

El proyecto fue encargado por el arquitecto que había diseñado la propia universidad que como decíamos había sido fundada recientemente, Hery Ives Cobb (1859 – 1931). Cobb era partidario de las ornamentaciones profusas, es conocido por recreaciones de estilos románico, gótico y renacentista en edificios oficiales y rascacielos en Chicago. El estilo aplicado al diseño del observatorio se basaba en una interpretación del Románico, construido en ladrillo rojizo y acompañado de infinidad de detalles en moldes de terracota en el exterior y en yeso en el interior. Los motivos que adornan el observatorio son de corte manierista y sobrecargado con temáticas astronómicas, referenciando las constelaciones zodiacales y el Sol, pero también grifos, sátiros, faunos, decoraciones frutales y vegetales. Este “revival” de la arquitectura clásica es común encontrarlo en esta y otras universidades a lo largo de los Estados Unidos, así como en otras obras arquitectónicas contemporáneas como el Palace of Fine Arts diseñado por Bernard Maybeck en la Exposición Universal de San Francisco (Panama – Pacific International Exposition, 1915).

Los observatorios astronómicos en la arquitectura

Jesús Carmona Morales

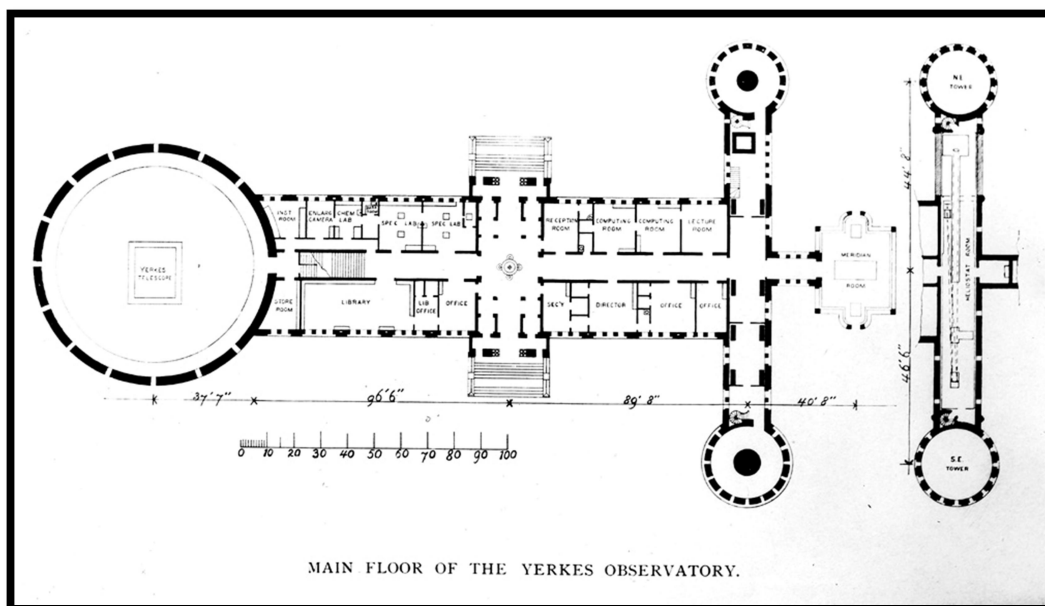


Detalles del balcón circular, detalle frutal, grifo con "Y", miniaturas en las columnas



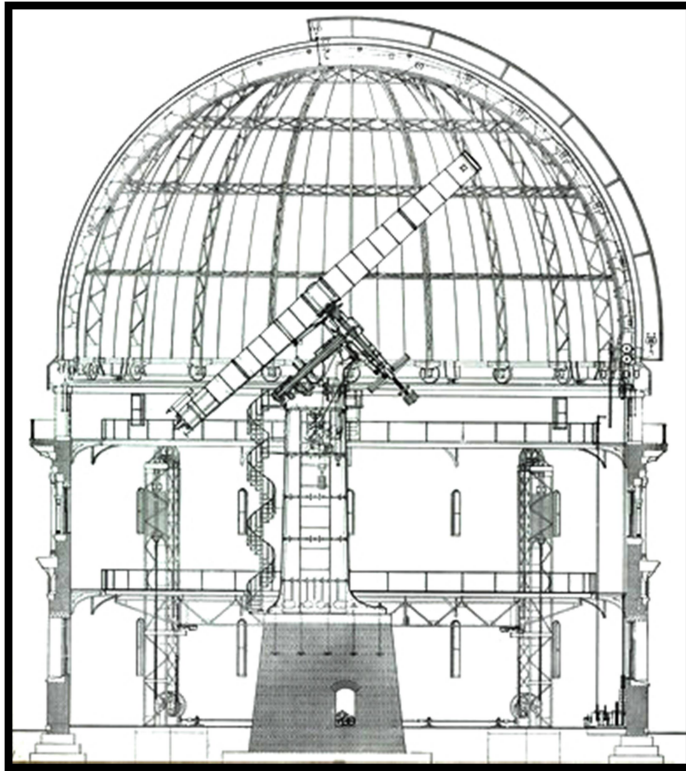
Fachada Sur del observatorio

El trazado del observatorio gozando de la libertad de espacios del terreno en el que se implantó seguía los ejes cardinales, principalmente el eje Este – Oeste, a lo largo de una pieza de 60 metros con una gran rotonda interior central donde se sitúan los principales accesos más la gran cúpula de 27 metros de diámetro en el lado Oeste. El lado Este presenta cúpulas de observación menores en anexos gemelos.



Planta general del Observatorio Yerkes.

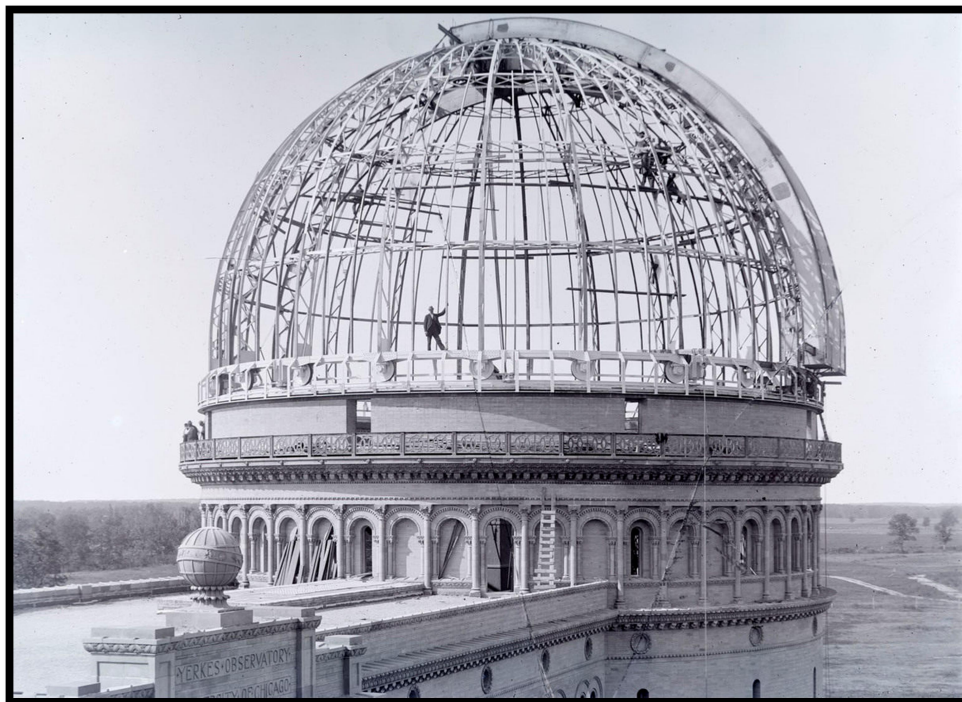
Jesús Carmona Morales



Sección de la cúpula principal

El telescopio resultante de la lente adquirida fue gemelo al del observatorio de Lick, aunque superando su record, con los mismos constructores en óptica (Alvan Clark & Sons), pero también en maquinaria, con Warner & Swasey, que en esta ocasión también construyeron la cúpula y una plataforma que ocupa prácticamente toda la planta donde se ubica el telescopio y que se eleva para situar a los observadores a la altura deseada según la posición del instrumento.

El telescopio de 40 pulgadas (101 centímetros de diámetro) tiene una distancia focal de 19 metros, las dos lentes que iniciaron el proyecto están instaladas en él en un extremo y separadas 22 centímetros entre sí.



Estructura de la cúpula de 27 metros de diámetro durante su construcción.

La montura realizada por Warnes & Swasey es ecuatorial y está instalada sobre una torre de acero por la que pasa la plataforma y bajo la cual fue enterrado Charles Tyson Yerkes.



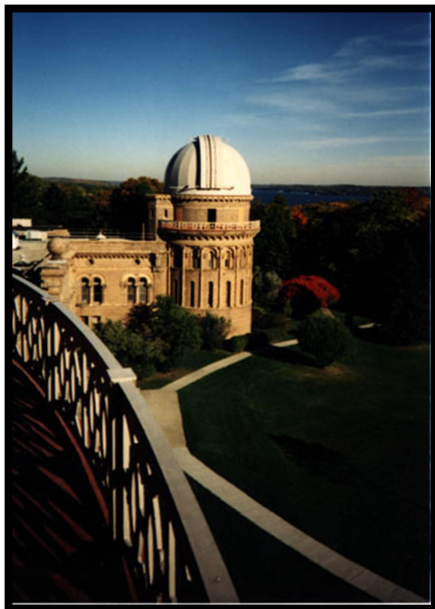
La galería intermedia de 60 metros se organiza mediante un pasillo central donde se van abriendo los laboratorios y la biblioteca en el lado Oeste y los despachos de administración en el lado Este, todos siempre exteriores. En el centro se encuentran los accesos Norte y Sur que se cruzan con el gran pasillo central en la rotonda. Esta rotonda posee un óculo cenital octogonal con motivos ornamentales que representan al Sol. Sobre los pórticos de acceso hay orbes con la eclíptica y el plano zodiacal. Todo el conjunto está elevado sobre una entreplanta subterránea, de modo que los accesos presentan escalinatas monumentales para realzar el edificio.

Jesús Carmona Morales



Sala central, llamada "Rotunda", con el óculo.

En el lado Este el edificio posee un pabellón con un instrumento meridiano, razón adicional por la que todo el conjunto posee una orientación férrea a los puntos cardinales. En este flanco las torres menores de metros 10 metros de diámetro cada una poseen dos telescopios reflectores, uno de 40 pulgadas (llamado el *reflector de 41 pulgadas* para no confundir con el *gran refractor* de misma apertura) y otro de 24 pulgadas de apertura (61 centímetros) respectivamente.



La torre y la cúpula Sureste.

A pocos metros al Sur cruzando el prado, un pequeño pabellón, más moderno que el resto del observatorio, alberga dos telescopios normalmente abiertos al público para observaciones privadas, el Edificio Sur. Posee dos cúpulas astronómicas de unos 5 metros de diámetro con un reflector Cassegrain de 25 centímetros de apertura y un Schmidt de 18 centímetros.



Edificio Sur con las dos cúpulas.

Futuro incierto

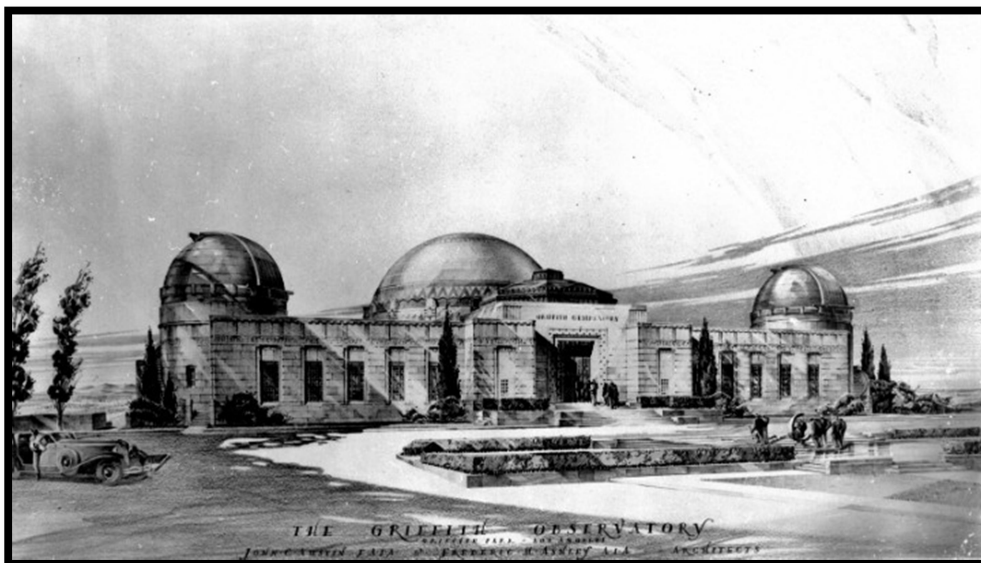
La Universidad de Chicago a lo largo de los últimos años ha buscado un plan alternativo para el observatorio, llegando a su cierre en Octubre de 2018. Existen problemas de transferencia de las instalaciones por falta de interesados y por las condiciones del legado de Yerkes.

Observatorio Griffith, Los Angeles (1935)

El observatorio Griffith es el nexo final entre dos tipos de construcciones relacionadas, una en clara madurez y otra naciente, el observatorio astronómico consolidado y la astronomía dentro del mundo de la divulgación y el espectáculo, el planetario. Todo ello ligado a una experiencia previa que ya hemos visto en los observatorios de Lick y Yerkes, la financiación filantrópica privada. Aunque este espacio está más cerca del modelo de museo actual nos referiremos a él como observatorio, tal y como fue nominado desde un principio.

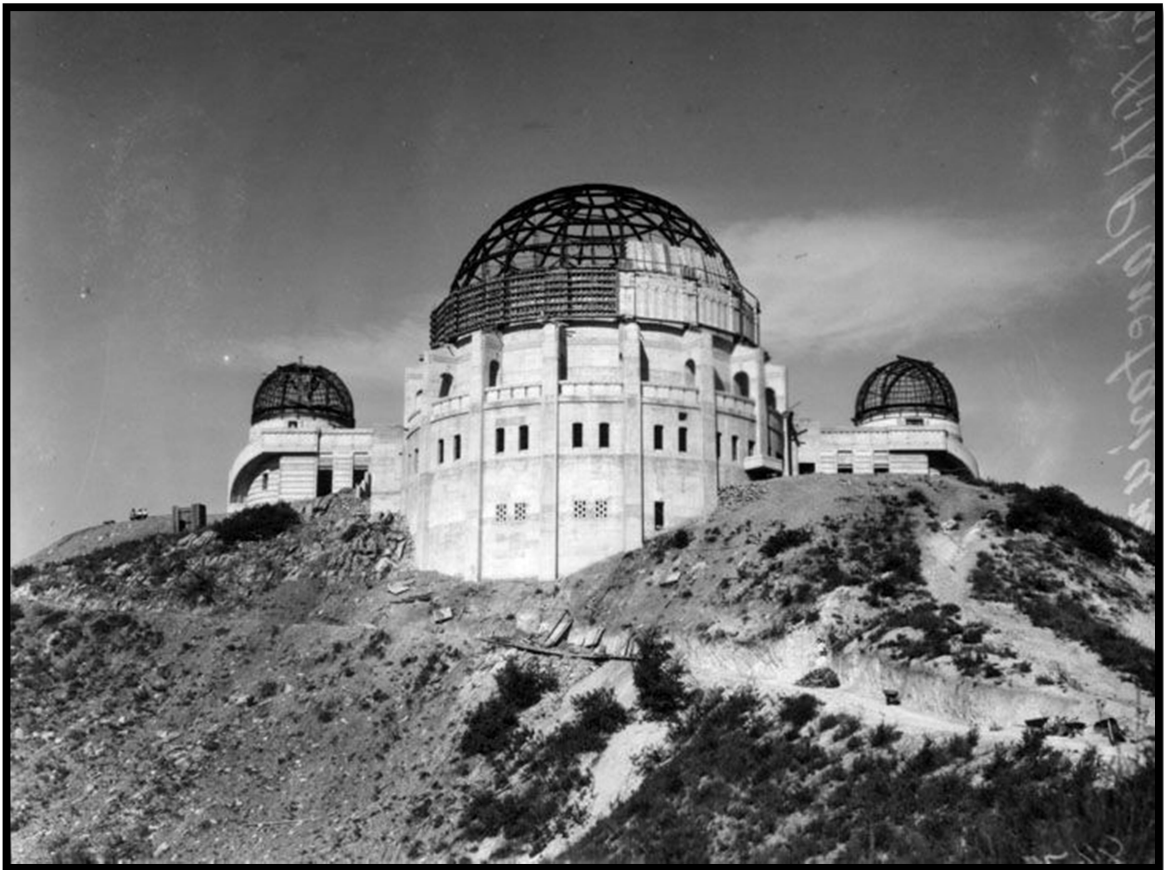
En 1896 Griffith Jenkins Griffith (1850 - 1919), un magnate de la industria galés emigrado a Estados Unidos, que había prosperado con un negocio minero, donó a Los Angeles 12 kilómetros cuadrados de terreno al Norte de la ciudad sobre las colinas, el lugar fue llamado "Parque Griffith" en honor al donante. Años más tarde, en 1912, Griffith volvió a donar a la ciudad un teatro y un espacio para el acercamiento del gran público a la astronomía, en concreto un observatorio, un museo y un planetario; todo debía ser construido en la tierra que había donado años atrás. La donación fue rechazada por la comisión del Parque Griffith, no obstante Griffith dejó los fondos en su testamento y en 1929 el teatro fue completado y más tarde el Observatorio Griffith.

Griffith dejó diferentes consignas y órdenes para la realización del observatorio, este debía estar cerca del público visitante, contrario a la tendencia de la época de los observatorios que se alejaban de las ciudades para favorecer las observaciones y el aprovechamiento de los cielos oscuros. Por otro lado consultó a los astrónomos de renombre del momento como George Elley Hale, que había promovido el Observatorio de Yerkes y a Walter Adams, que sería el primer director del Observatorio del Monte Wilson. Sin embargo la tardía realización del observatorio tras la muerte de Griffith trajo otros participantes en el diseño final, el arquitecto John Corneby Wilson Austin (1870-1963), autor de otros hitos en Los Angeles como el ayuntamiento o el Shrine Auditorium, y el ingeniero, artista y astrónomo aficionado Russell Williams Porter (1871-1949). Las obras comenzaron en 1933 y el edificio fue completado en 1935.



Jesús Carmona Morales

El retraso y la fecha final de ejecución del observatorio ha de ponerse en el contexto histórico de los años previos a su inauguración. La Gran Depresión afectó severamente a California, razón por la que se retrasó largamente la realización de la voluntad de Griffith. Paradójicamente el observatorio fue posible gracias al New Deal, la financiación federal de obras públicas para la recuperación económica promovió la contratación de mano de obra no cualificada y a bajo coste, así como la facilidad para obtener materiales de construcción destinados a este propósito si estos eran adquiridos en Los Angeles o sus cercanías. No solo el observatorio sino otras obras culturales relacionadas con este, como las estatuas del acceso, fueron realizadas bajo el amparo del WPA (Works Progress Administration) creado por el New Deal de Roosevelt.



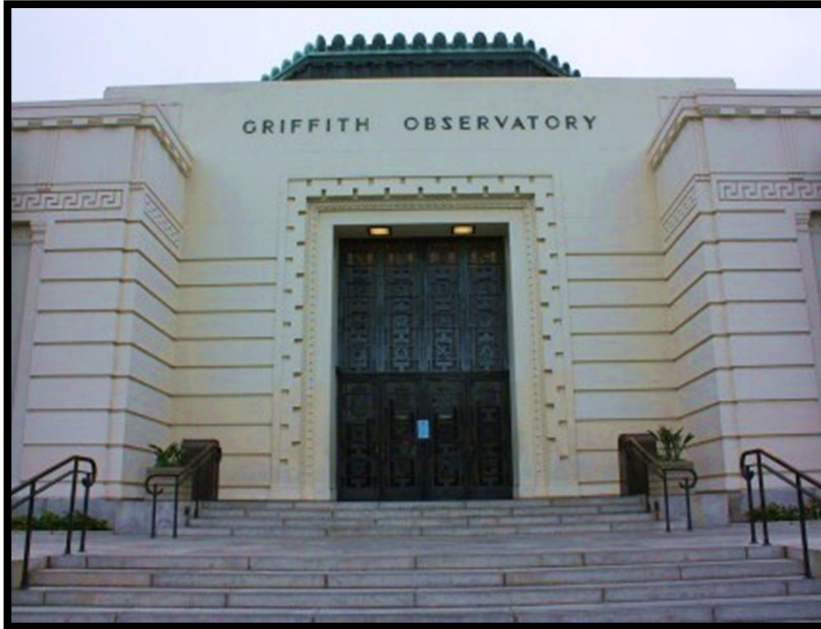
El Observatorio Griffith desde el Sur Durante su construcción.

El diseño principal del observatorio corrió a cargo de Russell Porter, como comentado anteriormente, que realizó diferentes bocetos siguiendo una línea Art Deco con una combinación de estilos monumentales. Las referencias arquitectónicas referidas por el propio Porter fueron templos romanos, mezquitas monumentales y mausoleos. Dotó al proyecto de grandes terrazas a modo de miradores de la ciudad de Los Angeles al Sur. Los arquitectos John C. W. Austin y Frederick Ashley, que pertenecían a la plantilla del WPA, asumieron los diseños de Porter y construyeron el proyecto a partir de estos.

El edificio, realizado en hormigón y acero, cuenta con decoraciones de pilastras, acanaladuras horizontales y cenefas griegas. Las cúpulas están construidas mediante estructura metálica y revestida de cobre. Desde el acceso el edificio muestra un desarrollo lineal, una fachada en baja altura y extensa abriga el prado de llegada; las cúpulas laterales y la gran cúpula central quedan marcadas frente al blanco de los paramentos. El acceso está encuadrado entre dos bastiones, la

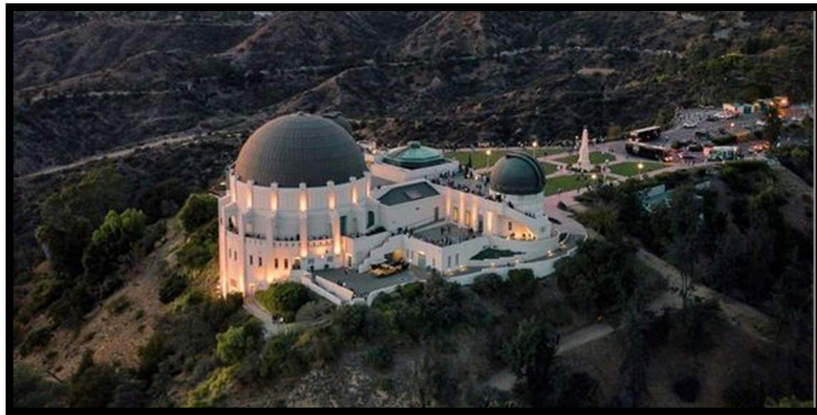
Jesús Carmona Morales

escalinata y una cubierta metálica que en el interior despliega un programa mural en torno a la ciencia (visto más adelante). La puerta está realizada en acero de forja y vidrio con filigranas “art deco” inspiradas en

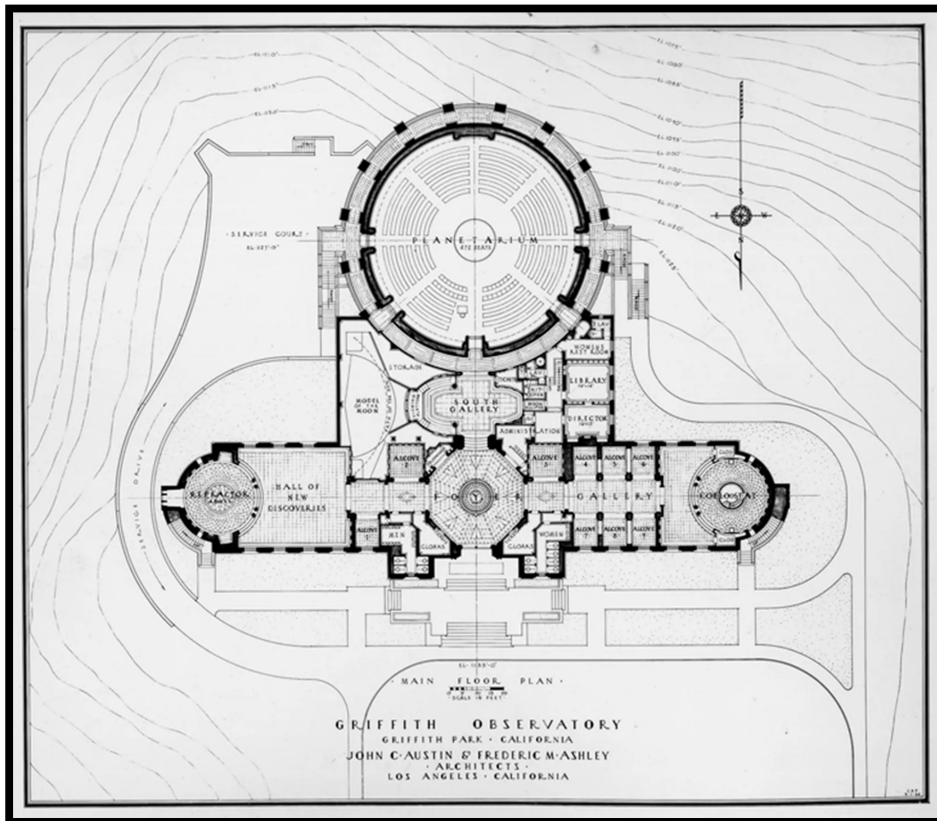


Acceso principal del observatorio y detalle de la puerta.

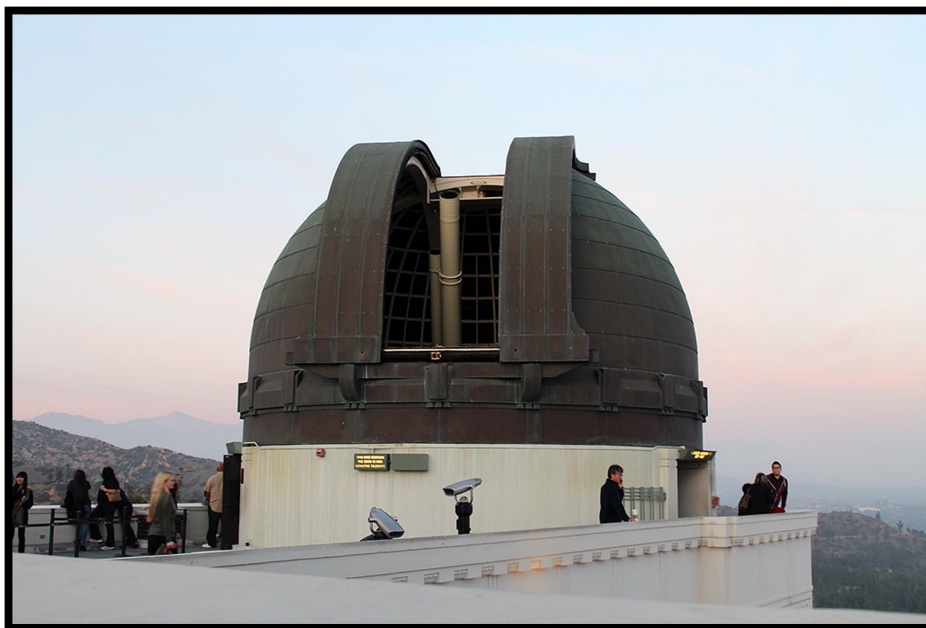
Desde la ciudad de Los Angeles el observatorio muestra su aspecto más monumental y notable; la cúpula central queda avanzada sobre la colina apoyada en el edificio de hormigón que adquiere por el desnivel una gran altura. La entidad de este volumen se reduce a media altura generando una galería bajo arbotantes o arcadas marcadas por los órdenes apilastrados.



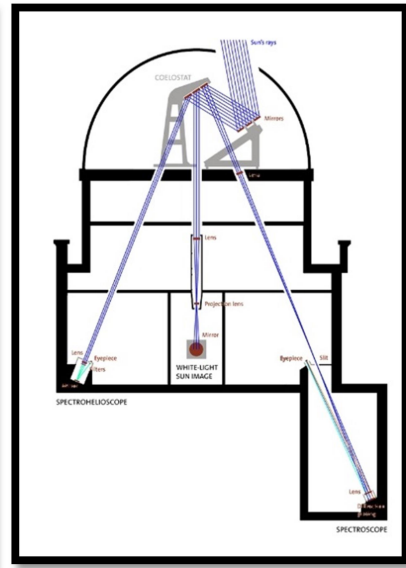
La planta del edificio posee una sensible simetría respecto al eje Norte-Sur en el que está estrictamente organizado, una característica ya vista en la gran mayoría de los observatorios hasta el momento. Desde el acceso una galería Este-Oeste distribuye zonas expositivas hasta alcanzar las cúpulas laterales. En el eje Norte-Sur se organizan, el hall de acceso que se interseca con la galería Este-Oeste, un distribuidor a otras exposiciones y finalmente el planetario.



Las cúpulas menores, de 9 metros de diámetro, albergan equipos astronómicos abiertos al público; en la cúpula Este: un refractor de 30 pulgadas y 5 metros de distancia focal construido por la compañía Zeiss en 1934, sobre este telescopio se apoya un refractor de 24 centímetros adquirido en 1954. Y en la cúpula Oeste: un telescopio solar con heliostato de triple espejo que puede enfocar a la vez a tres instrumentos diferentes en la propia torre (espectroscopio, espectrohelioscopio y un proyector solar directo de luz blanca, sin filtros).



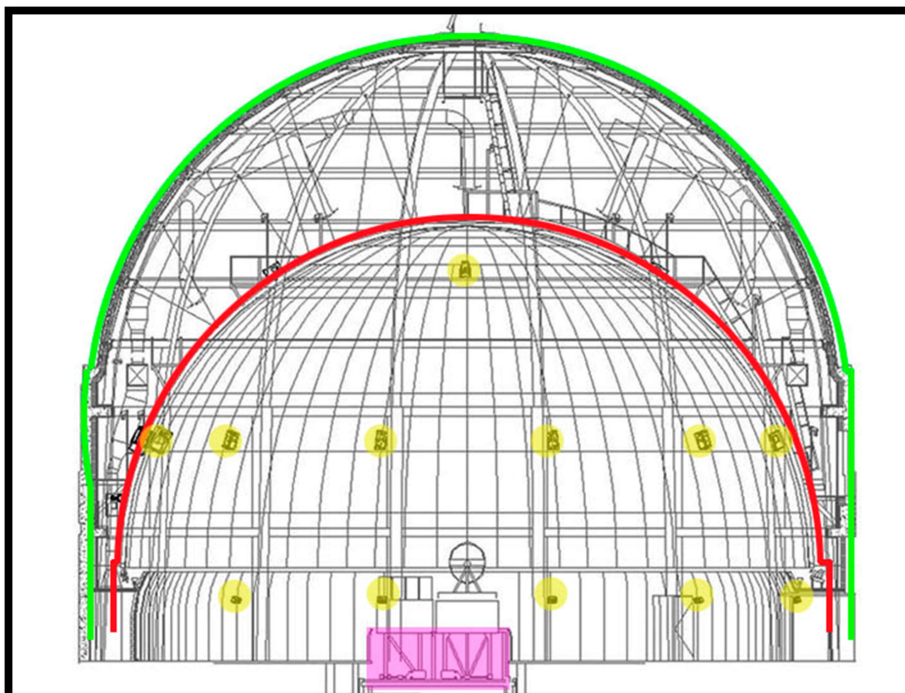
Cúpula Este con los refractores Zeiss



Heliostato triple y sección del funcionamiento de haces de la cúpula Oeste.

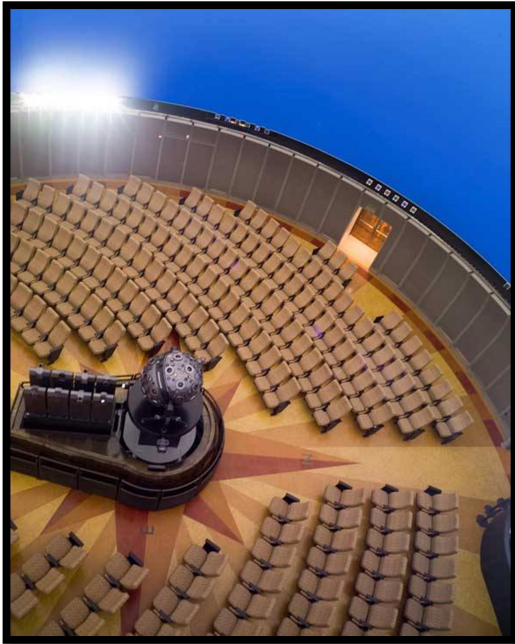
El planetario del Observatorio Griffith fue el tercero construido en Estados Unidos, cuenta con espacio para 290 personas y está construido bajo una cúpula de 23 metros de diámetro. Existe un doble casco esférico, de proyección y de cubierta; el casco interior estaba revestido originalmente de yeso para servir de pantalla de proyección. El casco exterior, separado del primero por unos seis metros en la parte más alta, ejercía de cubierta y es el visible desde el exterior del edificio.

En 1964 el proyector fue sustituido por un Mark IV de la compañía Zeiss, y en las renovaciones de comienzos del siglo XXI se incorporó un Mark IX, renovando a su vez la cúpula interior del planetario. En esta renovación se utilizaron paneles de aluminio microperforado que incorporaban un sistema de juntas indetectables en ciertas iluminaciones, se renovaron los sistema de sonido y ventilación utilizando el espacio entre ambos cascos esféricos.



Sección del planetario Samuel Oschin. En verde la cúpula exterior, en rojo la cúpula interior, en amarillo los puntos de sonido envolvente, en morado la bancada de inercia del proyector independiente del resto de la estructura.

Jesús Carmona Morales

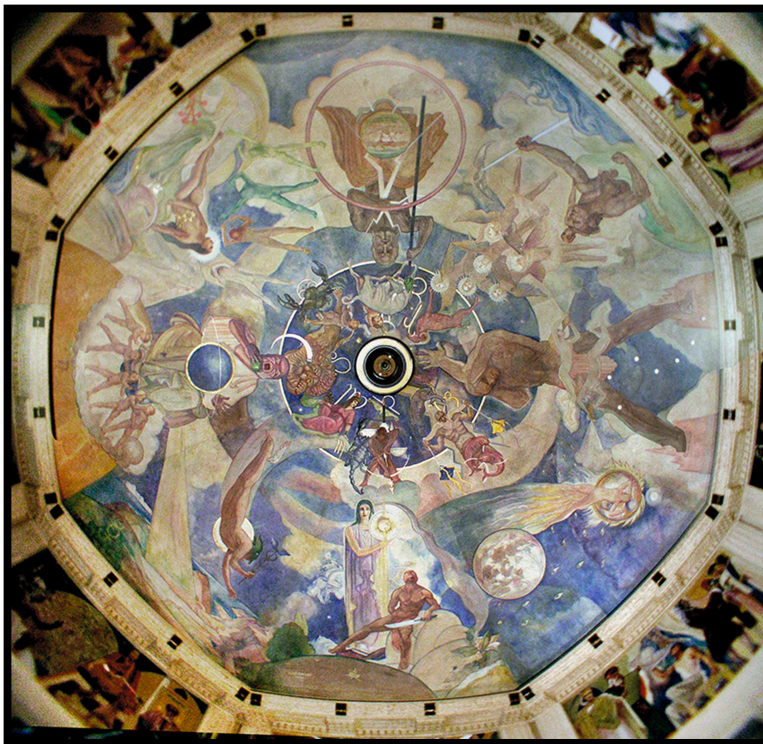


Planetario Samuel Oschin en el Observatorio Griffith

La renovación rebautizó el planetario como Planetario Samuel Oschin en honor al benefactor y la fundación que financió el proyecto. El espacio conservó los diseños del pavimento en línea con el estilo art deco del observatorio, donde es posible apreciar una rosa de los vientos de ocho puntas.

El estilo Art Deco utilizado en la arquitectura exterior está presente en el interior del edificio en forma de murales. A lo largo del edificio es posible apreciar detalles decorativos de este movimiento estilístico pero es en hall de acceso donde más patente es el servicio pictórico a la astronomía y las ciencias en general. La rotonda Keck, tras las puertas de acceso, posee una serie de placas murales así como un fresco en el techo.

Las pinturas murales y del techo fueron realizadas por Hugo Ballin, muralista y director de cine en 1934. En las placas murales se representan



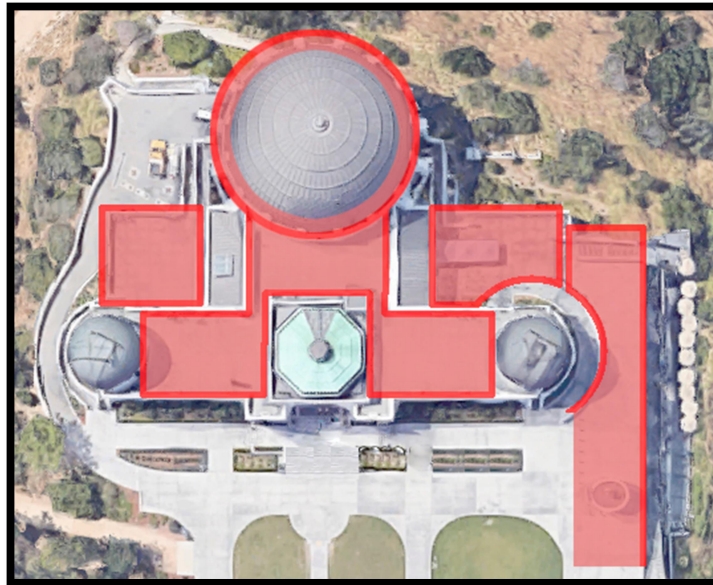
Mural cenital en la Rotonda Keck, en los laterales se aprecian algunos murales.

alegorías de diferentes ciencias: astronomía, navegación, metalurgia, electricidad, matemáticas, física, geología, biología, ingeniería y una alegoría sobre el tiempo. En el techo es posible apreciar alegorías de los planetas y diferentes objetos astronómicos y las constelaciones zodiacales. A modo de los frescos de las iglesias y catedrales góticas y renacentistas aquí Ballin ensalzó las ciencias y la naturaleza. En este espacio, además, un péndulo de Foucault central muestra el movimiento de giro de la Tierra.

Uno de los puntos característicos del Observatorio Griffith son sus espacios exteriores. La colina del Griffith Park donde se asienta, goza de unas amplias vistas de toda la zona urbana de Los Angeles al Sur, así como Hollywood, cuyo característico cartel está situado a dos kilómetros al Noroeste, por lo que existen numerosos puntos en todo el complejo para observar el paisaje y alrededores.

Jesús Carmona Morales

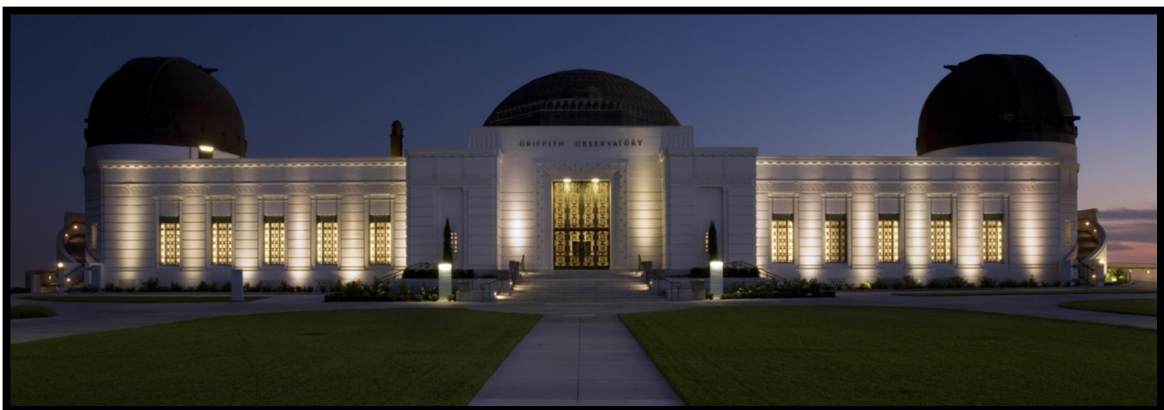
Las cubiertas de la galería Este-Oeste son transitables en su mayoría y se utilizan para observaciones astronómicas con telescopios portátiles. En la zona Sur un par de terrazas en dos niveles muestran la ciudad de Los Angeles, y es posible recorrer exteriormente la rotunda del planetario a través de las arcadas. En el límite Oeste existen marcas de los solsticios y los equinoccios para observar las puestas de Sol en estos días concretos, así como indicaciones de la puesta de la Luna. En esta zona también se encuentra un arco meridiano para localizar el tránsito, la culminación diaria del Sol y medir su altura.



Zonas exteriores públicas del observatorio

Iluminar un observatorio

La iluminación nocturna es una referencia característica de este edificio, luminarias a ras de suelo o en apliques iluminan los ritmos verticales de las fachadas, marcados por las pilastras y los ventanales, acentuando las decoraciones. El edificio ha aparecido en una gran cantidad de películas representando arquitecturas utópicas o imaginarias o a sí mismo, y en un buen número de ocasiones se ha mostrado en su faceta nocturna.



Iluminación nocturna de la fachada Norte.

La naturaleza del observatorio, centrada en el gran público, así como la batalla perdida por el cielo nocturno contaminado de la ciudad de cuatro millones de habitantes de Los Angeles, permiten la

Jesús Carmona Morales

excepcionalidad y la rareza de un observatorio que juega a la contra consigo mismo iluminándose profusa e inadecuadamente.



Escultura coronada con la esfera armilar frente al reloj de Sol, es posible ver al fondo el cartel de Hollywood en la colina.

A este respecto cabe señalar lo ocurrido en el verano de 1994 en Los Angeles tras el terremoto de 6,7 grados que produjo un apagón generalizado en la ciudad. Observatorios de la zona registraron llamadas de los habitantes preguntando acerca de algo en el cielo que no habían visto nunca, que resultó ser la Vía Láctea.

El Monumento a los Astrónomos

En el acceso al observatorio hay diferentes actividades e hitos relacionados con la temática del museo: un pequeño sistema solar a escala (con un Sol de 1,3 centímetros de diámetro), un reloj solar ecuatorial y una escultura dedicada a astrónomos de renombre en la historia.

La escultura se erigió en 1934 poco antes de la inauguración del observatorio a partir de varios moldes en arcilla realizados en el propio observatorio, donde se acotó un espacio durante las obras como taller de escultura.

Jesús Carmona Morales

El diseño original fue realizado por Lorain Archibald Garner, que fue asistido por diferentes escultores, uno por cada astrónomo, incluyendo a George Maitland Stanley, conocido posteriormente por su diseño de la estatuilla del Oscar de la Academia. Todos los escultores asumieron el estilo de Garner para dar consistencia estilística a la pieza.

La escultura representa a los seis astrónomos más famosos de la historia, Hiparco de Nicea, Nicolás Copérnico, Galileo Galilei, Johannes Kepler, Isaac Newton y William Herschel. El monumento es un obelisco con sección de estrella de seis puntas, en cada esquina cóncava se aloja un relieve de cada astrónomo; está realizado en hormigón y coronado por una esfera armilar de bronce.



Relieves de Hiparco de Nicea, Nicolás Copérnico, Galileo Galilei, Johannes Kepler, Isaac Newton y William Herschel en la escultura frente al observatorio.

Restauración y reforma

De 2002 a 2006 el observatorio permaneció cerrado para someterse a restauración y ampliación. La arquitectura art deco había sufrido deterioros y nuevos espacios fueron planeados respetando el aspecto externo del edificio. Los diseños de Russell Porter, que habían sido conservados desde

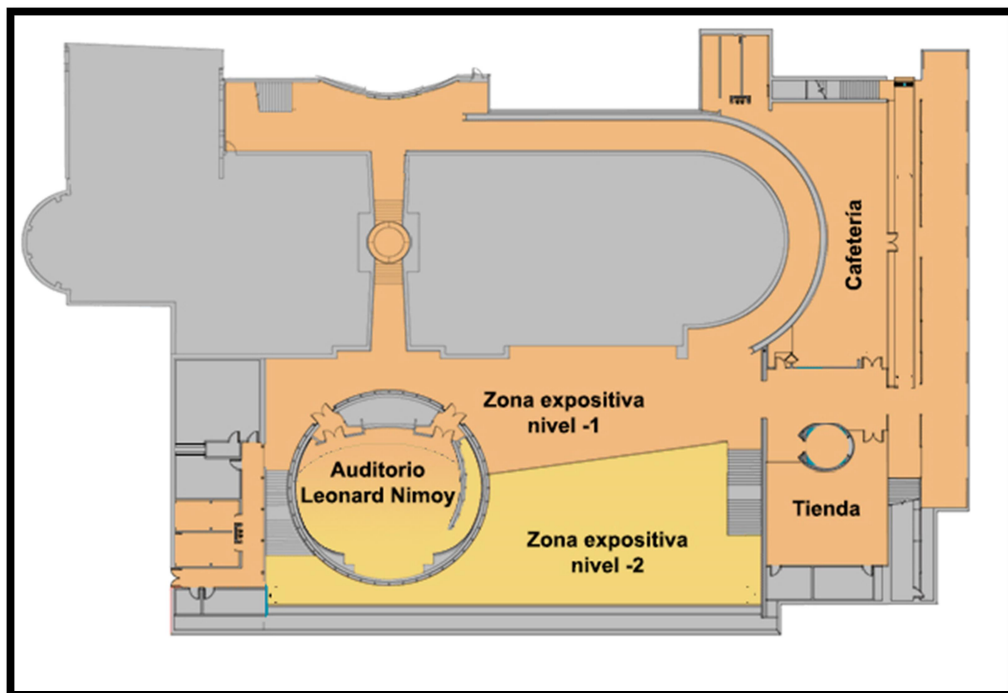
Jesús Carmona Morales

la construcción del observatorio, fueron una referencia para la ejecución de las restauraciones y la reforma ejecutadas por Pfeiffer Partners y Levin & Associates Architects.



Zonas afectadas por la ampliación subterránea

Durante las reformas nuevos espacios expositivos fueron incorporados al observatorio, sin embargo debido a la especial sensibilidad del conjunto no se hizo mediante ninguna pieza visible desde el exterior, toda la ampliación quedó subterránea en el espacio frente a la fachada principal con una profundidad de hasta dos alturas. En la ampliación un nuevo auditorio financiado por el actor Leonard Nimoy y su esposa, dos espacios expositivos, una cafetería y una tienda fueron los principales espacios añadidos al complejo.



Detalle de la ampliación subterránea de 2006.

Galáctica. Centro de Difusión y Práctica de la Astronomía, Teruel (2019)

El complejo Galáctica se enmarca dentro de un nuevo concepto de observatorio. Los grandes observatorios del mundo tienen sus horas de telescopio totalmente copadas con la investigación de centros universitarios, centros superiores de investigación o proyectos para agencias aeroespaciales. Existe un punto en el que el mundo de la astronomía profesional y el amateur coinciden y son colaborativos. Los equipos fuera del alcance de los astrónomos amateur son puestos a disposición de estos, y las investigaciones y observaciones de los astrónomos amateur cubren un vacío de la astronomía profesional.

Desde el proyecto GLORIA (GLObal Robotic-telescopes Intelligent Array), y las colaboraciones de “ciencia ciudadana” han aparecido iniciativas que permiten la participación en grandes proyectos de grandes masas de aficionados y colaboradores desinteresados. La gran cantidad de datos generada por las misiones espaciales, los telescopios orbitales y terrestres son en ocasiones desbordantes para los institutos astronómicos, por lo que la clasificación de estos “big data” por profesionales resulta prohibitiva para el coste de la hora de los investigadores, sin embargo la colaboración profesional-amateur está dando sus frutos en este mundo. Por otro lado observatorios con telescopios de calibre medio ofrecen sus horas de observación a personas de todo el mundo para proyectos personales de investigación (observación de estrellas dobles, estadística y seguimiento de estrellas variables, descubrimiento y evolución de supernovas,...) que terminan formando una base de datos donde investigaciones superiores aprovechan para corroborar o apoyar sus propias observaciones. El complejo Galáctica es sensible a este punto de contacto entre ambos mundos.



Complejo con la población de Arcos de las Salinas al fondo.

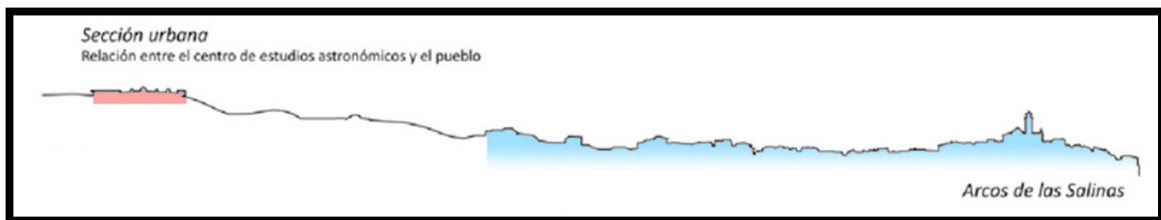
Galáctica, Centro de Difusión y Práctica de la Astronomía, pertenece al Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón, está situado a medio kilómetro al Norte de la población de Arcos de

Jesús Carmona Morales

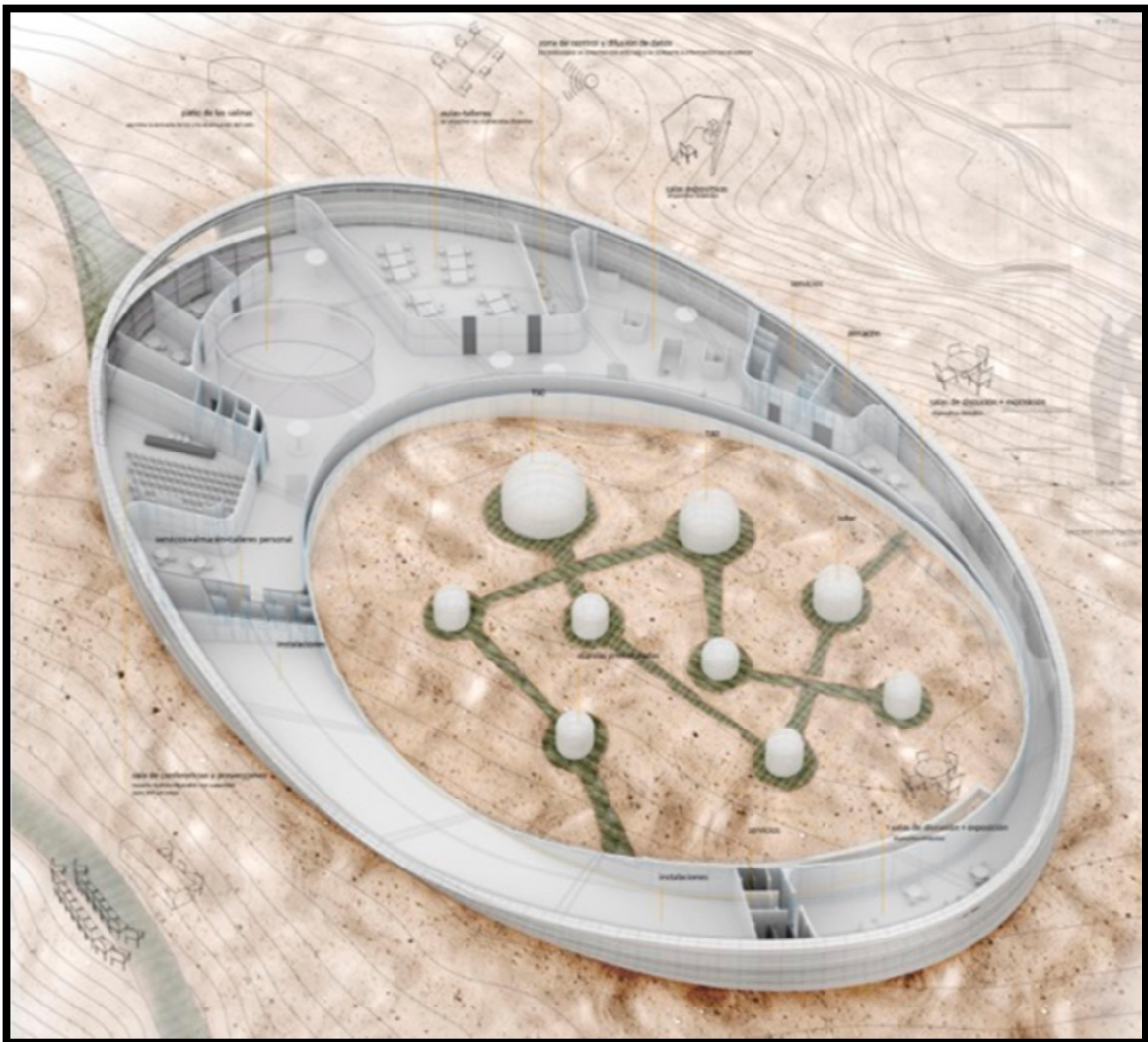
las Salinas, en Teruel. Su objetivo es poner a disposición de cualquier interesado horas de observación de equipos semiprofesionales y espacios preparados para la instalación de equipos portátiles, a su vez el centro ofrece espacios de divulgación, reunión y exposición centrados en la astronomía y ciencias afines. Toda la zona ha pujado por la concesión de una certificación que la acredita como Reserva Starlight para la observación del cielo mediante iluminación responsable con la protección del cielo nocturno natural. En esta zona se sitúa además el Observatorio Astrofísico de Javalambre.



El complejo es obra del estudio Mytaki (Luis Bravo-Villasante Kirschberg, David Camilo de las Heras, Alberto Cobos Álvarez, Manuel Godoy Román y Luis Villar Pérez) consiste en un anillo que abraza la cima de la colina, reservando espacios en su centro para cúpulas de observación para equipos semiprofesionales y privados. El anillo se comprime para abrirse a las miradas lejanas a la vega de Arcos de las salinas. La piel del complejo juega con transparencias para abrir u ocultar los diferentes usos dentro del edificio. Se estudia una relación de impacto bajo con el entorno y la población cercana.



El espacio central cuenta con nueve cúpulas astronómicas, tres de ellas ocupadas por equipos del centro (un telescopio solar de 15 cm de apertura y dos telescopios reflectores de 40 y 80 centímetros de diámetro respectivamente) y seis disponibles para albergar equipos externos que deseen aprovechar las instalaciones y el cielo de la zona. Los equipos externos disponen de ventajas de conexión eléctrica y red de internet, tanto para obtención de datos como para robotización del telescopio y la cúpula en el caso de un control remoto.



Planta general del complejo Galáctica.

Los espacios que abrigan este patio astronómico cuentan con sala de conferencias para cien personas, espacios para retransmisión de eventos, espacios de trabajo colectivo y salas de exposiciones. La zona del hall de acceso se marca con un lucernario cenital y un patio acristalado. La cubierta del complejo es transitable y está preparada para observaciones a ojo desnudo y con telescopios portátiles. Aunque en el proyecto presentado a concurso se delinearon cúpulas astronómicas para los espacios de observación, en el proyecto de ejecución estas han sido sustituidas por torres rectas sin especiales características para la apertura. Algo que en la actualidad están adoptando gran cantidad de observatorios de todos los tamaños, por evidentes ventajas de construcción con los sistemas actuales así como por las desventajas frente a viento que ofrecen los diseños en cúpula.

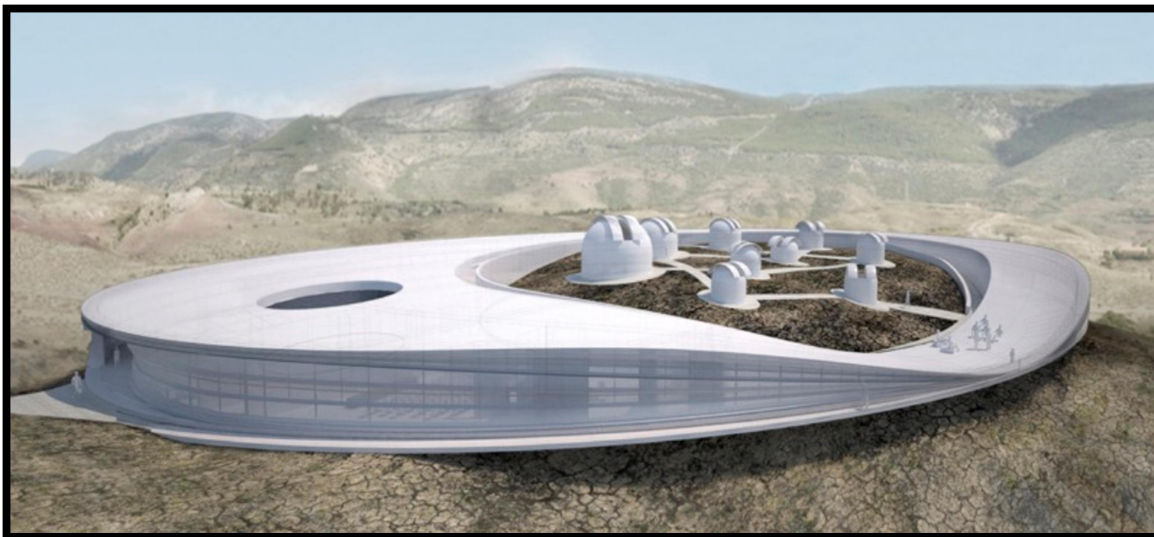


Sección del anillo por el patio interior con los espacios de observación.

Los observatorios astronómicos en la arquitectura

Jesús Carmona Morales

Las obras fueron acabadas en 2015 y la puesta en funcionamiento de los equipos del centro se realizó en la primavera de 2019. El proyecto Galáctica es el resultado de un concurso público realizado por el Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón. Este proyecto además ha sido galardonado con el Premios Arquitectura en Vidrio 2015 Saint-Gobain Cristalería/Citav, además de ser accésit en los Premios García Mercadal XXXII en 2017 y mención en los VI Premios COAG 2018, en el Premio Carlos Pfeifer.



Infografía del proyecto presentado a concurso público.

ANEXO: El Planetario

El planetario, el espectáculo astronómico del gran público

Una marca inconfundible del siglo XX, ha sido la puesta a disposición de las grandes masas de gente del entretenimiento en todos los ámbitos. En astronomía esta característica no ha sido una excepción y es notable como con la llegada del siglo XX los observatorios fueron calando a niveles más profanos de la sociedad al mismo tiempo que la luz de las ciudades se filtraba en los tubos ópticos.

Observatorios que comenzaron a no tener como objetivo principal la investigación se centraron en mostrar el universo a las grandes masas, y como el universo a través de un telescopio es difícil de ser llevado al gran público nuevas formas de “astronomía popular” o astronomía de masas fueron inventadas, el planetario es el exponente de estos esfuerzos, aunque no el único.

El planetario por tanto una representación del cielo nocturno, a veces diurno, al que la arquitectura presta la técnica y las formas heredadas de los observatorios para llegar al gran público. Como característica fundamental de estos espacios sucede algo común en todos ellos, y esto es el gesto de elevar la mirada, flexionar el cuello, mirar hacia arriba, hacia el cielo, donde deberían estar las estrellas reales; en la mayoría de las ocasiones esto sucederá además en una posición cómoda mediante butacas, en una evolución paralela y similar a las primeras salas de cine.

En este texto introductorio acerca de esta modalidad de espectáculo echaremos por un momento la vista atrás, mucho más atrás en el tiempo que el siglo XX para ver las representaciones de la bóveda celeste en los que los espacios y la arquitectura han intervenido.

Las antiguas representaciones de la esfera celeste se plasmaron en libros y tratados de la forma más diversa, desde representaciones gráficas directas de lo observado a tablas de registro de coordenadas y efemérides de estrellas con sus características visuales, pero es en la arquitectura donde encontramos un germen de una vocación que cristalizará muchos siglos más tarde en los planetarios modernos. El cielo estrellado ha sido objeto de la admiración de generaciones a lo largo de la historia, de modo que la representación de este sea para su medición y conocimiento como para ejercer un poder totémico sobre él ha sido una constante. Como muestra de esta pulsión en los más antiguos restos arqueológicos encontramos tablas astronómicas en la cultura asiria como el planisferio de Nínive (s. VII a. C.). Pero ya dentro de la arquitectura podemos encontrar recreaciones muy anteriores.

En las cuevas de Lascaux en Dordoña (Francia), podemos encontrar la Sala de los Toros; donde en las pinturas rupestres, realizadas en el periodo magdalenense de unos 17.000 años de antigüedad, sobre la bóveda de la cueva es posible detectar una serie de puntos cercanos a la figura de un toro con una cornamenta inusualmente larga. Comparando el diseño del toro y los puntos realizados a su alrededor es posible reconocer un asterismo de Orión (cinturón de Orión conformado por tres estrellas. Alnitak, Alnilam y Mintaka) y el cúmulo de las Pléyades, siendo el propio toro la constelación de Taurus, donde el ojo del animal representa la estrella Aldebarán y la

Jesús Carmona Morales

larga cornamenta las puntas de la constelación con Elnath y ζ Tauri. Lo que convertiría la bóveda de Lascaux en un planetario prehistórico.



Sala de los Toros en las Cuevas de Lascaux, arriba a la derecha aparece la figura parcial del Toro y los puntos representativos de estrellas sobre este y bajo el morro del animal.

En la arte del Antiguo Egipto encontramos numerosas representaciones de las constelaciones del imaginario de esta cultura. Son especialmente significativas aquellas que se sitúan sobre techos de cámaras funerarias a modo de representación de la bóveda celeste: como las estrellas en los techos en las tumbas Amenhotep II (siglo XIV a.C.) o la de Merenptah (final del siglo XII a.C.).



Estrellas en las tumbas de Amenhotep II (izquierda) y Merenptah (derecha)

Sin movernos de Egipto pero ya como provincia de Roma, tenemos una representación más exhaustiva del cielo en el zodiaco de Dendera, un bajorelieve con detalles de constelaciones y planetas del momento situado en el techo de la pronaos del templo de Hathor (50 a. C.) en Dendera, hoy en el Museo del Louvre.



Zodiaco de Dendera

La mitología y religión posteriores han designado espacios para las deidades que habitaban los cielos en los techos y cúpulas de los templos romanos y cristianos; sean Saturno, Júpiter o las divisiones Dantescas del Paraíso, los frescos y bajo relieves.

En la Sacristía Vieja, obra de Brunelleschi, en la iglesia de San Lorenzo de Florencia encontramos una cúpula decorada con las constelaciones y los planetas como se encontraban el 4 de Julio de 1442. Esta obra pictórica representa el fondo del cielo azul profundo con una base de azurita, sobre la que aparecen en oro los elementos celestes. Fue realizada por Giuliano d'Arrigo, conocido como el Pesello, sobre los años veinte del Quattrocento siguiendo instrucciones del astrónomo italiano Paolo dal Pozzo Toscanelli.



La cúpula de la sacristía Vieja, se distinguen el círculo polar celeste (a la izquierda, con las constelaciones de la Osa Mayor, el Dragón y la Osa Menor entre otras), la línea del meridiano y en el centro ligeramente a la derecha el plano zodiacal con el Sol entre Gemini y Cáncer, posición del Sol de los meses de verano.

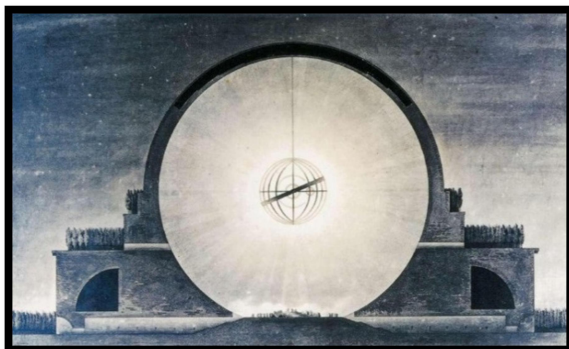
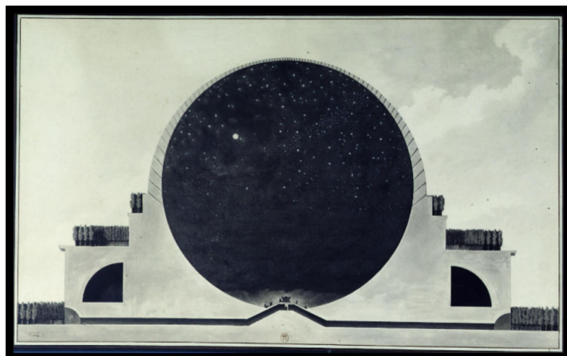
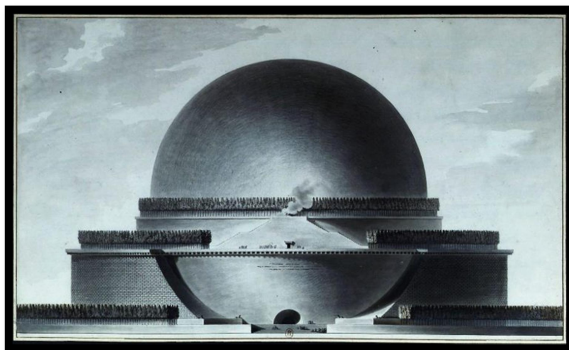
Jesús Carmona Morales

Es conocido que parte de la cultura grecorromana pasó al Norte de África a través de Alejandría y las dinastías ptolemaicas, y posteriormente al Islam, incluidos los conocimientos astronómicos de la época que siguieron un gran desarrollo por este camino. La observación y medición del cielo en estas culturas es patente en diferentes observatorios, como veremos posteriormente, pero también el arte secular dará especial importancia a las representaciones del cielo. En un ejemplo cercano están las bóvedas de los baños públicos, iluminadas mediante lucernarios con forma de estrella.



Bóvedas de los baños del Bañuelo (izquierda) y de Baza (derecha).

En el siglo XVIII el arquitecto francés Étienne-Louis Boullée, famoso por numerosas arquitecturas oníricas no construidas que inspiraron a las generaciones posteriores del XIX, creó el Cenotafio de Newton. El cenotafio consistía en una gigantesca esfera hueca de 150 metros de diámetro encorsetada en dos anillos aterrizados con jardines de cipreses. En el interior de la esfera se crearían las ilusiones de la noche y el día sobre. De la noche mediante la infiltración de la luz del Sol por perforaciones en la esfera, que representarían los puntos de las estrellas en el cielo. Y del día mediante un telurio del sistema solar suspendido en el centro de la esfera con el Sol como luminaria y los planetas a su alrededor.



Cenotafio de Newton por E.L. Boullée. De arriba izq. alzado exterior, arriba der. sección con el modo nocturno interior y abajo sección con el modo diurno interior.

Jesús Carmona Morales

En 1781, Eise Eisinga, un astrónomo aficionado realizó un modelo de telurio mecánico en el techo del salón de su casa en Franeker (Países Bajos). Los planetas se movían a lo largo de surcos y mediante mecanismos de reloj contrapesados con varias pesas, que quedaban escondidos en el espacio entre el falso techo y el forjado. Esta idea fue recogida más tarde, en 1905, por Oskar von Miller para realizar un modelo similar a gran escala, con sistemas eléctricos y bombillas sustituyendo a los planetas. Fue realizado en el Deutsches Museum trabajando con la compañía de Carl Zeiss. Esta obra fue interrumpida debido a la guerra y no pudo completarse.



Telurio mecánico en el techo de la casa de Eisinga en Franeker

Todos estos ejemplos son proto-planetarios llevados de la mano por la idea de la representación de la bóveda celeste a una escala mayor que la humana. El planetario moderno llegaría hacia final del siglo XIX con unas experiencias muy concretas.

Referiremos brevemente aquí la atracción de la Exposición Universal del París de 1900, puesto que la trataremos en profundidad más adelante. El Grand Globe Celeste consistía en una esfera



metálica de 45 metros de diámetro que se podía visitar interiormente y que poseía mecanismos para simular el movimiento del cielo (de la Tierra en realidad). La representación del cielo está heredada directamente del proyecto de Boullée en una escala, sin ser despreciable, mucho menor.

Más modesto que este ejemplo pero bajo el mismo

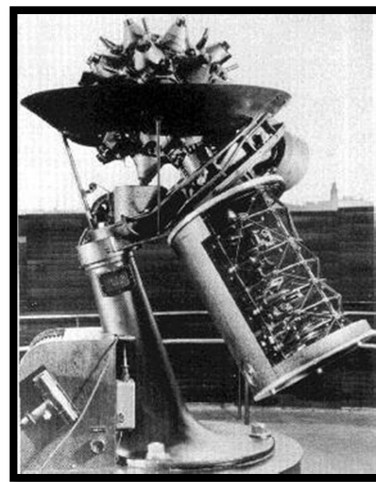
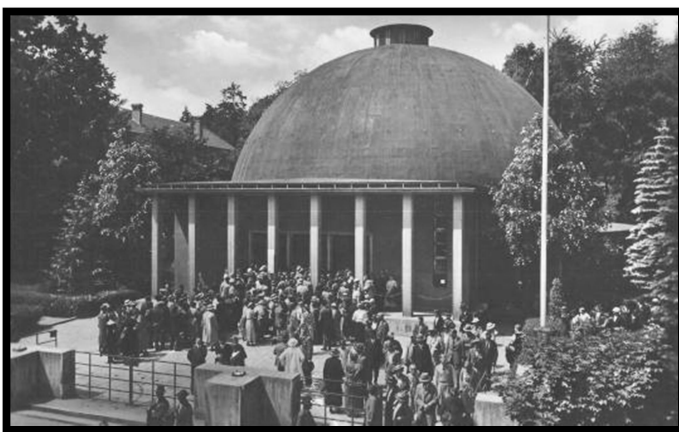
Jesús Carmona Morales

principio tenemos la esfera Atwood, presentada en exposición en 1913 en la Academia de Ciencias de Chicago. Esta esfera de algo más de 5 metros de diámetro estaba realizada de metal galvanizado y podía girar independientemente mientras la gente en el interior, unos poco visitantes, permanecían sobre una plataforma. El metal estaba perforado para dejar pasar la luz exterior y representar la posición de las estrellas (692 estrellas en total).



Exterior de la esfera Atwood e interior durante una explicación.

Finalmente, tras estas experiencias, llegamos a la consagración del planetario como será reconocido durante todo el siglo XX. Oskar von Miller, tras el fracaso de su telurio mecánico, trabajó en colaboración con el astrónomo Max Wolf y de nuevo con la compañía Zeiss en una idea innovadora que partía de la esfera Atwood pero evitando la necesidad de una estructura móvil. Ésta era sustituida por un proyector óptico que simulaba la rotación de las estrellas y el movimiento de los planetas independientemente, el proyector Zeiss Mark I. En Agosto de 1923 se realizaron las primeras proyecciones en una cúpula de 16 metros y más tarde ese mismo año fue presentado al público. Zeiss creó el primer planetario moderno de la historia en Jena, con una cúpula de 25 metros, construido por los arquitectos Schreiter & Schlag, abierto al público en 1926.

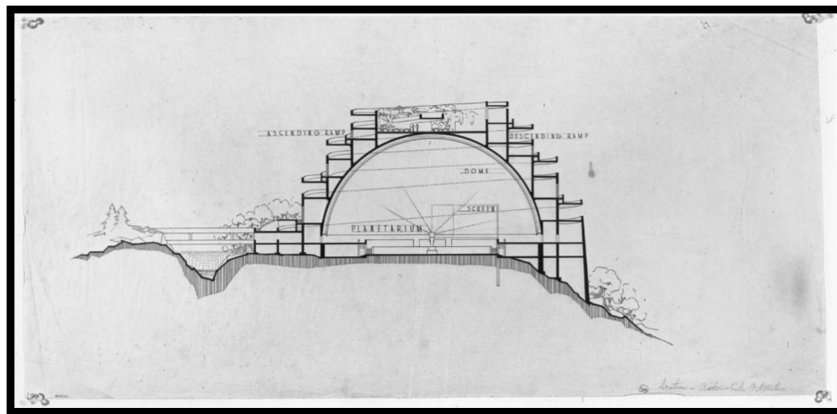
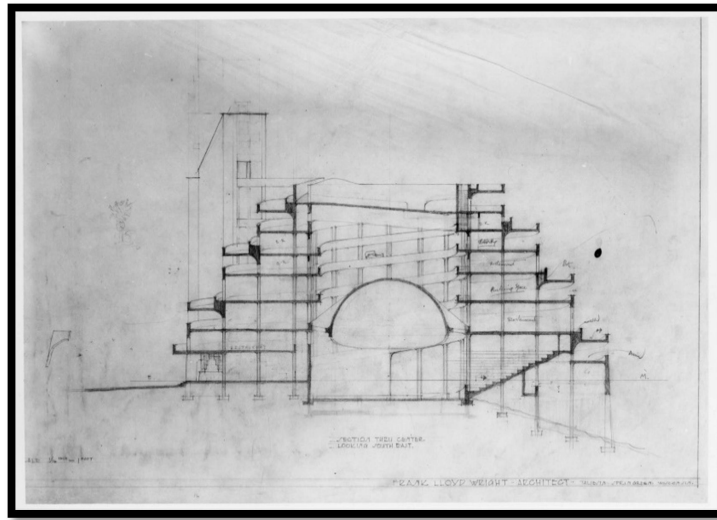


El Zeiss Planetarium y el proyector Zeiss Mark I

Este novedoso sistema, que además utilizaba de una forma muy atractiva la cúpula llamó la atención de Frank Lloyd Wright en 1925 mientras trabajaba en el proyecto del Gordon Strong Automobile Objective; y durante su diseño fue incluido un planetario en el complejo de rampas, miradores, hotel y restaurante. Sin embargo fue el atrevido uso de una cúpula 45 metros de

Jesús Carmona Morales

diámetro, seguramente no construible, lo que echó atrás al empresario Gordon Strong para su construcción.

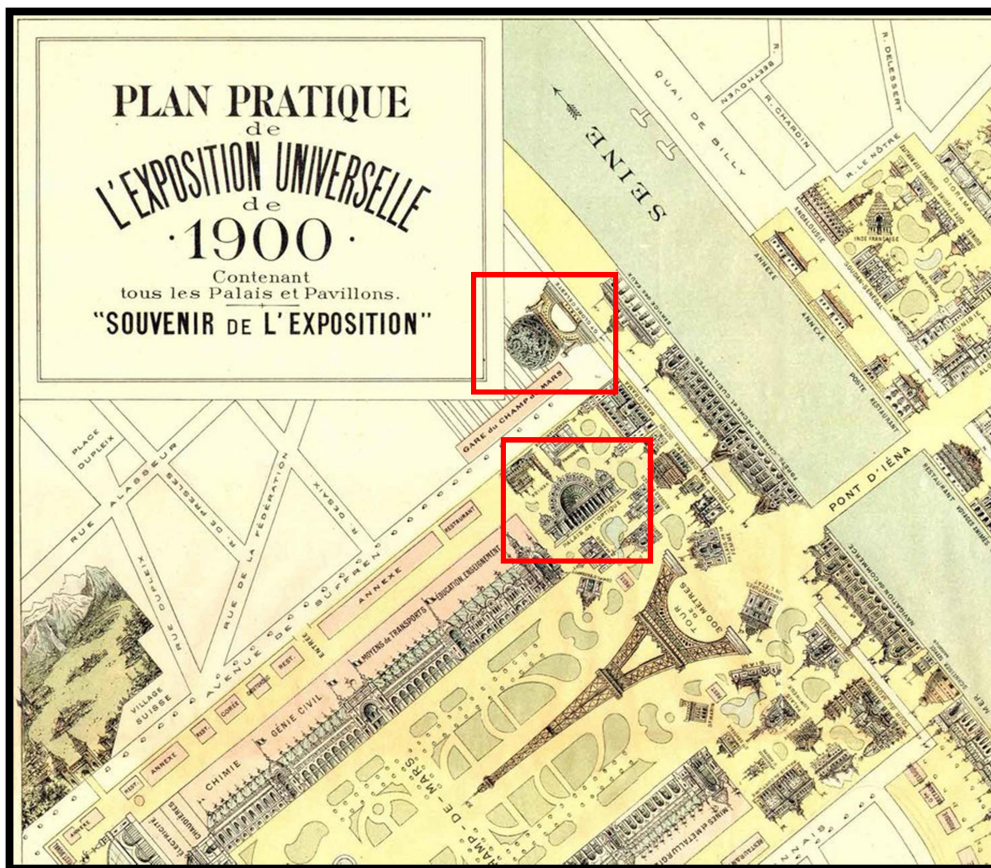


Dos secciones para ideas del proyecto Gordon Strong Automobile Objective de Frank Lloyd Wright.

Exposición Universal de París (1900). Palais de l'optique y Grand Globe Celeste

Hasta ahora hemos visto los principales observatorios científicos de la Era Moderna, sin embargo como cualidad de nuestros tiempos cualquier innovación ha sido adaptada y explotada para el espectáculo.

En cuanto a equipos profesionales se refiere siempre ha sido difícil hacer llegar al gran público lo observado, especialmente antes de la fotografía; los telescopios más modernos siempre han tenido y todavía tienen todas sus horas reservadas para unos pocos ojos profesionales. En la Exposición Universal de París de 1900 la señal de que los tiempos cambiaban se vio en varios proyectos que apostaban por la vulgarización de la astronomía, de un modo muy similar a cómo los primeros cinematógrafos asombraron y asustaron a una nueva clase de personas, los espectadores.

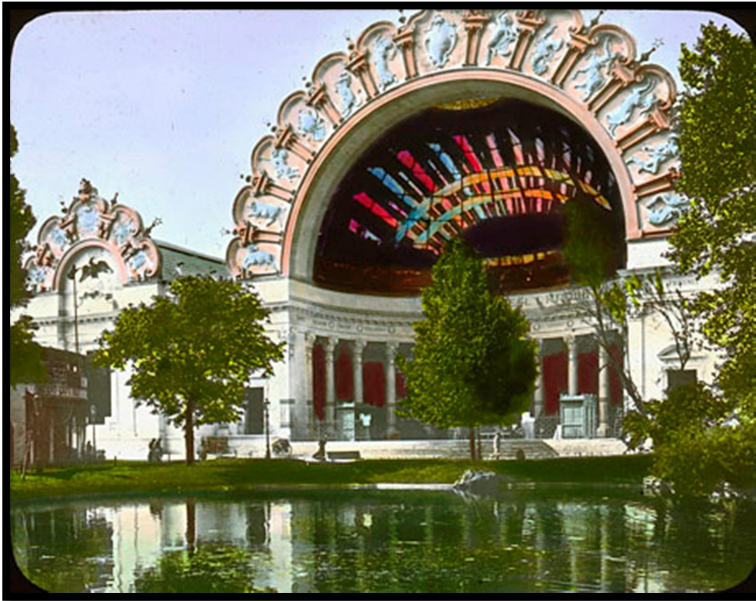


Detalle del plano de la Exposición Universal de 1900: Palais de l'optique y Grand Globe Celeste marcados.

La idea del mayor telescopio refractor de la historia, no superado hasta la fecha, partió supuestamente del orientalista François Deloncle (1856-1922) en 1892, diputado de Francia en la época. Deloncle en realidad nunca propuso la idea, ésta apareció en los diarios franceses a raíz de

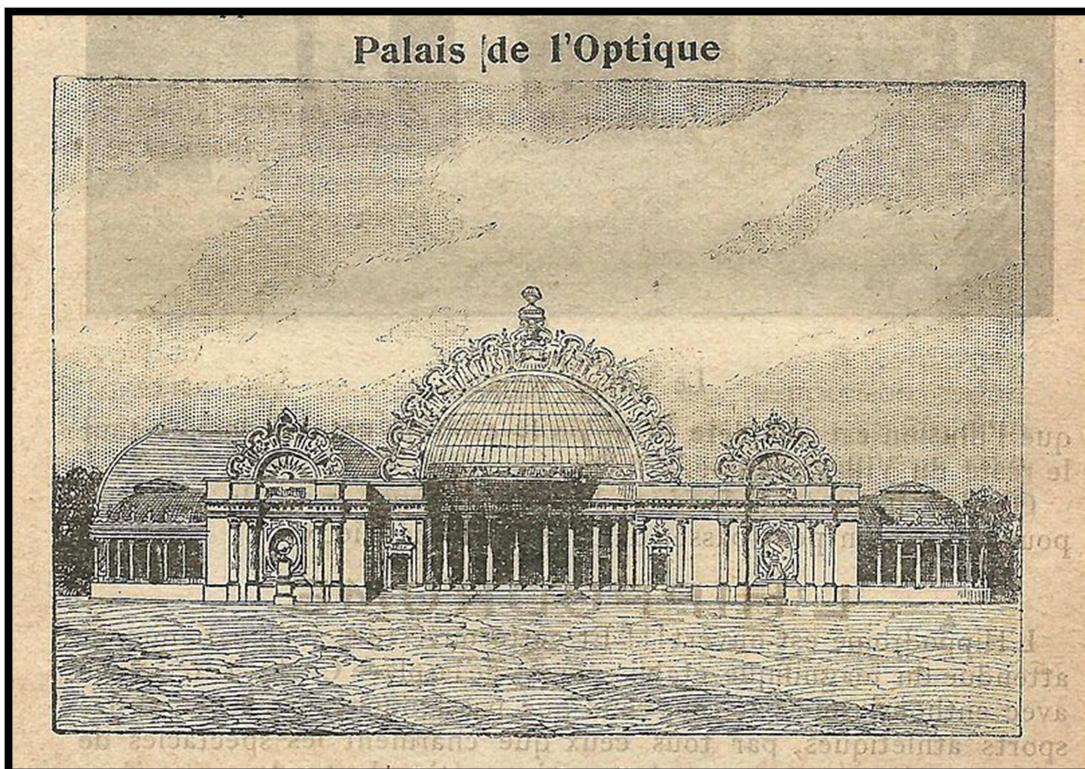
Jesús Carmona Morales

una reunión con industriales y empresarios atribuida a él; con el tiempo la idea se convirtió en un motivo de mofa hacia Deloncle, quien para librarse de aquello promovió realmente el proyecto.

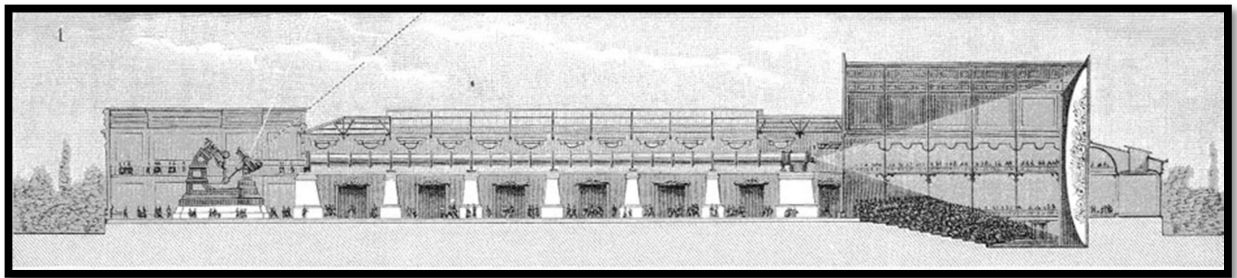


El telescopio estaba instalado en el Palais de L'Optique (Palacio de Óptica), mostrando además de la proyección del telescopio otras invenciones y fotografías en materia astronómica. El palacio con la exposición temporal estaba situado cerca de la Torre Eiffel, fue realizado por el arquitecto Prosper Étienne Bobin (1844-1923). El edificio estaba alineado en dirección Norte – Sur para facilitar el seguimiento mediante el espejo del

sideróstato. El acceso al pabellón se realizaba a través de un lateral donde presentaba una gran semicúpula que conformaba el espacio cubierto del acceso frente a una columnata de orden monumental con decoraciones clásicas.



Alzado lateral del Palacio de Óptica, a la izquierda es posible ver la cubierta de la zona de proyección.



Sección longitudinal del Palacio de Óptica, a la izquierda el sideróstato, en el otro extremo la sala de proyección en grada.

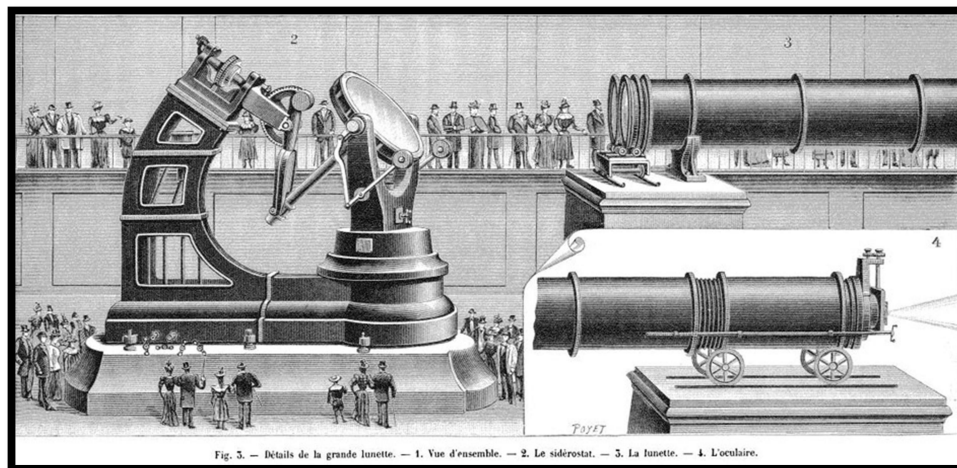
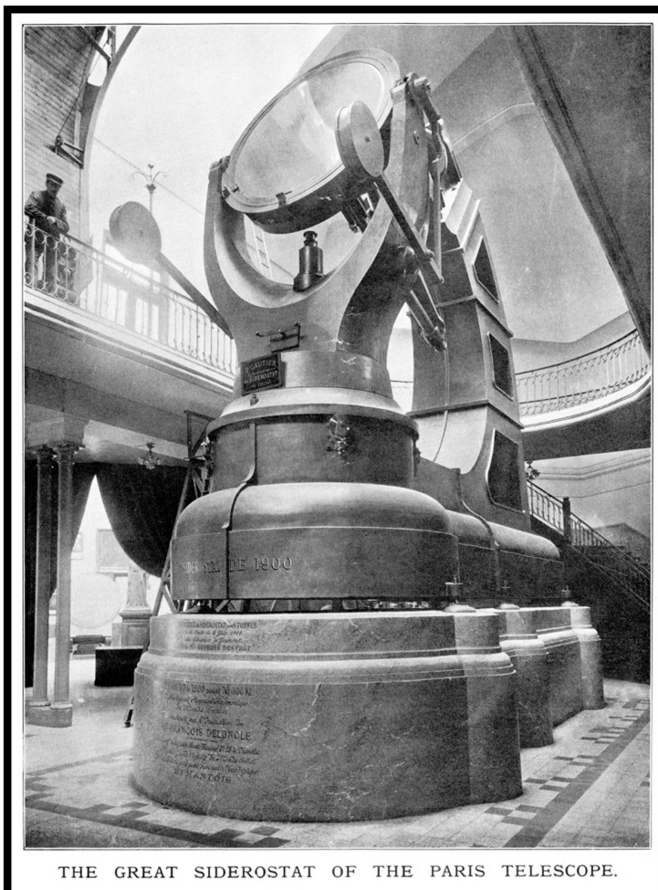


Fig. 3. — Détails de la grande lunette. — 4. Vue d'ensemble. — 2. Le siderostat. — 3. La lunette. — 4. L'oculaire.

Diseños con el sideróstato y el ocular de proyección.



THE GREAT SIDEROSTAT OF THE PARIS TELESCOPE.

Siderostato con el espejo de 2,2 metros de diámetro.

El telescopio estaba situado a 7 metros de altura sostenido por columnas de fundición, el tubo recorría 60 metros desde el sideróstato con el espejo de 2,2 metros hasta la sala de proyección. El sideróstato permitía que el tubo del telescopio recibiera las imágenes sin necesidad de moverse, siguiendo el objeto mediante una montura ecuatorial, una cubierta móvil dejaba el espejo al descubierto para captar la luz. Este sistema ha sido utilizado posteriormente en multitud de telescopios principalmente heliográficos.

El pabellón pretendía mostrar el gran telescopio y su grandeza. Para ello era posible recorrer en planta baja y mediante una galería superior toda la longitud del instrumento que quedaba apoyado a lo largo del recorrido por las columnas mencionadas.



Galería del telescopio con el sideróstato al fondo.



Extremo final del telescopio desde la galería superior, las ruedas de la última sección y un fuelle permitían enfocar la imagen.

El telescopio no tuvo destino tras la exposición universal, fue desmantelado y vendido como chatarra. Las lentes fueron custodiadas por el Observatorio de París, y el proyecto para una cúpula de 64 metros de diámetro para dar una salida profesional al telescopio fue desechado. La compañía que construyó el ingenio cayó en bancarrota.

La Lune a un metre!

En 1898 Georges Melies produjo el corto “La Lune a un metre. The Astronomer’s Dream”, en la película un astrónomo está pensando cómo hacer una mejor observación de la Luna y por malignas influencias una enorme Luna acaba en su estudio devorando todo. El proyecto del Palacio de la Óptica con el mayor refractor de la historia usó el título de Melies como gancho del público en carteles y folletos. Si bien el telescopio podía hacer grandes aumentos la distancia virtual era obviamente exagerada.

Aunque generalmente hablamos de aumentos de un telescopio, el término correcto sería “acercamientos”. Con una sencilla fórmula es posible calcular cuántas veces más cerca está virtualmente la imagen de un objeto celeste en el ocular, para ello necesitamos conocer la distancia focal del instrumento (F telescopio) y la distancia focal del ocular (F ocular) que aplicamos.

Acercamientos de un telescopio: $F_{\text{telescopio}} / F_{\text{ocular}}$

Esta fórmula está limitada por la apertura del telescopio (D) en milímetros, que nos limitará teóricamente el máximo acercamiento que puede realizar la configuración óptica:

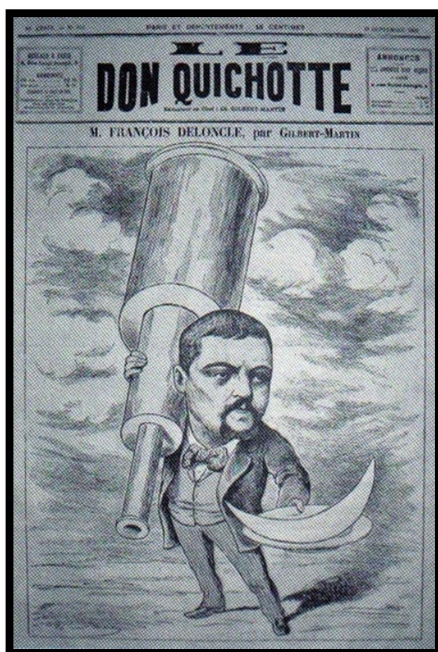
*Acercamientos máximos: $2,3 * D$.*

Si tenemos en cuenta las dimensiones del gran telescopio de la exposición:

- F telescopio: 57 m (el ocular tenía raíles de enfoque de 1,5 metros)
- F ocular: 0,11 m
- D: 1250 mm

Acercamientos: $57/0,11 = 500$

Tomando una distancia media de la Luna de 384400 kilómetros, el acercamiento de 500 veces que el ocular podía realizar daba una imagen de la luna a 769 kilómetros de distancia.



F. Deloncle ridiculizado en la prensa con su telescopio.

Tomando los acercamientos máximos posible del instrumento:

*Acercamientos máximos: $2,3 * 1250\text{mm} = 2875$*

A la distancia media era posible teóricamente observar la Luna a sólo 133 kilómetros de distancia, pero para esto habría sido necesario un ocular de 0,42 metros de distancia focal.

Las observaciones realizadas proyectaban una imagen de la luna o del disco solar de 12 metros de diámetro. Durante el tiempo que estuvo abierto además de las observaciones realizadas para el público en general se hicieron observaciones con carácter científico, dibujos y fotografías de la Luna, las manchas solares y algunas nebulosas. En 1900 un eclipse parcial de Sol fue visible desde París (total en España) el 28 de Mayo, sin embargo no hay registros de su seguimiento desde la exposición

universal.

La realidad final del telescopio fue un fracaso, era difícil obtener una imagen clara y se sumaban diferentes factores ópticos imposibles de corregir por el tamaño del ingenio (desalineación del eje óptico, aberraciones cromáticas y deformaciones de la imagen), por otro lado el ambiente luminoso de la noche de París y la propia iluminación de la exposición contribuyeron a un mal funcionamiento nocturno. Su utilidad científica fue escasa y esta fama influyó en su falta de destino posterior.

El Gran Globo Celeste de la Exposición Universal

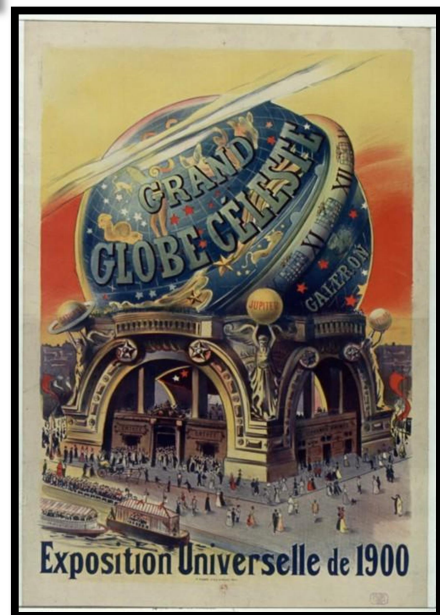
Otra de las atracciones de la exposición rozaba lo que años más tarde sería concebido como el planetario. Cercana a la Torre Eiffel, se instaló una esfera metálica de 45 metros de diámetro, que descansaba sobre un edificio a modo de base de 18 metros de altura con cuatro pilastras monumentales, el "Grand Globe Celeste".



La esfera del Gran Globo Celeste junto a la Torre Eiffel.

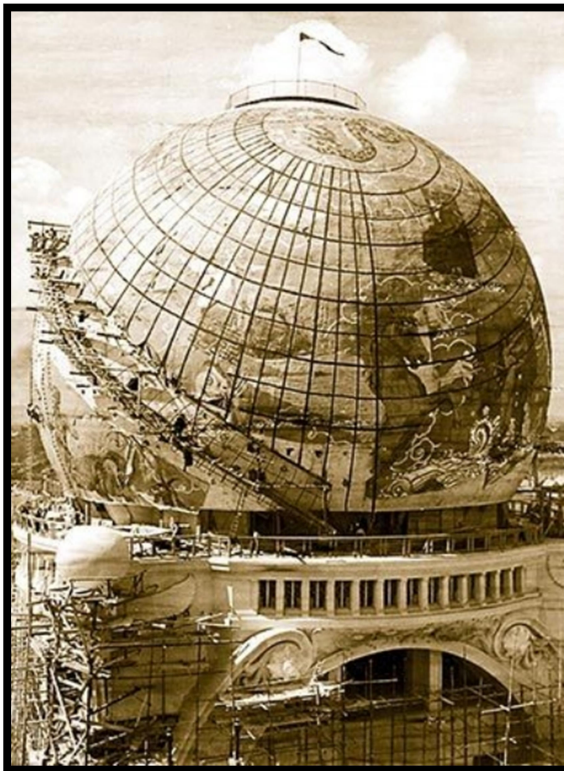
La esfera había sido recubierta exteriormente con papel azul y alguna imagen representando las constelaciones de la bóveda celeste. En el interior se instaló una cafetería, un órgano y varias pasarelas elevadas para observar la esfera desde diferentes perspectivas. En la cara interior se fijaron cristales que eran iluminados con lámparas incandescentes para recrear las estrellas.

La atracción estaba diseñada por Napoléon de Tédesco (1848-1922), un ingeniero francés de origen italiano. Tédesco desarrolló el primer tratado sobre hormigón armado de la historia en 1894 con Edmond Coignet. El edificio que sostenía del Globo Celeste seguía el estilo general de la Exposición Universal, detalles modernistas con influencias orientales y decoraciones vegetales. La base estaba compuesta por arcos monumentales con cuatro figuras femeninas a modo de cariátides aladas que sostenían planetas en cada esquina. Interiormente la base estaba dividida en tres alturas hasta acceder al globo superior.



Poster de la Exposición con el globo como reclamo.

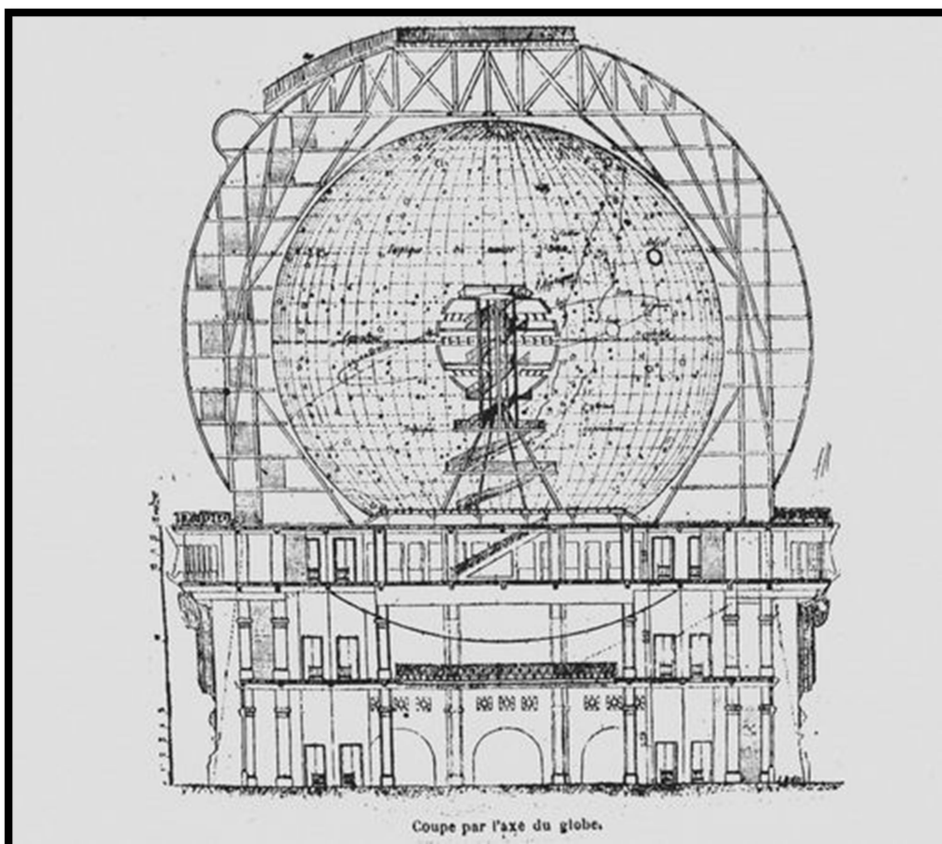
Jesús Carmona Morales



El Grand Globe Celeste en construcción

En el interior del globo, escaleras metálicas permitían acceder a una esfera terrestre con tres alturas interiores para observar la bóveda celeste por ojos de buey desde diferentes latitudes (el cielo y las constelaciones del hemisferio Sur, la latitud de París y el Polo Norte). La estructura interior al globo con las plataformas giraba sobre sí misma cada tres minutos para que los cien visitantes que podía albergar observaran las constelaciones, las fases lunares o en el piso superior el Sol de medianoche.

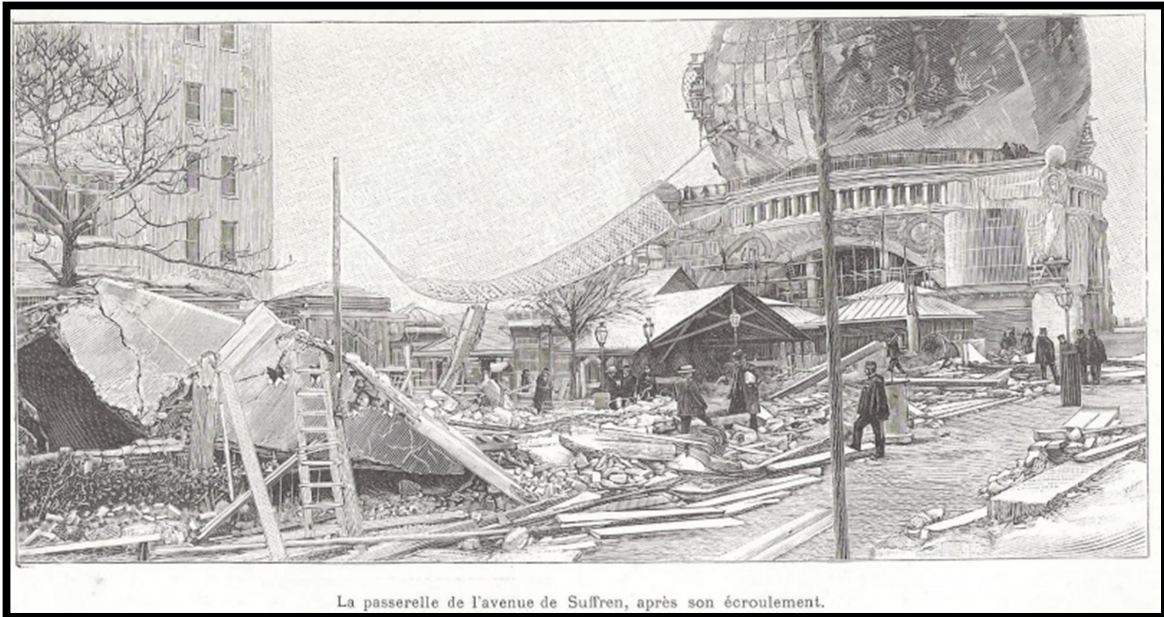
Relacionada con esta atracción sucedió una tragedia que lacró la reputación de Tédesco. Una sección de la pasarela elevada exterior que daba acceso a la atracción, realizada en hormigón armado, colapsó el 29 de Abril de 1900 matando a 9 personas e hiriendo a otras. Los juicios posteriores exoneraron a Tédesco y responsabilizaron a la ciudad por



Sección del Grand Globe Celeste

Jesús Carmona Morales

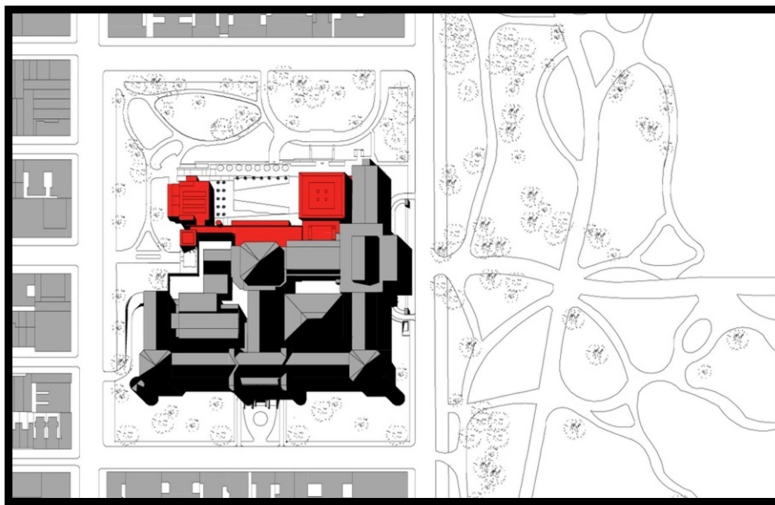
realizar excavaciones cercanas al puente. Como resultado a finales del mismo año se creó la "Commission du ciment armé" para la regulación y control del uso del nuevo material.



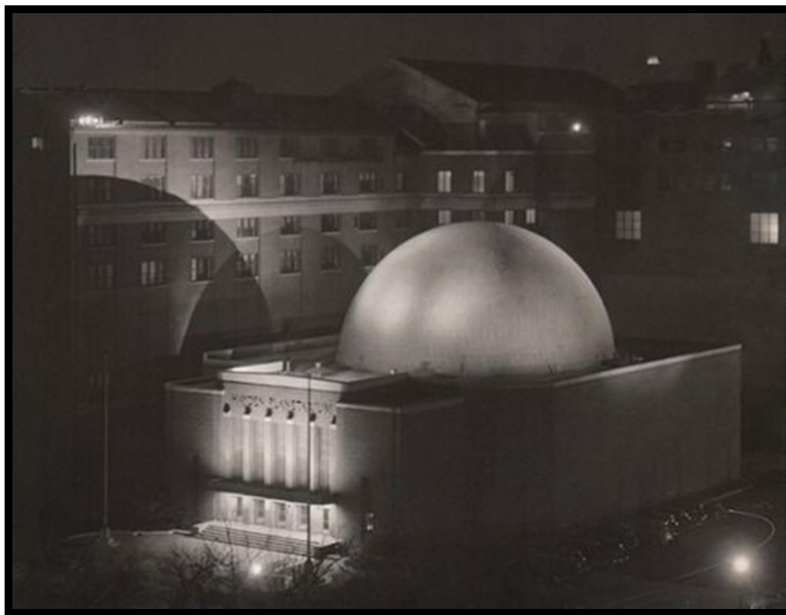
Extracto de una publicación periódica con los restos de la plataforma tras el accidente.

Planetario Hayden, New York (1935, 2000)

El planetario Hayden de Nueva York ha tenido dos etapas, correspondientes a dos edificios que han ostentado el mismo nombre junto con el American Museum of Natural History en West Central Park. La consigna de su fundador fue la de llevar al público: “una más viva y sincera apreciación de la magnitud del universo... y de las cosas maravillosas que suceden diariamente en él”.



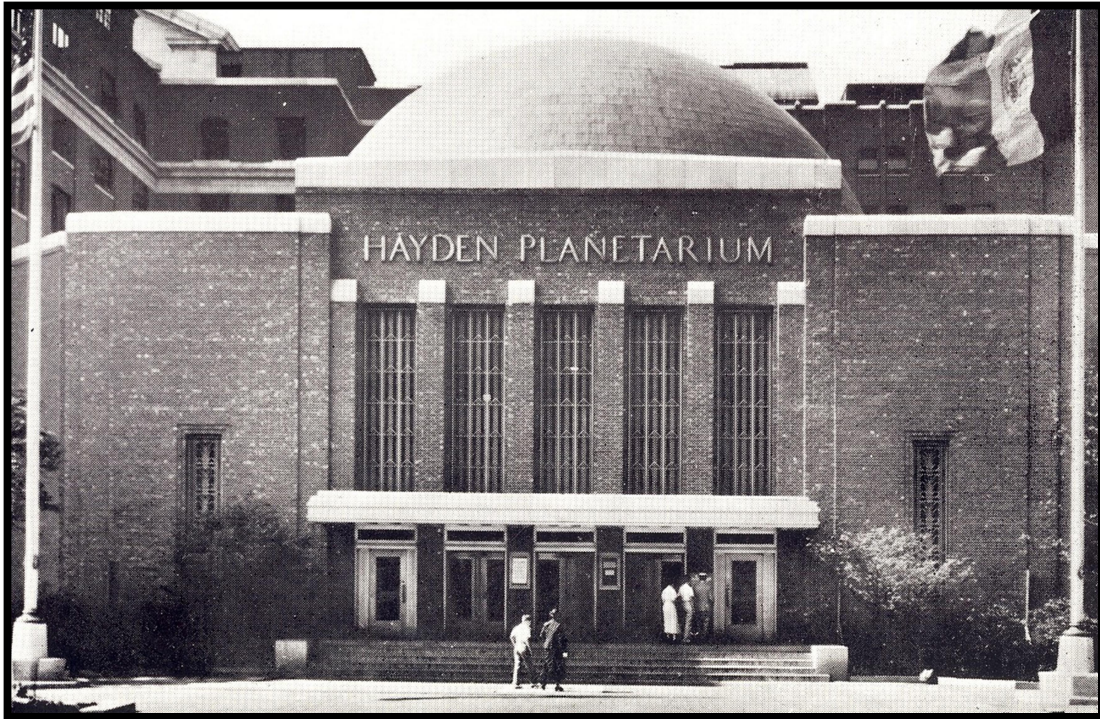
En rojo situación del actual Rose Center for Earth and Space y anteriormente Planetario Hayden en Theodore Roosevelt Park, junto a Central Park.



Vista nocturna del Planetario Hayden con el Museo de Historia Natural al fondo.

En 1933 se fundó la sociedad que construiría el Planetario Hayden, con apoyo del banquero filántropo Charles Hayden (1870-1937), en 1935 el edificio estaría completado. El edificio, fue concebido con un marcado carácter institucional, fue diseñado por Samuel Beck Parkman Trowbridge (1862-1925) y Goodhue Livingston (1867-1951). El edificio de planta rectangular queda abrigado por el Museo Americano de Historia Natural, de mayor altura, siendo su cualidad principal la cúpula de proyección.

El edificio ha estado siempre asociado al American Museum of Natural History en West Central Park, sin embargo ha gozado de una presencia arquitectónica desligada de las instalaciones de este museo como pieza diferenciada y gracias al espacio libre frente a su fachada principal constituido por un anejo de Central Park, el parque Theodore Roosevelt.



Fachada principal del viejo Planetario Hayden

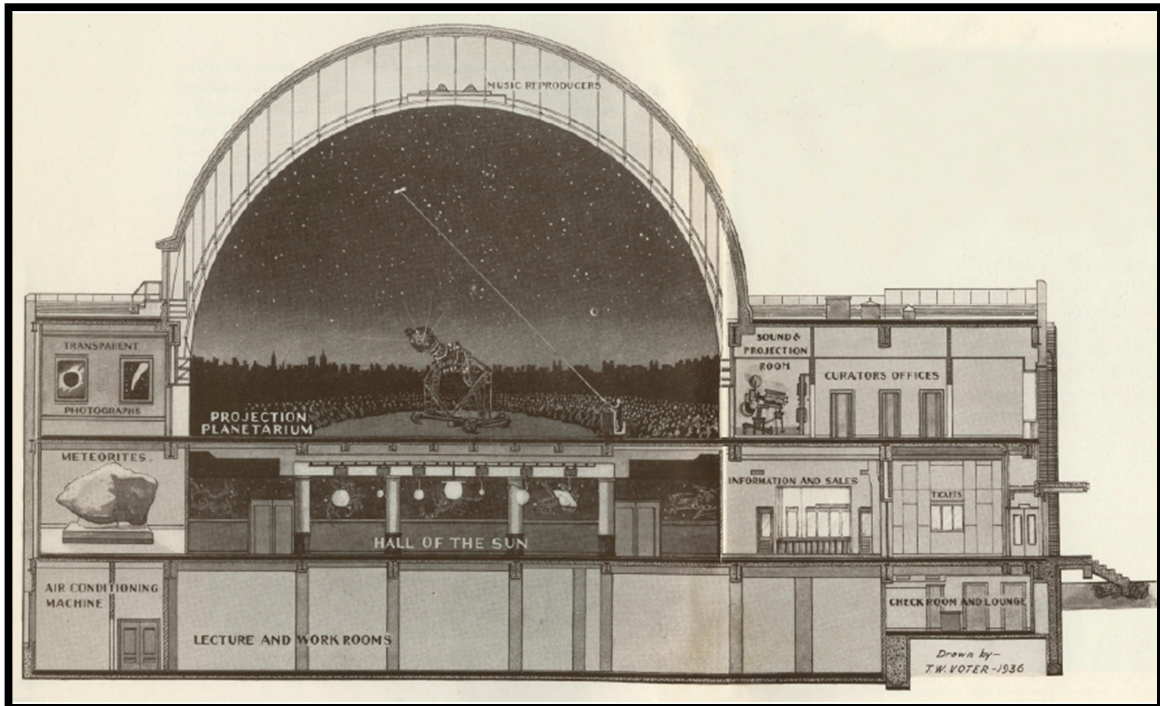
Desde su inauguración el planetario ha desplegado espacios expositivos en torno a la atracción principal, el propio planetario. Siguiendo las consignas de su fundador el planetario poseía además una sala con un telurio mecanizado en el techo, Copernican Room, en la que seis de los nueve planetas conocidos en el momento se movían en sus órbitas entorno al Sol, la mayoría de los planetas poseían a su vez modelos de lunas en órbita en torno a ellos. Aunque los planetas no estaban a escala respecto al Sol o sus órbitas, el movimiento síncrono cada órbita daba una clara idea de movimiento relativo entre estos y su observación desde la Tierra. Los muros de la sala mostraban las constelaciones zodiacales a modo de plano de la eclíptica y en el pavimento un calendario azteca formaba parte de la decoración.



Sesión en la Copernican Room, los planetas se mueven por guías en el techo, suelo y paramentos con decoraciones astronómicas.

Jesús Carmona Morales

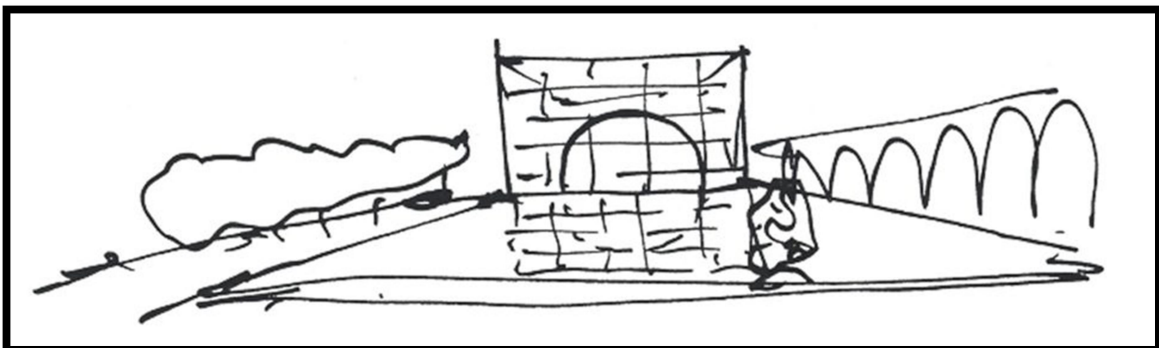
La sala de proyección del planetario contó desde su inauguración con proyectores de última generación de la compañía óptica que inventó el planetario, Carl Zeiss, y de modo paralelo al Observatorio Griffith fue renovando los proyectores a modelos más modernos a lo largo del tiempo. La cúpula de proyecciones está desligada de la cubierta generando un espacio técnico accesible a mantenimiento para ventilaciones del espacio y reproductores de sonido.



Sección del Planetario Hayden, es apreciable la doble cúpula de proyección y de cubierta y la sala del telurio bajo el planetario.

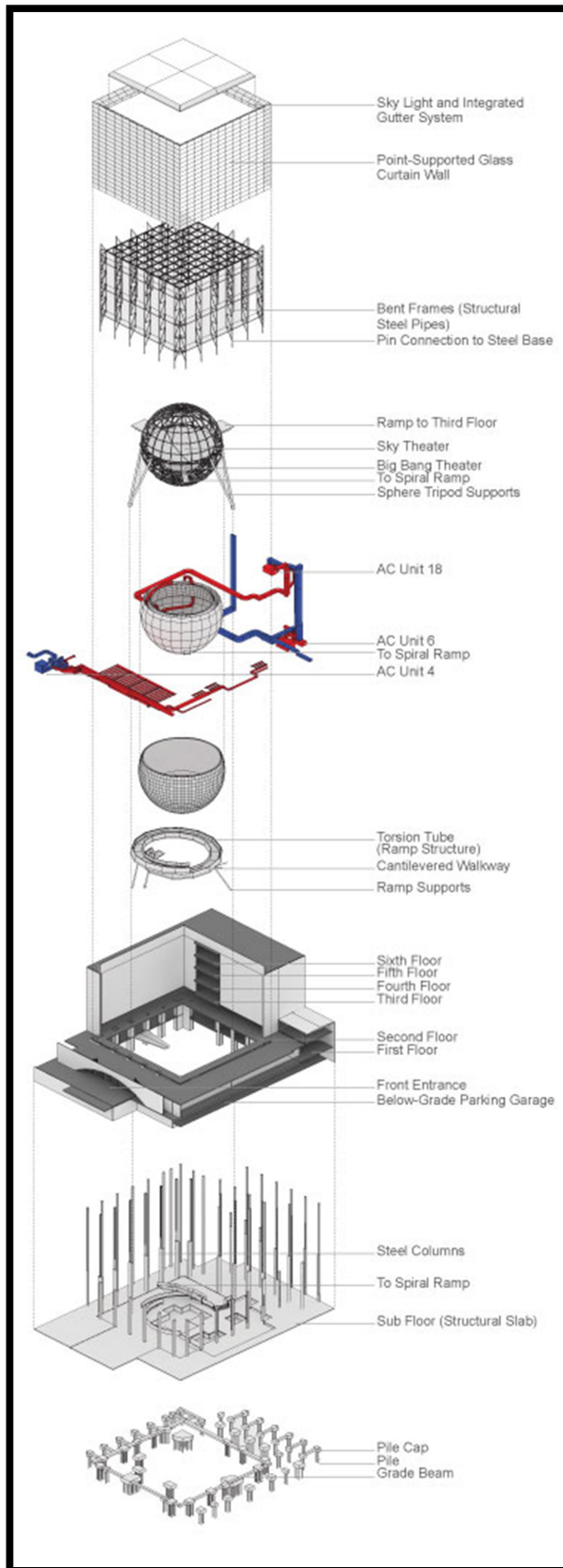
Rose Center for Earth and Space

En 1997 el viejo Planetario Hayden cerró sus puertas y fue demolido para construir el nuevo planetario, diseñado por James Polshek y Todd H. Schliemann. En 2000, el nuevo Planetario Hayden fue inaugurado como Rose Center for Earth and Space, conteniendo el planetario, otras salas de proyección y espacios para exposiciones.



Boceto del nuevo planetario.

Jesús Carmona Morales



Deconstrucción del Rose Center for Earth and Space.

La característica principal del nuevo edificio sería la fuerte presencia de una esfera de 26 metros de diámetro, que contendría el espacio de la exhibición principal, suspendida en una caja de vidrio. Visto en perspectiva con el anterior edificio, la sensación en el tiempo sería que la esfera no se ha modificado y ahora está “liberada” de la anterior envolvente. Los muros cortina de vidrio se apoyan en perfiles metálicos que quedan vistos como parte del estilo Hi-tech del edificio.

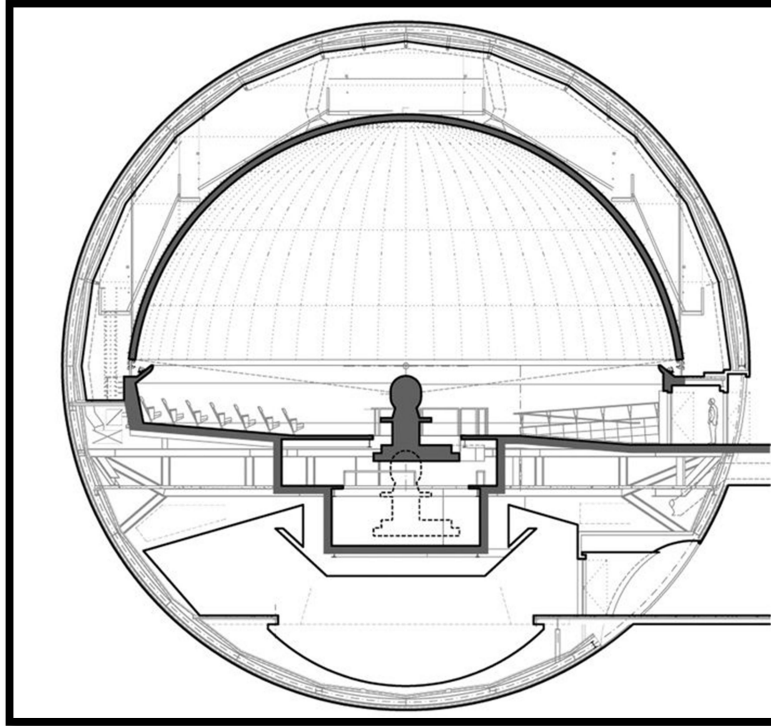
La esfera está sustentada por cuatro pilares dobles, se eleva unos 6 metros del plano del suelo y libera el espacio para otras exposiciones. La configuración de la entrada realza la levitación de la esfera al ocultar mediante un pórtico de piedra exento del edificio los apoyos del planetario. Por otro lado mediante el arco rebajado agranda la escala de toda la caja de vidrio; al paso de este arco la vista se eleva y la escala de la caja aumenta debido a su cercanía. En el interior de la esfera se contienen dos espectáculos independientes el planetario y el Big Bang Theater.

El planetario puede albergar a 490 personas y es sólo la mitad superior del programa incluido en la esfera. El equipo de reproducción del planetario puede retirarse y ocultarse mediante una plataforma elevadora para dejar la sala diáfana para otras actividades.

En la mitad inferior existe una sala de 20 metros de diámetro que circunda una proyección de cine en una pantalla, de 11 metros de diámetro, en la base interior de la esfera relata la historia del nacimiento del universo, desde este espacio se toma una galería helicoidal que envuelve la esfera, Cosmic Pathway, con otras informaciones y se asciende de la parte inferior de la esfera a la superior.

Jesús Carmona Morales

La esfera de 26 metros de diámetro forma parte de una comparación de escalas del sistema solar, siendo la esfera el Sol y otros planetas como Júpiter poseen un diámetro de 2,6 metros, o la Tierra con 24 centímetros.



Sección de la esfera del nuevo Planetario Hayden.



Rose Center for Earth and Space con la Hayden Sphere.

Planetario Galileo Galilei, Buenos Aires (1967)

El planetario Galileo Galilei se ha convertido en un referente dentro de la ciudad de Buenos Aires, así como en un icono de la propia ciudad. El edificio se encuadra dentro del Parque 3 de Febrero, conocido en la ciudad como Bosques de Palermo por encontrarse en este barrio, obra del paisajista francés Charles Thays.



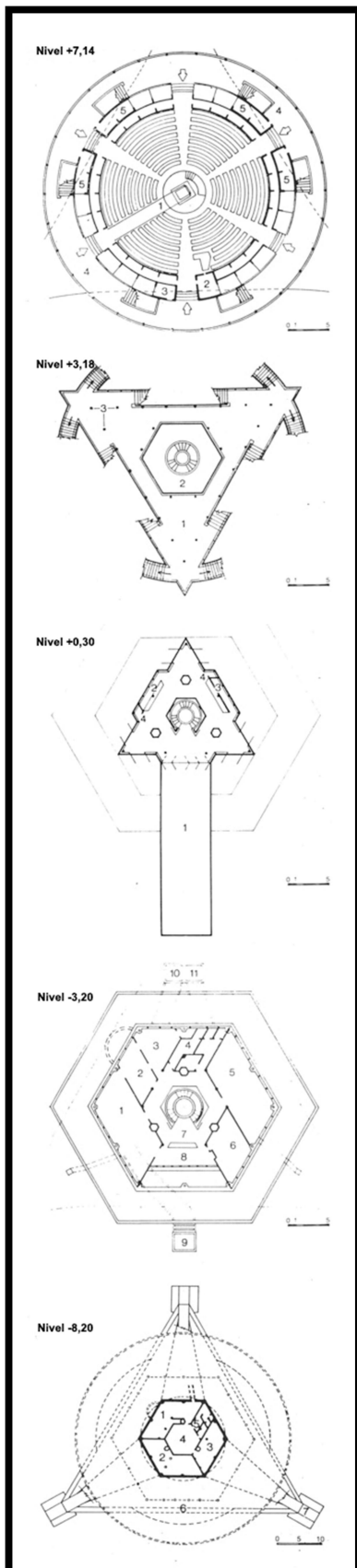
El arquitecto Enrique Jan (1920 -1996) fue el encargado del proyecto y su ejecución desde 1960 hasta su primera proyección en 1967. En el contexto en el que se desarrolló el proyecto bullían en la sociedad los ecos de los descubrimientos y avances tecnológicos de la época, por ello se proyectó un edificio que recogiera estas ideas de los triunfos de la evolución humana plasmados en la arquitectura. En este edificio es posible encontrar referencias a otras arquitecturas de la época dentro de Argentina y en un contexto más amplio en Sudamérica, como la “Capilla de San Pedro” de Paulo Mendes da Rocha en Brasil o anteriormente la “Casa sobre el Arroyo” de Amancio Williams en Argentina. Por el uso de materiales vistos se encuadra dentro de un estilo brutalista, que alardea de la forma y la técnica. El arquitecto comentaba que la geometría y las matemáticas eran el punto de encuentro de la arquitectura y la astronomía, partiendo de aquí planteó un edificio basado en la forma geométrica regular más sencilla, el triángulo equilátero.

Jesús Carmona Morales

El módulo del triángulo equilátero es el que genera la planta principal, así como la disposición regular de los soportes. Desde una planta triangular en el acceso (+0,30m), mediante el puente, se puede ascender por tres grupos de escaleras al nivel +3,18m, de planta triangular, invertida respecto a la inferior, y por otros grupos de escaleras en los vértices del triángulo se accede a la planta +7,14m de la galería-mirador circular y la sala de proyección. Existen dos niveles por debajo de cota, a -3,2m donde se sitúan la administración y la biblioteca del complejo y a 8,2m con instalaciones técnicas y almacenamiento.

El planetario posee un triple casco esférico, dos de ellos conforman la cubierta e instalaciones exteriores y el tercero la pantalla de proyección del planetario. Exteriormente la cúpula está compuesta por elementos prefabricados de hormigón calado donde se insertan los puntos de luz para la iluminación nocturna, la estructura bajo esta capa consiste una cúpula de hormigón armado de 8 centímetros de espesor, esta cúpula salva una luz de 23 metros. Interiormente la tercera semiesfera, separada de las anteriores por una cámara conforma la superficie de proyección del planetario.

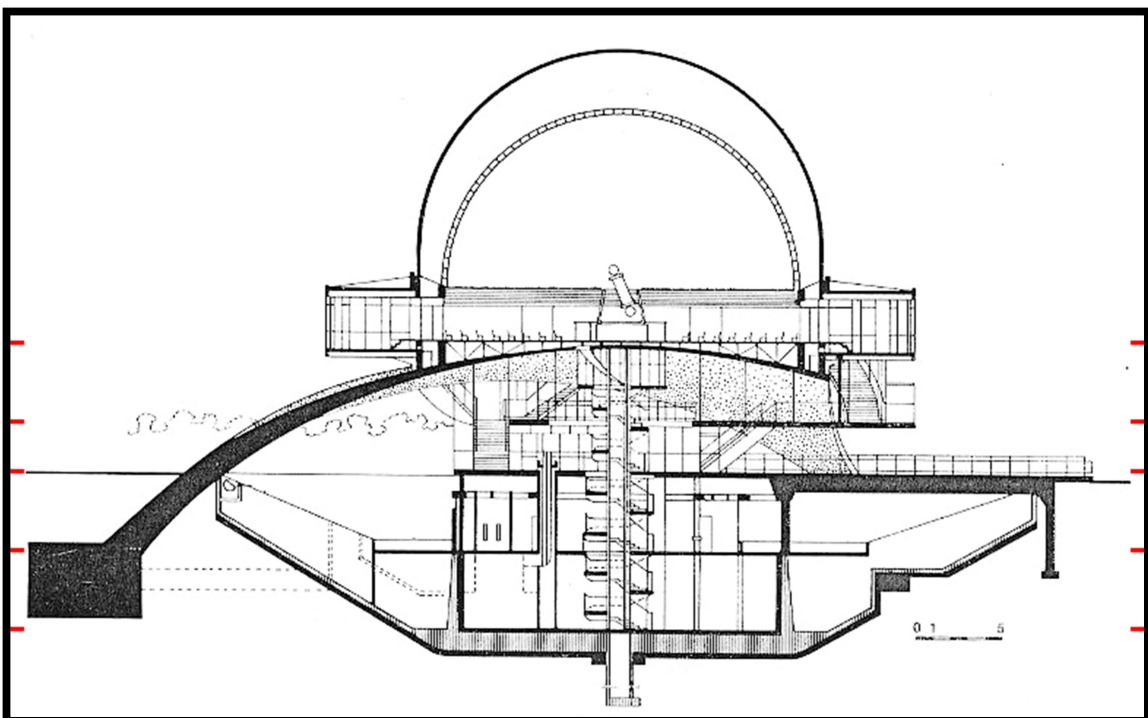
La zona más patente del planetario, además de la cúpula, es la gran galería circular que ejerce de mirador sobre el parque, además es la estructura que queda sobre los extensos apoyos, esta galería se encuentra en torno a la sala de proyección del planetario. Bajo los apoyos y la galería un programa funcional y de servicios queda en cuatro plantas de menor extensión que alcanzan los -8,2 metros sobre la cota del parque (accesos, taquillas, guardarropa, biblioteca,...). Por otro lado todo el edificio, menos el nivel del planetario está interconectado por una escalera helicoidal y un elevador en su centro.



A la izquierda los diferentes niveles, de abajo a arriba, del -8,20 al +7,14. Arriba planetario en construcción.

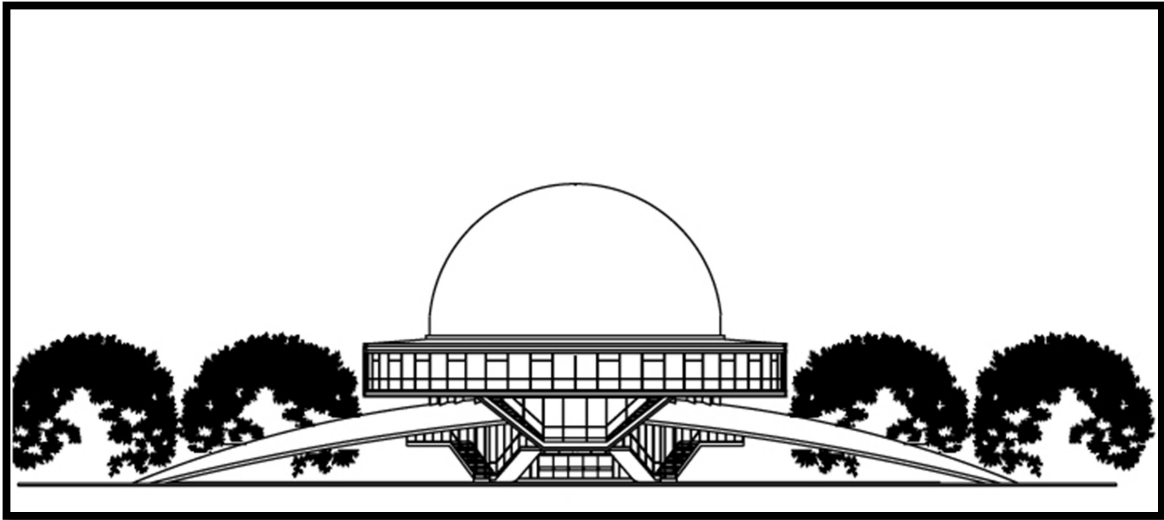


La sala de proyección tiene un capacidad para 360 asistentes. Mediante una piel doble en el círculo que delimita esta sala se generan espacios auxiliares (baños, almacenes de material, cabinas audio y video,...) lo que dota de una transición en la entrada de este espacio y mejora el aislamiento del exterior.



Sección por un apoyo del planetario, marcados en rojo los niveles.

Una de las características más patentes del edificio es su forma de apoyarse sobre el terreno, así como el acceso. Aunque el edificio se apoya directamente sobre el terreno, como hemos mencionado anteriormente existe un foso, a 8,2 metros de profundidad sobre la línea de cota del parque, que oculta el programa auxiliar del planetario. Las patas se extienden hacia el parque doblando la superficie que abarca el planetario y separadas 120º entre sí. La rampa de acceso queda situada entre dos de estos apoyos a modo de puente.



Alzado del planetario.

El edificio posee una fuerte organización en torno a las comunicaciones verticales. Las escaleras están dobladas y triplicadas, en parte por motivos de movimiento colectivo de los usuarios al inicio y final de las proyecciones, organización de los flujos de entrada y salida, pero también para simplificar la circulación ante una planta confusa para el visitante, como suele ocurrir en plantas circulares. Los niveles inferiores se protegen de una excesiva penumbra por encontrarse a cotas inferiores al terreno y bajo el gran sombrero del planetario mediante forjados calados y cubiertos con vidrio para dejar pasar la luz (un ejemplo parecido se encuentra en arquitecturas contemporáneas de Louis Kahn, v.g. Galería de Arte de la Universidad de Yale, New Haven).

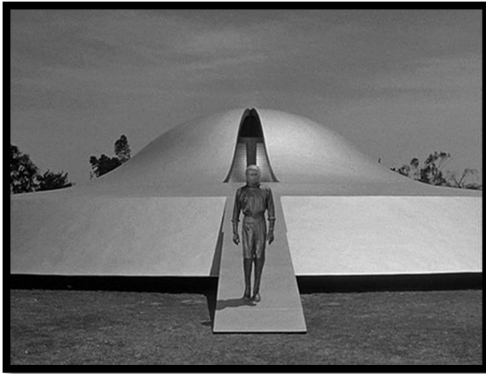


Diferentes escaleras de circulación entre plantas, en la cubierta de la planta inferior es posible apreciar los lucernarios en el forjado de hormigón calado.

Es difícil sustraerse a la imagen, por su morfología y ubicación despejada, de un “platillo volante” de la ciencia ficción clásica que hubiera aterrizado en medio del parque. Sin quitar mérito al

Jesús Carmona Morales

planteamiento geométrico para el delineado del planetario, la imagen de un par de películas no muy anteriores puede recrear parte del imaginario al que nos referimos.



*Ultimátum a la Tierra
(The Day the Earth Stood Still, 1951).*



*Planeta Prohibido
(Forbidden Planet, 1956).*



*Imagen nocturna del planetario con la
nueva iluminación.*

Como en la mayoría de los planetarios que todavía funcionan la renovación de instalaciones, principalmente de los sistemas de proyección, es un punto clave para la atracción de público. El planetario Galileo Galilei ha actualizado su proyector en diferentes ocasiones, la última con la renovación total de las sala de proyección con un proyector Megastar II y sistemas de proyección 8K full-dome. La renovación alcanzó a la superficie de la cúpula de proyección y las butacas, cambiando estas últimas con incorporaciones 4D. Exteriormente la cúpula reemplazó la iluminación nocturna de lámparas de xenón por leds de menor consumo.

Cité des sciences et de l'industrie. Paris (1986)

Como uno de los elementos constituyentes del Parc de la Villette, el espacio Cité des sciences et de l'industrie (Ciudad de la ciencia y de la industria), es uno de los primeros referentes de los museos de ciencia modernos, en el que se han basado posteriormente muchos otros como la reforma del de principios del siglo XXI del Planetario Hayden de Nueva York o la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia.

La Ciudad de la ciencia y la industria fue un proyecto promovido por el presidente de la República de Francia, Valéry Giscard d'Estaing (1926) con la intención de crear un espacio para todo el público, pero pensando especialmente en los más jóvenes, que les acercara la ciencia y la técnica. En el momento de la ideación del proyecto el distrito XIX de París estaba por sufrir una remodelación que reconvertiría los grandes espacios de los antiguos mataderos y el mercado de ganado en un espacio público cuyo concurso sin embargo llegaría dos años más tarde.



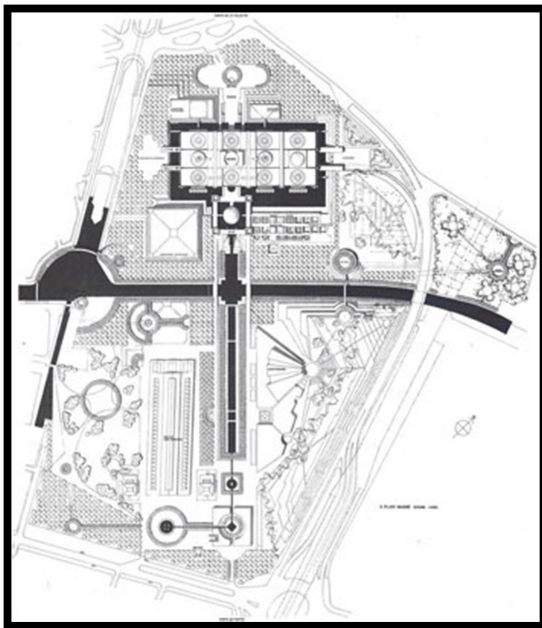
Antiguos mataderos frente al canal de l'Ourcq. La estructura de la derecha se conservaría para el museo.

Los mataderos y el mercado de ganado que ocupaban la zona iban a construir una gran sala de ventas de cabezas de ganado a mitad de los setenta, sin embargo el gobierno francés detuvo la operación una vez que esta había empezado pensando reconvertir la zona y desplazar la actividad a un lugar más alejado del núcleo en expansión de la ciudad. El arquitecto Roger Taillibert propuso en 1977 la realización de un “museo de ciencias” aprovechando las estructuras ya construidas.

Jesús Carmona Morales

Pero no fue hasta 1980 cuando se comisionó al arquitecto Adrien Fainsilber (1932) que ideara los espacios del nuevo complejo.

Fainsilber realizó un proyecto que conservaba tres cuartas partes del gran espacio cubierto que conformaban los hangares de los mataderos preexistentes sin terminar. Eliminó todas las construcciones menores dejando el gran espacio soportado por 20 pilones de hormigón (5 en fachada y 4 en profundidad) recubiertos de piedra de granito; a su vez se conservaron las vigas trianguladas que fueron pintadas de azul. Partiendo de aquí hubo que adecuar el edificio a multitud de espacios que originalmente no estaban considerados así (circulaciones, salidas de emergencia, servicios,...).



Plano general del proyecto para el parque con el museo en el Norte.

En el exterior las fachadas están compuestas, además de por los pilones originales, de muros cortina y superficies de aluminio. Todo el edificio se apoya sobre estanques que realzan su tamaño y en diferentes momentos ofrecen reflexiones del mismo. La fachada Norte es más opaca por la situación de los espacios expositivos, mientras que la Sur se dota de “invernaderos” que introducen luz en el conjunto. En el interior con el fin de optimizar los grandes espacios frente a las necesidades técnicas del edificio, se creó un nivel técnico no accesible al público donde se concentran las instalaciones de aire, agua, electricidad y especialmente antiincendios. Este nivel, situado entre la planta de acceso y el primer nivel público del complejo, está especialmente pensado para el uso de los bomberos conectándose a diferentes comunicaciones verticales sin intervenir con los espacios expositivos o de transición del museo.

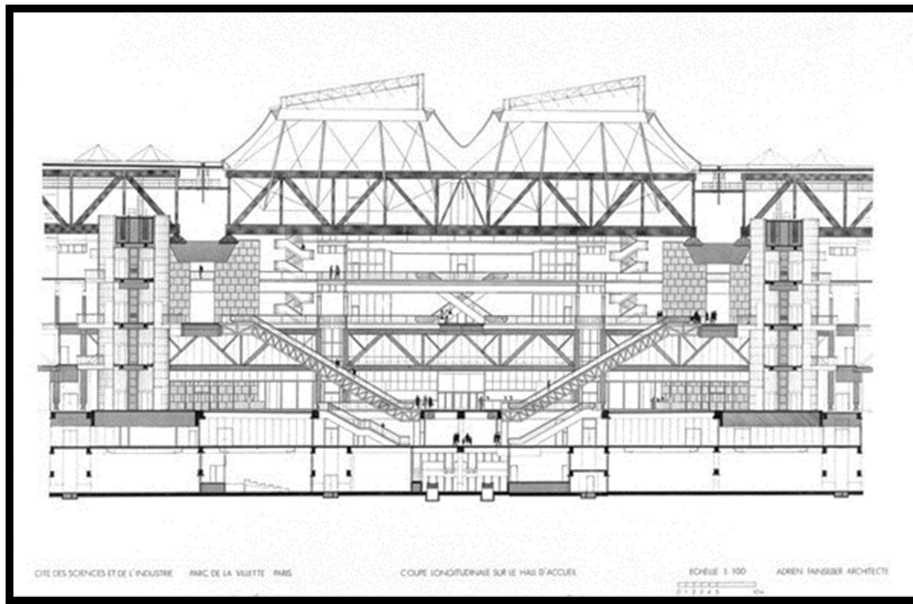
El último “cuarto” de la superficie cubierta del previsto mercado, entre las dos últimas pilonas al Este, no pertenece al museo, sino que alberga un centro comercial, de ahí que la entrada al museo quede centrada en la fachada que pertenece al propio museo.



Simulaciones virtuales de la Cité fachada Norte (arriba) y fachada Sur (abajo).

El vestíbulo principal queda situado entre la segunda y la tercera pila desde el Oeste, enmarcado por las pasarelas elevadas de acceso, dando cierta asimetría al conjunto. En este espacio aparecen grandes escaleras mecánicas que distribuyen las diferentes zonas de exposición; para dar luz natural al hall, además de las fachadas translúcidas o transparentes, se encuentran dos lucernarios de 17 metros de diámetro que introducen la claridad natural en la estructura.

En el verano de 2015 la Cité sufrió un incendio que dañó parte del edificio y obligando posteriormente a su cierre total temporal, sin embargo en otoño de ese mismo año más de la mitad del museo reabrió funcionalmente.

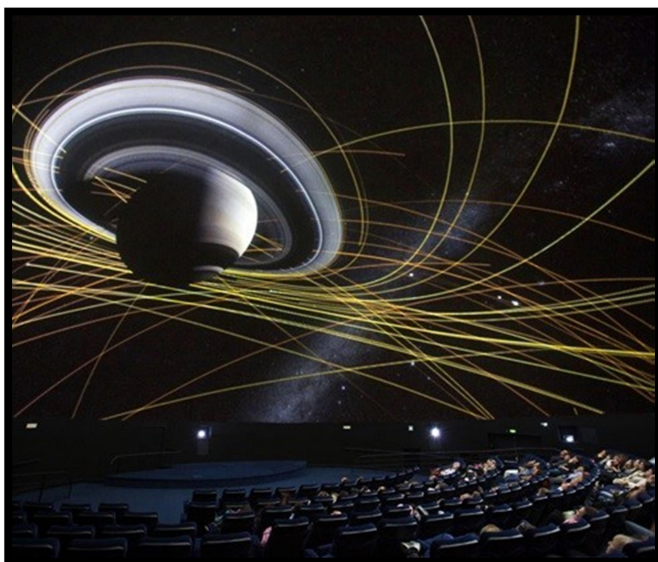


Sección longitudinal, zona del vestíbulo.

El Planetarium y la Géode

Existen dos espacios de la Cité que señalaremos relacionados con la temática que nos ocupa. Uno de ellos queda incluido dentro del propio edificio, el planetario del museo; y otro está situado frente al acceso principal Sur, La Géode.

El planetario de la Cité es casi anecdótico dentro del tamaño total del complejo, aun así su diámetro cubre los 21,5 metros y puede albergar hasta 265 espectadores. Está situado en la esquina Suroeste del complejo en el segundo nivel; cuenta con un proyector digital RSA Cosmos InSpaceSystem Real 8K y con diferentes programaciones.



Interior del planetario de la Cité de sciences et l'industrie.

Fuera de la temática del planetario otra estructura del parque, ya en el exterior del museo, pero relacionado con este mediante las pasarelas de la fachada principal está La Géode. Esta construcción esférica de 36 metros de diámetro exterior abriga un cine de tipo IMAX de 400 plazas. Fue diseñada por el mismo arquitecto que la Cité, Adrian Fainsilber, y por el ingeniero Gérard Chamaillou. Su característica externa más notable es su superficie de acero, el efecto espejo de este material fue conseguido mediante un pulido del metal.

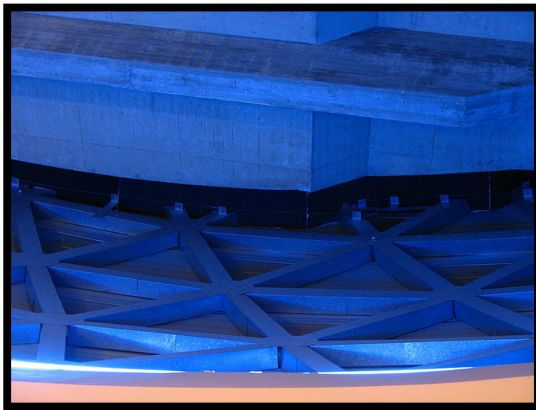
Jesús Carmona Morales

Está conformada por 6433 triángulos equiláteros montados sobre una estructura esférica de 2580 tubos metálicos apoyada en un gran cajón de hormigón armado. El diseño de la estructura metálica alcanzó una alta precisión para el ensamblaje de los tubos de hasta tres décimas de milímetro.



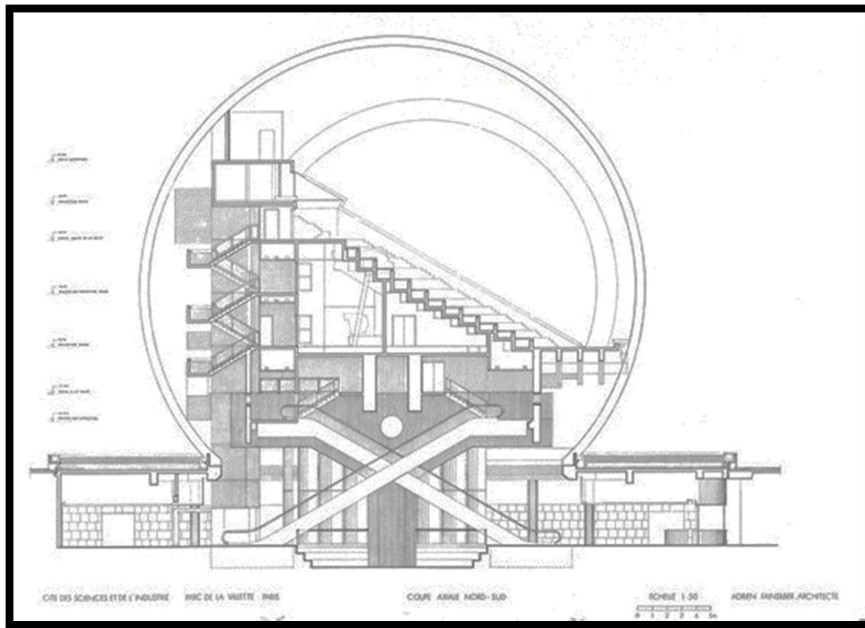
Estructura en construcción y detalle de los tubos y los nudos.

La forma esférica fue conseguida a través del planteamiento de un icosaedro en el que sus caras fueron divididas en 10 partes y deformadas para conseguir la esfericidad y la tangencia necesarias con sus caras vecinas para conformar la esfera. Su estructura se basa en el principio de tensegridad de las cúpulas geodésicas en las que el todo es resistente mediante equilibrio de tensiones y compresiones de sus elementos.



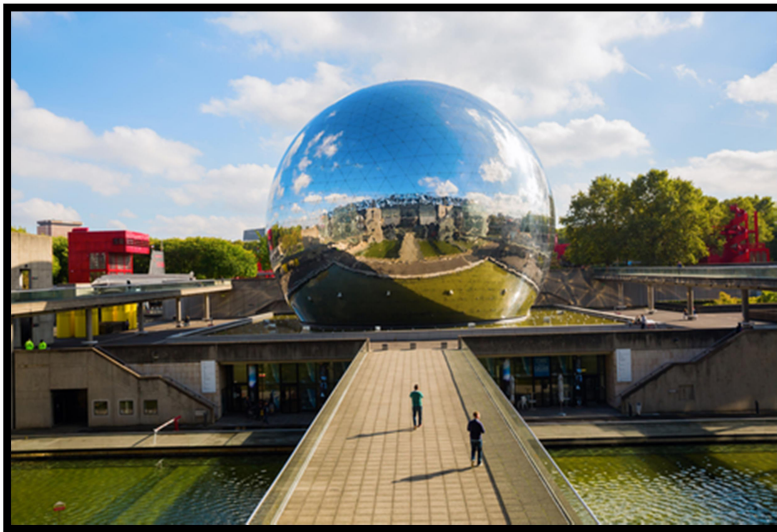
Detalle de la estructura interna y su unión inferior al pilar de hormigón, todos los tubos está protegidos por carcassas de aluminio. Interior de la sala de proyección.

La cúpula de proyección está descentrada del armazón y la cúpula exteriores para albergar las comunicaciones verticales, donde se sitúan los elementos estructurales que soportan el conjunto. La sala de proyección interior posee un diámetro de 26 metros, y como la mayoría de los cines IMAX la pantalla abarca más allá de los 180° de proyección horizontal.



Sección principal de la Géode.

Fainsilber siempre contó con la Géode situada en el exterior del edificio, sin embargo en diferentes momentos del proyecto fue reubicada en el hall principal de la Cité, donde sus efectos de reflexión y tamaño habrían quedado sensiblemente mermados. Finalmente fue construida en el exterior e inaugurada en 1985.



Pasarela a la Géode desde el museo.

Le Parc de la Villette

Hacemos un inciso final sobre el gran contenedor de estos complejos, el Parque de la Villette. Como ya se ha comentado el parque fue el producto de una operación de reconversión de espacios para la ciudad de París. Aunque el museo de la Cité y la Géode fueron encargados a Fainsilber, el diseño del parque fue el resultado de un amplio concurso público finalmente ganado por el arquitecto suizo Bernard Tschumi. Dentro del parque existen otras estructuras mayores nuevas y restauradas. De nueva construcción en la zona Sur se encuentra la “Cité de la Musique” (en contraste con la ciudad de la ciencia” en el Norte), realizada por Christian de Portzamparc; mientras que en la zona central quedan las estructuras de acero y vidrio de los antiguos mataderos del siglo XIX, la grande halle de la Villette, reacondicionados como espacios culturales de la ciudad.



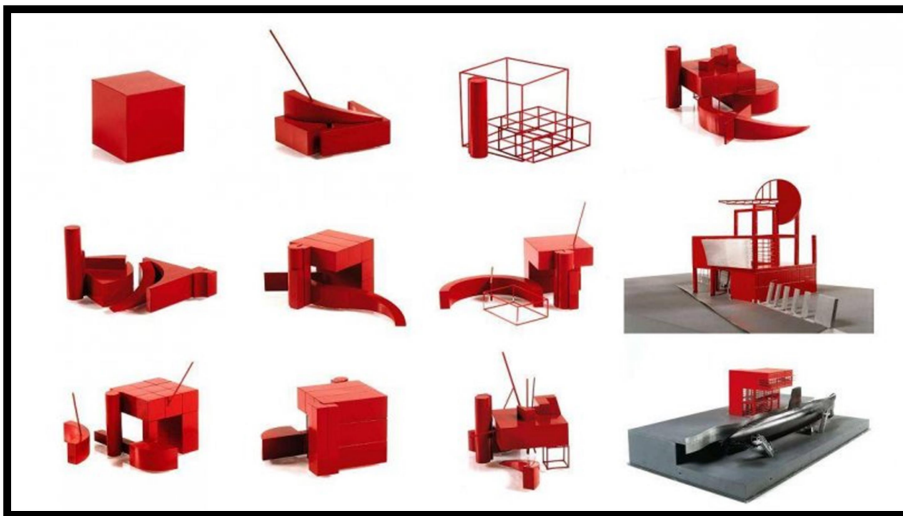
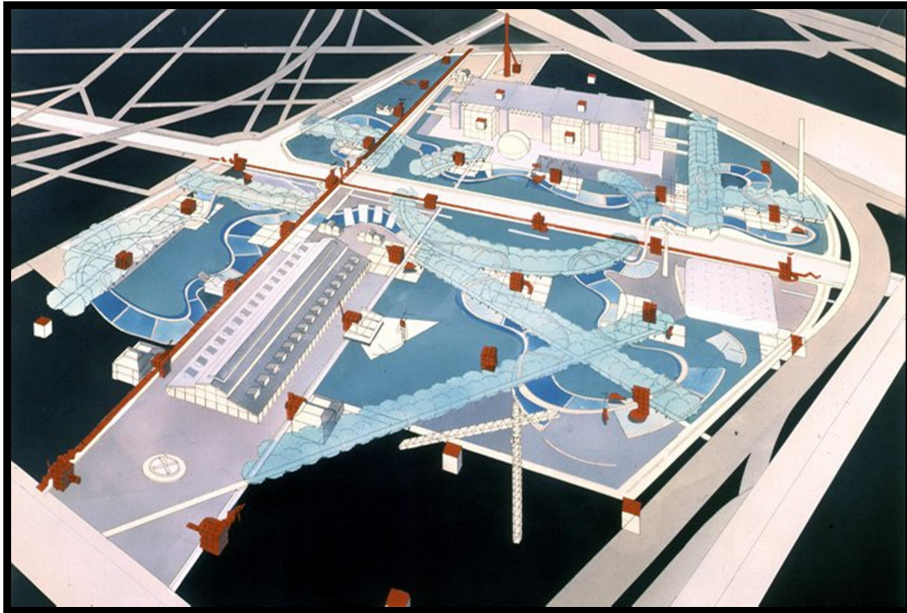
Cité de la Musique y la grande halle de la Villette.

El conjunto del parque queda ordenado por un claro eje Norte-Sur que parte de la Cité des sciences y acaba en la Cité de la Musique, a su vez la preexistencia del Canal de l’Ourcq divide el parque en dos mitades casi idénticas a lo largo de un eje Este-Oeste. La unidad del conjunto se realiza a través de los caminos, pasarelas y jardines y queda reforzada gracias a las “folies” (locuras, caprichos), diferentes estructuras de color rojo intenso que contrastan con el verde de los espacios públicos. La idea de estas estructuras y su nombre vienen de los pequeños pabellones que salpicaban los jardines del siglo XIX. El uso que hace Tschumi en el parque sigue ligeramente este concepto aunque su intención es la de unir todo el parque mediante referencias visuales. Las folies se sitúan cada 100 metros conformando una retícula, cada estructura alberga un uso distinto

Los observatorios astronómicos en la arquitectura

Jesús Carmona Morales

(cafetería, guardería, puesto de información o de socorro,...) o ninguno, quedando como elemento escultórico. Están realizadas en hormigón y recubiertas de placas metálicas lacadas en rojo. Cada "folie" está limitada a un cubo virtual de 10,8 metros de lado, puede ocupar todo el volumen o no, se sitúan a lo largo de la cuadrícula mencionada sin importar la cercanía a edificios, pasarelas o láminas de agua.

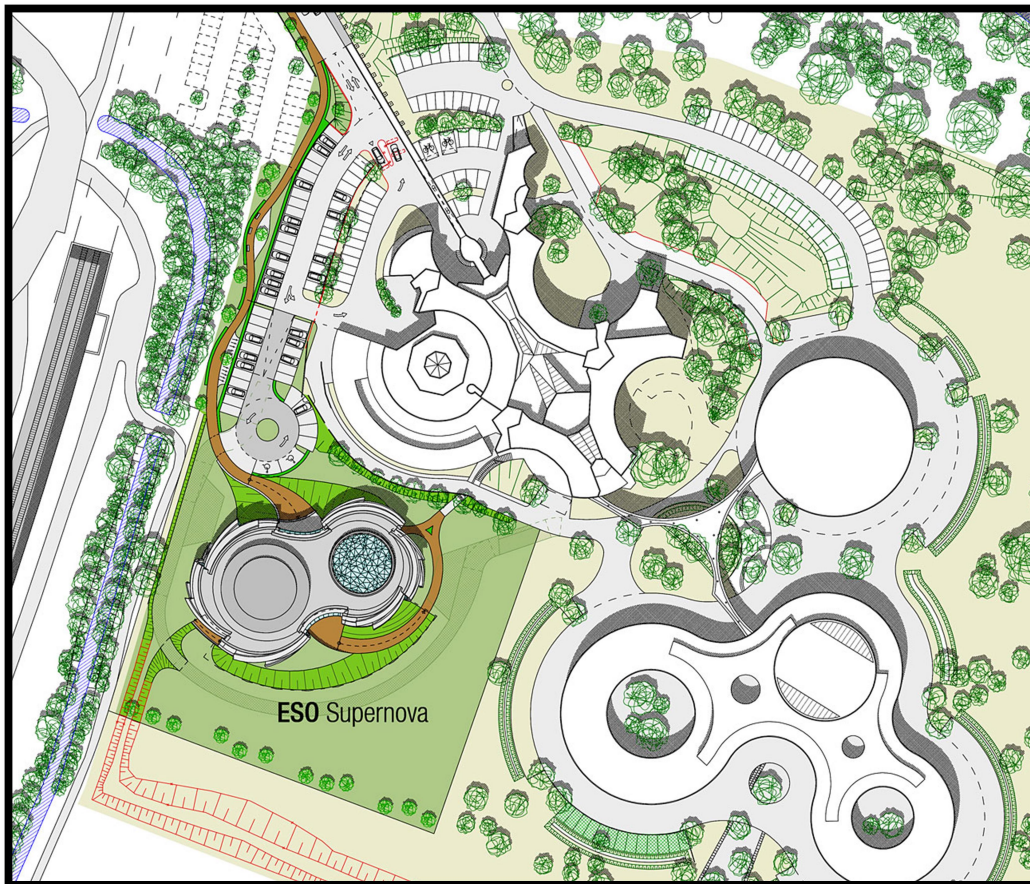


Situación de las "folies" lo largo del parque (arriba) y diferentes modelos (abajo).

Complejo ESO Supernova, Garching (2013)

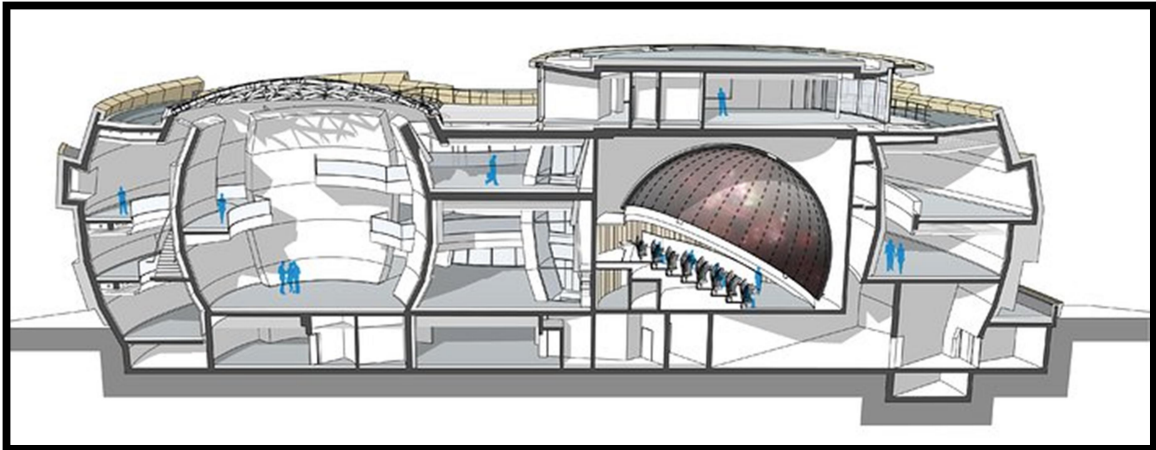
Las oficinas centrales del ESO (European Southern Observatory) en Garching bei München (Alemania) forman un complejo de edificaciones donde se administran y controlan los observatorios de la red europea austral de observación del cielo. Recientemente estas instalaciones se han dotado de un nuevo pabellón, en este caso, destinado al público.

El nuevo edificio “ESO Supernova Planetarium & Visitor Center” fue promovido a través de una donación de la fundación Klaus Tschira y diseñado por el estudio de arquitectura Bernhardt + Partner (Architekten Bernhardt + Partner).



Planta general del ESO en Garching, destacado ESO Supernova sobre el resto de oficinas.

El complejo fue concebido como un espacio bilobulado a modo de un sistema estelar binario, en rotación uno astro en torno al otro; cada “estrella” estaría representada por los centros de cada lóbulo donde espacios esféricos o sensiblemente esféricos articulan el edificio. Uno de los espacios corresponde a un vacío donde los diferentes niveles se vuelcan y cubierto con un lucernario casco esférico. El otro centro está ocupado por el planetario. Ambos centros quedan relacionados por el hall de acceso y control de entrada en la intersección.



Sección longitudinal de ESO Supernova.

El concepto del proyecto y de ahí también su nombre se basa en el tipo de supernova Ia, en el que dos estrellas cercanas, una de mayor tamaño y edad (gigante roja, generalmente) aporta material a otra joven y de menor tamaño, enana blanca. El aporte de material, acreción, se da hasta que la enana blanca alcanza una masa crítica e inicia un nuevo estado de fusión con el consecuente aumento del brillo. Desde la Tierra este fenómeno se atribuyó a “estrellas nuevas”, pues antes eran invisibles a ojo desnudo. El tipo Ia es el más frecuente y estudiado, además es utilizado para medir las distancias a otras galaxias pues el brillo en el momento de la explosión está muy medido y es bien conocido, ayudando despejar la incógnita de la distancia. El proyecto del edificio figura el estadio de ambas estrellas en la fase de intercambio de material.



Infografía del proyecto ESO Supernova



Estado actual finalizado (fachada de acceso)

La construcción del edificio fue realizada con muros de hormigón armado de geometría compleja. Los encofrados para hormigonar la geometría del edificio eran preparados en taller y montados en obra. La estructura portante redonda en la idea de dos elementos contrapuestos unidos por gravedad y “en movimiento” uno en torno a otro gracias a la circulación y los flujos y por detalles realizados en los revestimientos, donde podemos apreciar pliegues que inician circulaciones en espiral en torno las “esferas”. Esta organización redonda en la representación las corrientes de material de una “estrella” a la otra.



Construcción de ESO Supernova.



Placa de encofrado en montaje en el taller. Estructura en construcción con las placas de encofrado.

La esfera Este se caracteriza por ser un espacio vacío en el que los usos y las circulaciones que lo circundan tienen una visión directa en momentos del recorrido sobre este.

La esfera Oeste alberga el planetario, con una capacidad de 109 espectadores. El diámetro de la sala es de 14 metros, sin embargo difiere de los planetarios al uso al presentar una pantalla de proyección inclinada. Este tipo de pantallas no cubren toda la cúpula del planetario, la pantalla parte desde la horizontal hasta el cenit abarcando 180° tanto en la horizontal como en la vertical, ofreciendo una sensación de envolvente o inmersión en la imagen. Estas pantallas son una sinergia con el tipo de sala de cine IMAX, formato de proyección de cine de alta definición sobre pantallas de casco esférico, sin embargo este sistema no cubre tantos grados en la vertical. Este tipo de salas ofrecen ventajas de comodidad del espectador al no necesitar butacas de gran inclinación o favorecer la visión desde unas zonas de la sala frente a otras según la proyección. En detrimento la experiencia de bóveda celeste queda disminuida. Asimismo el centro de la sala no queda ocupado por el proyector de estrellas hacia donde se dirigirían radialmente todas las butacas, sino que todas estas tienen la dirección hacia la pantalla.

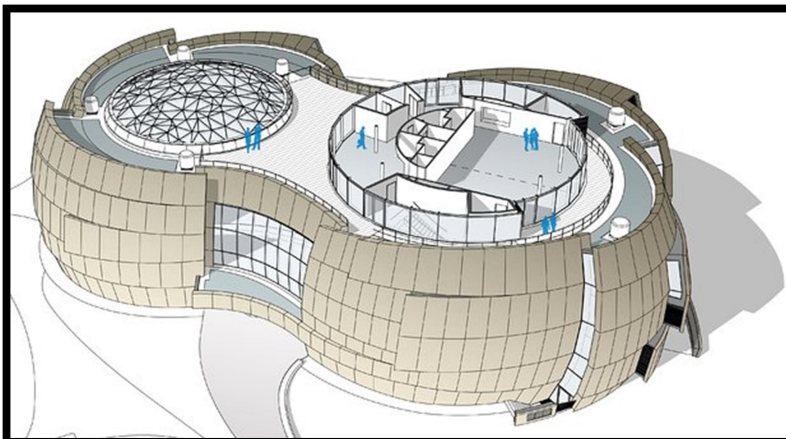
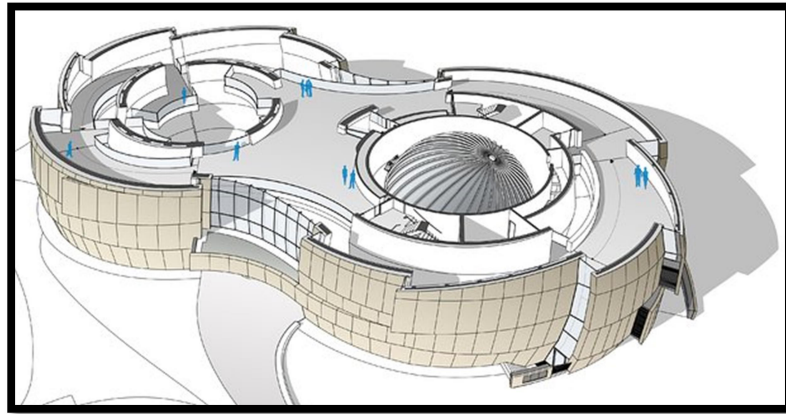
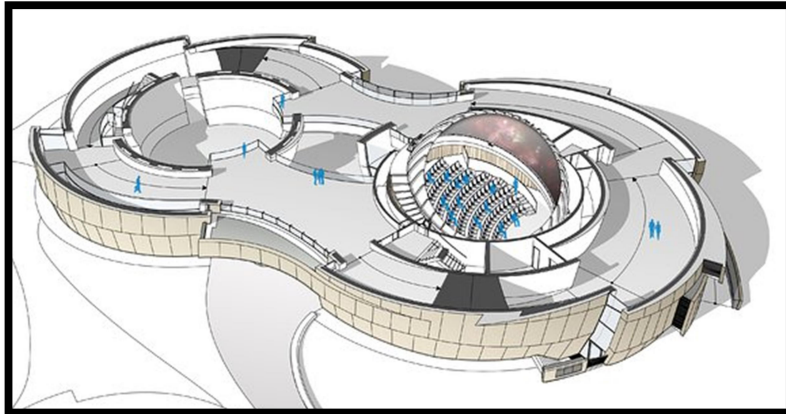
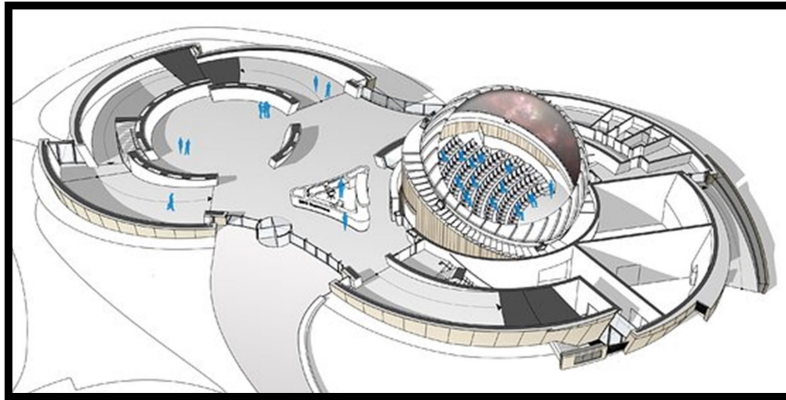


Pantalla inclinada del Planetario ESO Supernova.

En altura el edificio toma prestado el modo de circulación de la reforma del Museo Guggenheim de Nueva York de Frank Lloyd Wright. Mediante rampas que parten del hall de acceso en torno a cada una de las esferas se producen circulaciones para recorrer en altura el edificio (en sentido anti horario mientras se asciende). La idea de Wright en Nueva York era la de “descender” por la rampa durante la visita, sin embargo la escasa altura que alcanza este complejo hace más sencillo que el recorrido se realice de abajo hacia arriba. A lo largo de estas rampas se desarrollan los espacios expositivos permanentes y temporales en dos niveles, además del de acceso.

La zona de unión de ambos lóbulos presenta una sección interesante. En este punto es donde se producen los paramentos transparentes más extensos del complejo a nivel de fachada, e interiormente los forjados de los diferentes niveles juegan con dobles alturas para conectarse entre sí visualmente.

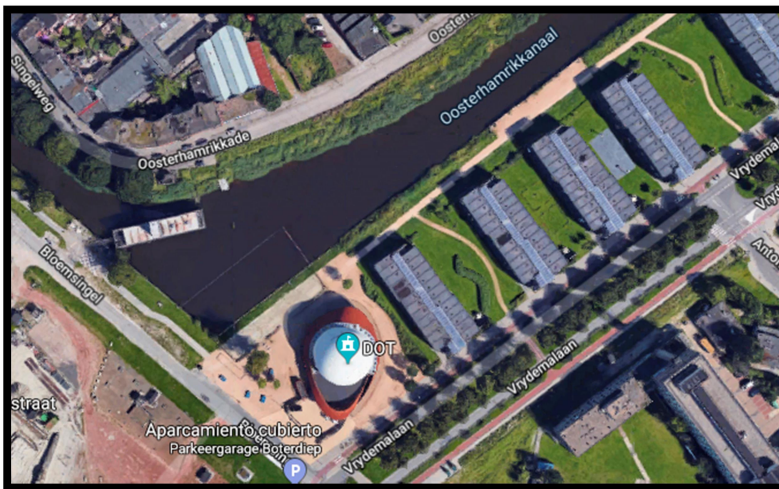
Finalmente en cubierta, sobre el planetario se propone un espacio para talleres, reuniones o conferencias y un mirador y acceso a la cubierta exterior transitable. Desde este punto es posible apreciar la sección esférica de cubrición del “vacío”, de la esfera Este, un lucernario realizado con un entramado de estructura metálica y vidrio.



De arriba abajo, planta de acceso, nivel+1, nivel+2 y planta de cubierta.

Infoversum. Groningen (2014)

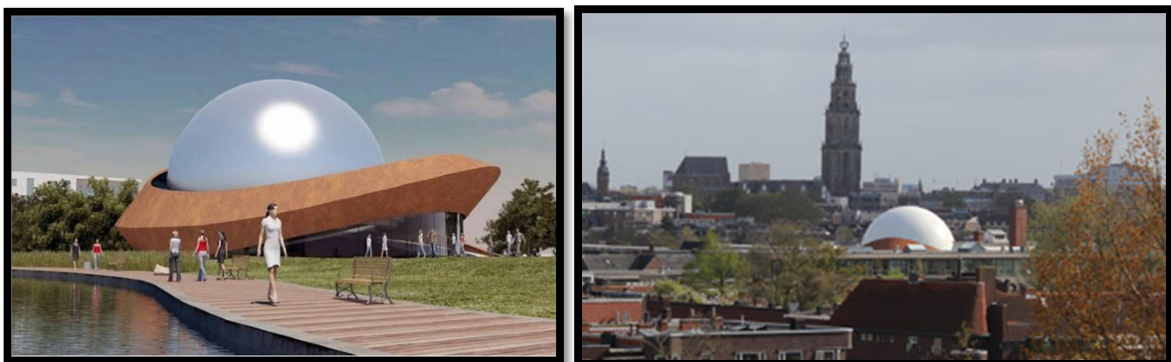
El edificio del Infoversum en Groningen (Groninga, localidad al Norte en los Países Bajos) puede servir de ejemplo sobre cómo no todos los planetarios han conseguido su objetivo (de hecho es algo más que común en esta tipología de edificios), por mucho empeño personal, diseño y materiales vanguardistas que se hayan concentrado en él; especialmente por su temprano y fallido destino.



Situación general actual del Infoversum-DOT.

El promotor personal principal del planetario Infoversum fue el profesor Edwin Valentijn (1952), astrónomo neerlandés y profesor del Instituto Kapteyn de astronomía de la Universidad de Groningen. Valentijn llevó adelante la idea de un espacio para la divulgación de la ciencia y astronomía asociado a la universidad mediante un planetario con tecnología de proyección 3D. El proyecto se encargó al arquitecto Jack van der Palen del estudio Archiview. Las obras se realizaron de 2012 a 2014, año en el que fue inaugurado. El proyecto se ha comparado con arquitecturas de otro mundo, sombreros, ojos u OVNIS, sin embargo pocas veces se ha hecho referencia a una ostra y una perla a pesar de su cercanía con el agua.

El promotor personal principal del planetario Infoversum fue el profesor Edwin Valentijn (1952), astrónomo neerlandés y profesor del Instituto Kapteyn de astronomía de la Universidad de Groningen. Valentijn llevó adelante la idea de un espacio para la divulgación de la ciencia y astronomía asociado a la universidad mediante un planetario con tecnología de proyección 3D. El proyecto se encargó al arquitecto Jack van der Palen del estudio Archiview. Las obras se realizaron de 2012 a 2014, año en el que fue inaugurado. El proyecto se ha comparado con arquitecturas de otro mundo, sombreros, ojos u OVNIS, sin embargo pocas veces se ha hecho referencia a una ostra y una perla a pesar de su cercanía con el agua.



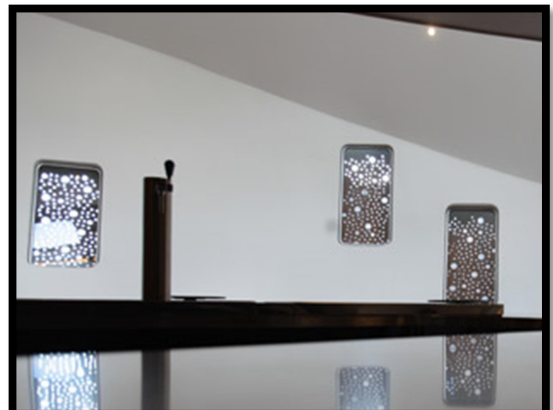
Infografía del proyecto y vista sobre la ciudad de Groningen.

El proyecto está realizado en acero corten, vidrio y estructuras metálicas para la cúpula de proyección recubierta de un blanco perlado. La idea era generar una cúpula destacable sobre el cielo neerlandés protegida por un material curvado de textura diferente que fuera cambiando con el tiempo, el acero corten.



Aspecto exterior del Infoversum y sus materiales y texturas externas principales.

La estructura de acero corten es prácticamente autoportante, necesitando de pequeños apoyos puntuales adicionales, concebida al estilo de los barcos monocasco. Está compuesta de 83 paneles diseñados y ensamblados para obtener la figura final proyectada. Los detalles externos son muy sutiles en esta superficie donde prevalece la propia forma y su textura frente a cualquier adición, unas pequeñas perforaciones en grupo, a modo de cielo estrellado y constelaciones, sirven para iluminar el interior y las puertas de emergencia aparecen tras las láminas de acero al abrirse, como si la superficie se pelara.

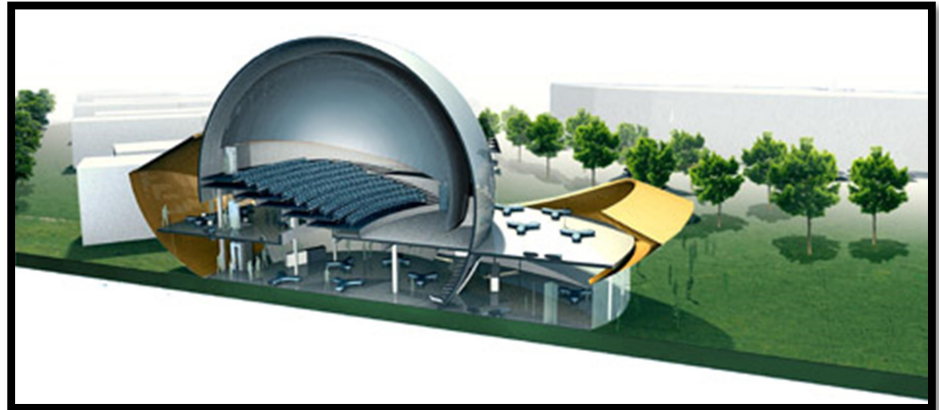
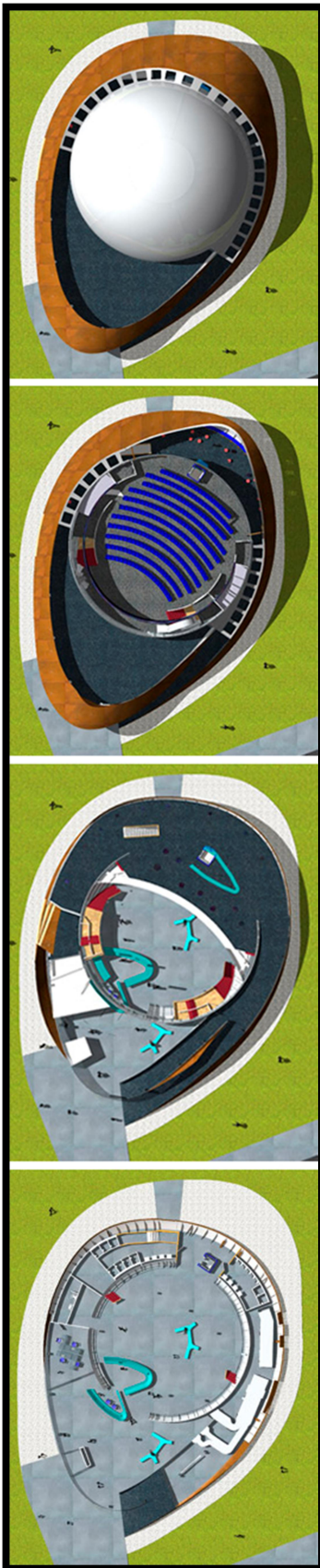


Detalle de las microperforaciones y una salida de emergencia. Y perforaciones desde el interior.

Interiormente el edificio se compone de dos niveles, y una entreplanta. En el nivel de acceso, a través de láminas de vidrio, se despliega una exposición digital interactiva llamada Infowave. En la entreplanta sirve de lounge de espera para acceder al planetario. Mientras que en el nivel superior se encuentran la sala de proyección y una cubierta transitable protegida por los pliegues más altos de la envoltura de acero. Desde esta cubierta es posible observar espectáculos de luz proyectados sobre la superficie exterior de la esfera blanca.

Jesús Carmona Morales

El planetario cuenta con un diámetro exterior de 23 metros, mientras que la esfera interior de proyección es de 20 metros, los accesos a la sala y en menor medida los espesores de los materiales consumen la diferencia. La sala cuenta con 265 plazas reclinables; los sistemas de proyección 3D ofrecen una experiencia inmersiva sobre documentales acerca del tamaño y origen del universo.



Sección longitudinal del proyecto Infoversum.

La sala está dispuesta en una ligera grada, lo que favorece que la cúpula de proyección esté ligeramente inclinada para favorecer una posición cómoda durante las proyecciones. La cúpula es un doble casco que genera un deambulatorio de acceso en torno a la sala, como ya comentado.

La cúpula fue construida en estructura de varillas y paneles metálicos y colocada sobre los apoyos de una pieza, para ocultar las juntas y soldadura fue recubierta de un material blanco liso que le confiere el contraste con el acero corten que la rodea, adicionalmente favorecía los espectáculos de luz sobre este material y la decoración con luminarias en diferentes épocas del año.

Plantas del complejo: cubierta y terrazas, sala de proyección, entreplanta-vestíbulo y vestíbulo.



Vista cenital de la construcción de la cúpula, a la vista está la estructura en grada de la sala de proyección y uno de los cascos esféricos preparado para ser colocado. Y finalización de la misma.

El número de visitantes anual del Infoversum se quedó en un quinto de lo estimado y el planetario fue declarado en quiebra apenas un año y medio después de su inauguración. Posteriormente el catering Bos & Bos adquirió las instalaciones y las reformó como restaurante, salas de conferencias y cine 3D, reabriendo en 2016 con el nombre de DOT. El entorno sufrió algunas modificaciones con una playa urbana (Stadsstrand) de hormigón frente al canal Oosterhamrik, que ha sido recientemente ampliada debido a la alta concentración de gente que suele atraer en días soleados.



Restaurante y cinema 3D, DOT. Situación actual e iluminación nocturna.

Conclusiones

Los observatorios astronómicos son espacios cuyo diseño está estrechamente relacionado con las técnicas concretas de observación astronómica que se realicen, sus dimensiones, tecnología y sistemas constructivos utilizados. Son espacios sensibles a la localización de su emplazamiento, hasta tal punto que la evolución de su entorno puede malograr su propósito, cómo con el crecimiento de las ciudades y su mala iluminación.

Como cualquier proyecto un observatorio astronómico tiene referentes locales dados por su localización, en el caso de los observatorios existe un condicionante adicional localizado no a nivel del terreno sino en la bóveda celeste. Las condiciones de horizonte y orientación son inherentes a la geometría del complejo. En los observatorios más antiguos una clara señalización del Norte y del Sur ordenaba la geometría del observatorio (como los casos de Marague y Gurjani Zij), posteriormente esta cualidad es también utilizada recurrentemente (Uraniborg, Stjernborg, París, Madrid, San Fernando, ...) los telescopios de montura tipo ecuatorial y de tránsito meridiano necesitan de esta referencia para su funcionamiento. Con la asunción de formas curvas así como las cubiertas de torre y cúpulas giratorias relegó esta característica por la siguiente razón: si bien los espacios orientados a los puntos cardinales son una ayuda a la referencia de objetos y el uso de instrumentos de observación, es más bien la falta de una referencia que descuadre el espacio lo importante (caso del Octagon Room en Greenwich); en el caso de los espacios circulares no hay inducción a error o a una alineación desviada ya que no hay referencias, en este caso es la alineación con el eje Norte-Sur de la montura del instrumento de observación donde se relega toda la carga de referencias, si bien esto sucede en instrumentos con alta estabilidad y no transportables, cuya puesta en estación exija pocas o nulas variaciones en el tiempo.

Por lo visto en la evolución más temprana de observatorios donde la incorporación de nueva tecnología ha supuesto la revisión de los espacios o la incorporación de nuevos se puede hacer una proyección hacia el futuro que muestra que el observatorio es una instalación de alta y punta tecnología pero susceptible a la obsolescencia por la llegada de nuevas técnicas. El uso del telescopio relegó los sistemas de observación y medición clásicos, el aumento de tamaño de los mismos obligó a instalaciones mayores, donde a la arquitectura se le exigía unas estructuras más estables desde la cimentación (Observatorio de Púlkovo); en ocasiones el espacio era adecuado para diferentes generaciones de telescopios (edificio del Gran Ecuatorial en Greenwich) o era necesaria la construcción de un nuevo lugar (Grosser Refraktor en Potsdam y proyecto Carte du Ciel, visto en París y San Fernando)

Es patente en la evolución de los observatorios cómo la iluminación del entorno es un factor crucial en la vida útil del mismo. Mientras los observatorios se han situado cerca de pequeñas poblaciones, alejados de las más contaminantes lumínicamente o en épocas en las que la luz eléctrica no suponía un problema frente a otros condicionantes, el desarrollo de la actividad de observación no se ha visto alterada. La exigencia de nuevos aparatos de observación así como otros objetivos más tenues han sensibilizado a las instituciones hasta el punto de volverlas obsoletas. La deslocalización del observatorio astronómico en favor de lugares no habitados con baja influencia de las actividades humanas (contaminación de partículas, iluminación parásita e iluminación artificial de la bóveda celeste) ha sido una constante a lo largo del siglo XX.

Jesús Carmona Morales

La consecuencia para los observatorios consolidados ha resultado en la readaptación para otras actividades principalmente de divulgación científica e historiografía del propio observatorio. En el caso de los planetarios, al producir en sala cerrada una bóveda celeste artificial su propia iluminación ha jugado en contra de la conservación del cielo nocturno natural, siendo la iluminación exterior nocturna del planetario más un reclamo de su presencia que un obstáculo para ninguna observación astronómica, si bien estas estructuras se sitúan dentro de los núcleos urbanos consolidados donde ya no era posible la actividad astronómica. La excepción a este punto es el caso singular del Observatorio Griffith (que posee además de telescopios de observación un planetario) construido relativamente apartado de la ciudad de Los Angeles en un momento en que la contaminación lumínica no era el obstáculo actual, pero cuyo tratamiento de iluminación exterior se ha desmarcado de los cánones de protección de la actividad observacional. En el siglo XXI existe una incipiente actividad de transformación nacida de la nueva disponibilidad de material astronómico profesional para observadores amateur o instituciones de investigación sin tiempo de observación en otros observatorios. Las cualidades de manejo remoto y robótico de los telescopios pone a disposición de observadores de todo el mundo cielos con objetos y calidades diferentes. El proyecto Galáctica en España es el de más reciente construcción repitiendo esquemas de otras instalaciones en el hemisferio Sur.

Respecto al estilo arquitectónico, mientras los observatorios se han situado cerca de los núcleos urbanos han estado ligados a las tendencias de la época o locales, adoptando las técnicas constructivas, la ornamentación y aspectos estéticos. Cuando su localización se ha desplazado a lugares más remotos, donde la accesibilidad de material, o la construcción con estos ha sido más complicada, el rango de gestos que el edificio ha adquirido ha sido limitado. Como ejemplo directo vemos la cercanía en el tiempo de los observatorios de Lick y Yerkes, donde el primero fue austero en cuanto a ornamentación y gestos mientras que el segundo fue profuso en detalles artísticos en accesos, cornisas y huecos. Así en la actualidad los observatorios tienden a una arquitectura austera en rasgos estilísticos o los concentran en zonas concretas (acceso del observatorio Lick) o en aquellos detalles que pueden ofrecer las tecnologías constructivas con los que se proyectan (detalles de remate del pabellón Altazimut en Greenwich con la veleta de Halley o el planeta Saturno metálico en la cúpula del planetario de Londres).

En el diseño de planetarios gracias a la necesidad de un espacio interior semiesférico esta cualidad es generalmente definitoria de su forma exterior desde el origen de esta tipología de construcciones (Grand Globe Celeste). No se puede alterar el espacio interior en este sentido ya que la propia funcionalidad de la sala depende del plano de proyección esférico, sin embargo, exteriormente es un rasgo que arquitectónicamente caracteriza estas construcciones. Señalamos que pueden darse excepciones como ya visto en el caso de la *Cité des Sciences et de l'industrie*, donde no existe una significación externa de la presencia de un planetario, entendido en este caso debido a fuertes condicionantes previos de la idea rectora del proyecto, ligada al aprovechamiento de estructuras previas, pero sí en la Géode que es externa a este espacio. No suele ser óbice para el uso de la semiesfera externamente los condicionantes históricos del entorno, ya que la cúpula no es en general un elemento ajeno a las geometrías urbanas especialmente en ciudades con zonas históricas consolidadas.

Las semiesferas externamente pueden hacerse miméticas con las cúpulas de observación astronómicas (como visto en el planetario del Observatorio Griffith), o puede ser un juego externo que responda a otra estética, como el homenaje al viejo Planetario Hayden en su reconstrucción de final del siglo XX, o un espacio que ordena el proyecto de dentro hacia afuera (edificio ESO

Jesús Carmona Morales

Supernova). En líneas generales es de recurrente aprovechamiento en planetarios el uso de las semiesferas o incluso esferas completas como recurso de diseño del propio edificio y en su relación con el entorno; en el caso de espacios abiertos como el planetario Galileo Galilei de Buenos Aires, el edificio tiene una clara relación y ostentación sobre el espacio circundante; en otros casos donde el edificio queda inmerso en tramas urbanas más densas y abigarradas, como Nueva York, el recurso para ello está sujeto a la originalidad del proyecto (v.g. la caja de vidrio contenedora de la esfera del Planetario Hayden). Constructivamente las cúpulas se han realizado en los ejemplos más antiguos mediante estructuras de hormigón armado, en su evolución han adoptado sistemas de mayor complejidad para alcanzar con mayor ligereza diámetros más grandes (La Géode en el Parc de la Villette).

En el estudio de los planetarios se ha constatado como la renovación de los equipos tecnológicos, los proyectores concretamente, pero también de los planos de proyección es necesaria para la puesta al día de las instalaciones. En los casos en que el planetario es la principal o única atracción es de extrema importancia. En las últimas décadas el planetario no ha aparecido como un espectáculo aislado, sino que se ha sinergizado con un espacio divulgativo y de exposición, tanto la evolución de lo que eran instalaciones con el espectáculo único del planetario (Planetario Hayden – Museo de Historia de Natural de Nueva York), como las nuevas instalaciones (ESO Supernova). Incluso en los fracasos empresariales el renacimiento del proyecto ha traído consigo sinergias todavía más originales, lo que hemos visto en el caso de Groningen, donde la reapertura del planetario ha traído además un restaurante, salas de reuniones y congresos y cine tipo IMAX.

Bibliografía

APELLIDO(S), Nombre: *Título completo* Ciudad, Editorial, año.

Bibliografía general

- KING, Henry C.:** *The History of the Telescope* Cambridge (MA), Sky Publishing Corporation, 1955
- ROY, Jean-René:** *L'Astronomie et son histoire* Éditions Presses Univ. Québec/Masson, 1982
- PANNEKOEK, Anton:** *A History of Astronomy*, Dover, Courier Corporation, 1989
- ELIADE, Mircea:** *Lo profano y lo sagrado*, Barcelona, Editorial Planeta, 1998
- KRISCIUNAS, Kevin:** *Astronomical Centers of the World* Cambridge University Press, 1998
- VITRUVIO, M. P.:** *Los diez libros de Arquitectura* Alianza Ed., 2004
- BRUNIER, Serge y LAGRANGE, Anne-Marie:** *Great Observatories of the World* Firefly Book, Nueva York, 2005
- AUBIN, David, BIGG, Charlotte y SIBUM H. Otto:** *The Heavens on Earth. Observatories and Astronomy in Nineteenth-Century Science and Culture* Durnham, Duke University Press, 2010

Observatorio de Marague (1259)

- SAYILI, Aydin.** *The Observatory in Islam (The Development of Science)*. Turkish historical society, Ankara, 1960
- SALIBA, George.** *The role of Maragha Observatory in the development of Islamic astronomy: a scientific revolution before the Renaissance*, *Revue de Synthèse*, 108, 361–73. 1987.
- VARDJAVAND, Parviz.** *Kavosh-e Rasadkhaneh-e Maragha*. Tehran, Amirkabir Publications, 1987.

Observatorio Gurjani Zij, Samarcanda (1429)

- SÉDILLOT, L.P.E.A.** *Prolégomènes des tables astronomiques d'OulougBeg*, Paris, Firmin Didot Frères, 1853
- KNOBEL, E.B.** *Ulugh Beg's catalogue of stars*, Washington: Carnegie Institution of Washington, 1917
- SAYILI, Aydin.** *Ghiyath al Din's letter on Ulugh Beg and scientific activity in Samarqand*. Turkish historical society, Ankara, 1960
- KRISCIUNAS, K.** *The Legacy of Ulugh Beg, in Central Asian Monuments*, Istanbul, Isis, 1992
- BAGHERI, Mohammad.** *Az Samarqand be Kashan, Nameh haye Giath al-Din Jamshid Kashani be Pedarash* Tehran, Elmi Farhangi Publications, 1996
- ICOMOS 2001:** *Reactive Monitoring Mission to Samarkand - Crossroads of Cultures World Heritage Site* Uzbekistan, 2001
- VAN DALEN, B.:** *Ulugh Beg, in The Biographical Encyclopedia of Astronomers* Thomas Hockey et al. (eds.). New York: Springer, 2007, pp. 1157-1159
- FAZLIOGLU, I.** *The Samarqand Mathematical-Astronomical School: A Basis for Ottoman Philosophy and Science*, *Journal for the History of Arabic Science* 14, 2008.
- LUMINET, J.-P.** *L'astronome de Samarcande*, Paris, JC Lattès 2015

Uraniborg, Isla de Hven (1576) y Stjernborg, Isla de Hven (1581)

- BLAEU, Willem Janszoon:** *Geographia, quae est Cosmographiae blavianae pars prima, qua orbis terrae tabulis ante oculos ponitur, et descriptionibus illustrantur* Amsterdam, 1665
- DREYER, John Louis Emil:** *Tycho Brahe: A Picture of Scientific Life and Work in the Sixteenth Century* Cambridge, 1890
- HETHERINGTON, Edith W.; HETHERINGTON, Norriss S.:** *Astronomy and Culture*, 2009

Rundetaarn, Copenhagen (1642)

Jesús Carmona Morales

SKOVGAARD Joakim A.: *A king's architecture: Christian IV and his buildings* H. Evelyn, 1973.

RODING, J.G.: *Christiaan IV of Denmark (1588-1648): architecture and urban construction of a Lutheran prince* Alkmaar : Cantina Architectura, 1991

<http://www.rundetaarn.dk/>

Observatorio de París (1667)

DOLLFUS, Audouin: *La Grande Lunette de Meudon, Les yeux de la Découverte*, CNRS Éditions, 2006.

<https://www.obspm.fr/>

<https://pacobellido.naukas.com>

Observatorio de Greenwich (1675) / London Planetarium, Londres (1958) / Planetario Peter Harrison, Greenwich (2007)

LAURIE, P. S.: *The Board of Visitors of the Royal Observatory I: 1710-1830* Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, Vol.7, NASA Astrophysics Data System (ADS), 1966

LAURIE, P. S.: *The Board of Visitors of the Royal Observatory II: 1830-1965* Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, Vol.8, NASA Astrophysics Data System (ADS), 1967

DOLAN, Graham: *On the Line: The Story of the Greenwich Meridian* National Maritime Museum, 2003

SCOTT ANDERSON, Alastair: *The South Building, Royal Observatory, Greenwich: The Meeting of Art and Astronomy* Journal of the tiles and architectural ceramics society, volume 12, 2006

HIGGITT, Rebecca: *A British national observatory: the building of the New Physical Observatory at Greenwich, 1889-1898* The British Journal for the History of Science, 47, 2013

FIREBRACE, William: *The Missing Planet* The Architectural Association, 2013

<http://www.royalobservatorygreenwich.org>

Complejos astronómicos Jantar Mantar en India (siglo XVIII)

SHARMA, Virendra Nath: *Sawai Jay Singh and his astronomy* Delhi, Motilal Banasidass Publishers, 1995

<http://www.jantarmantar.org/>

Real Observatorio de Madrid (1790)

FERNÁNDEZ ALBA, Antonio: *El observatorio astronómico de Madrid de Juan de Villanueva* Madrid, Xarait Ediciones, 1979

GUIJARRO BUENO, Cristina: *Las etapas históricas del observatorio astronómico de Madrid* Madrid, Instituto Geográfico Nacional, Anuario del Observatorio Astronómico, 1999

LACA MENÉNDEZ DE LUARCA, Luis Ramón: *El "plan de las inmediaciones" del observatorio astronómico: un proyecto desaparecido de Juan de Villanueva* Archivo español de arte, LXXII, 287 Julio-Septiembre, 1999

GÓMEZ GONZÁLEZ, Jesús: *Apuntes sobre 20 años de actuaciones en el Real Observatorio de Madrid* Madrid, Instituto Geográfico Nacional, 2012

Real Instituto y Observatorio de la Armada (1797)

LAFUENTE, Antonio y SELLÉS, Manuel: *El Observatorio de Cádiz (1753 - 1831)* Madrid, Ministerio de Defensa, 1988

GONZÁLEZ GONZÁLEZ, Francisco José: *La investigación científica en la marina del siglo XIX: El observatorio de San Fernando (1850-1900)* San Fernando (Cádiz), Servicio Publicaciones Armada, 1988

Jesús Carmona Morales

GONZÁLEZ GONZÁLEZ, Francisco José: Catálogo de las obras antiguas de la biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada (SIGLOS XV al XVIII), Madrid, Ministerio de Defensa, Boletín ROA nº1/2011

Observatorio de Pulkovo, San Petersburgo (1839)

STRUVE, F.G.V.: *Description del l'observatoire astronomique central de Pulkova* San Petersburgo, Académie Impériale des Sciences ,1845

KRISCIUNAS, Kevin: *The travails of Pulkovo* Journal for the history of astronomy, vol. 28, pt. 2, p. 176, 1997

ABALAKIN, Viktor K.: *The Pulkovo Observatory on the Centuries' Borderline* St. Petersburg, 2015 (10.11588/monstites.2009.1.19911.)

<http://www.gaoran.ru>

Observatorio Astrofísico de Potsdam (1874)

VON ECKARDT, Wolf: *Eric Mendelsohn* G. Braziller, New York, 1960

MÜLLER, P.: *Potsdam 1874–1879. In: Sternwarten in Bildern* Berlin, Heidelberg, Springer, 1992

DICK, Wolfgang y FRITZE, Klaus: *300 Years of Astronomy in Berlin and Potsdam. A collection of papers on the occasion of the 300th anniversary of Berlin Astronomical Observatory* Thun und Frankfurt am Main, Verlag Harri Deutsch, 2000

www.aip.de/en/institute/history/foundation-aop

Observatorio Lick, San Jose (1887)

BAUSTIAN, W. W.: *Completion of Dome for Lick 120-Inch Reflector* Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 67, No. 378, NASA Astrophysics Data System (ADS), 1952

MISCH, Anthony y STONE, Remington: *James Lick, the "Generous Miser"*, 1998

OSTERBROCK, Donald GUSTAFSON, John y UNRUH, W. J.: *Eye on the Sky*, University of California Press, 1988

LICK, Rosemary: *The Generous Miser* Ward Ritchey Press, 1967.

Observatorio Yerkes, Williams Bay (1897)

HUSSEY, W. J.: *The Yerkes Observatory* Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 9, No. 58, NASA Astrophysics Data System (ADS), 1897

HALE, George Ellery: *The Yerkes Observatory of the University of Chicago.IV. The Forty-Inch Telescope, Dome, and Rising Floor.* Astrophysical Journal, vol. 6, NASA Astrophysics Data System (ADS), 1897

<http://astro.uchicago.edu/vtour/>

Palais de l'optique / Grand Globe Celeste (Exposición Universal de París de 1900)

BRENNI, Paolo: *Effets spéciaux. Science et technique au service des attractions de l'exposition universelle de 1900*

SCHROEDER-GUDEHUS, Brigitte y RASMUSSEN, Anne: *Les fastes du progrès : le guide des expositions universelles, 1851-1992* Paris, Flammarion, 1992

Exposition universelle de 1900 : « La Lune à un mètre ! », Revista "Ciel et Espace", nº 415, Diciembre 2004

LAUNAY, Françoise: *The great Paris Exhibition telescope of 1900* Journal for the History of Astronomy (ISSN 0021-8286), Vol. 38, Part 4, No. 133, p. 459 – 475, NASA Astrophysics Data System (ADS), 2007

CLARETIE, Jules: *La vie a Paris 1900*, París, Hachette Livre, 2018

www.worldfairs.info/

<https://lesyeuxdargus.wordpress.com/2015/04/03/le-globe-celeste-de-lexposition-universelle-de-1900/>

Observatorio Griffith (1935)

SCHWARTZMAN, Arnold: *Griffith Observatory: A Celebration of Its Architectural Splendor*
Hennessey+Ingalls Books, 2015

KOPPANY, Bob: *The Murals of Griffith Observatory* 1979

<http://www.griffithobservatory.org>

Hayden Planetarium , Nueva York (1935)

<https://playingintheworldgame.com/2014/11/25/memories-of-the-hayden-planetarium/>

<https://web.archive.org/web/20060306054830/http://www.haydenplanetarium.org/hp/history.html>

<http://www.planetariummuseum.org/scrap.html>

Planetario Galileo Galilei, Buenos Aires (1967)

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/790725/clasicos-de-arquitectura-planetario-galileo-galilei-enrique-jan>

<https://palmotour.com.ar/tourdenoticias/planetario-galileo-galilei/>

<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/planetario-galileo-galilei/>

Cité des sciences et de l'industrie, París (1967)

<http://www.cite-sciences.fr/apps/parcours-architecture-histoire/spanish/index.php>

<https://spa.archinform.net/projekte/170.htm>

<http://szezotleporcqmiclaud.vefblog.net/>

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/767793/clasicos-de-la-arquitectura-parc-de-la-villette-bernard-tschumi-architects>

ESO Supernova, Garching (2013)

<https://supernova.eso.org/about/history/>

<https://supernova.eso.org/about/architecture/>

<https://www.bp-da.de/>

Infoversum, Groningen (2014)

<https://www.dezeen.com/2014/07/09/infoversum-cinema-planetarium-archiview-groningen/>

Galáctica, Teruel (2019)

MOLES VILLAMATE, Mariano: *Ponencia: El Observatorio Astrofísico de Javalambre y GALÁCTICA, dos nuevas instalaciones para la investigación, la difusión y la práctica de la Astronomía*, XXI Congreso Estatal de Astronomía, Granada, Mayo 2014

www.mytaki.es/01PROYECTOS/2011GLT/GLT.html