

Formas geométricas y escultóricas en los edificios del Royal Arts Complex de Riyadh. Los ejemplos del National Theatre y del Auditorium

Geometric and sculptural forms in the buildings of the Royal Arts Complex in Riyadh. National Theatre and Auditorium

Pietro Bartalotta^a, Belén Ballesteros Molpeceres^b, Borja Encinas Maldonado^c,
Guillermo Blanco Fernandez^d, David Rodríguez Muñoz^e, Santiago Martínez Asensio^f

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería. Jefe de proyectos. pietro.bartalotta@mc2.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería. Jefe de proyectos. belen.ballesteros@mc2.es

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería. Jefe de proyectos. borja.encinas@mc2.es

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería. Jefe de proyectos. guillermo.blanco@mc2.es

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería. Jefe de proyectos. david.rodriguez@mc2.es

^f Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYPSA. Jefe de proyectos. smasensio@typsa.es

RESUMEN

El complejo urbanístico Royal Arts Complex es un conjunto de edificios de la ciudad de Riyadh (Arabia Saudí), para actividades culturales, artísticas y de entretenimiento. El diseño arquitectónico se inspira en la arquitectura tradicional Salmani, sobre todo por las formas geométricas elegidas (cupulas, triángulos, troncos de pirámides, prismas), que confieren un carácter escultórico a los edificios. La estructura de los edificios acompaña estas formas, utilizando el hormigón o el acero según las necesidades estructurales o los requerimientos arquitectónicos, como se describe en dos ejemplos del proyecto, el National Theatre y el Auditorium.

ABSTRACT

The Royal Arts Complex is a group of buildings in the city of Riyadh (Saudi Arabia) for cultural, artistic and entertainment activities. The architectural design is inspired by traditional Salmani architecture, especially for the geometric shapes chosen (domes, triangles, pyramid trunks, prisms), which give the buildings a sculptural character. The structure of the buildings adapts to these forms, using concrete or steel according to structural needs or architectural requirements, as described in two examples of the project, the National Theatre, and the Auditorium.

PALABRAS CLAVE: Formas, escultura, cúpula, pantalla de hormigón, estructura metálica.

KEYWORDS: Shapes, sculpture, dome, concrete cores, metal structure.

1. Introducción

El complejo urbanístico Royal Arts Complex es un conjunto de edificios incluidos en el desarrollo del King Salman Park, en el corazón

de la ciudad de Riyadh (Arabia Saudí), dentro de la iniciativa Vision 2030 para impulsar la imagen del País árabe hacia una mayor independencia del petróleo y la consiguiente diversificación económica.

El Royal Arts Complex representa el principal centro de la ciudad para actividades

culturales, artísticas y de entretenimiento en todas sus formas y variedades.

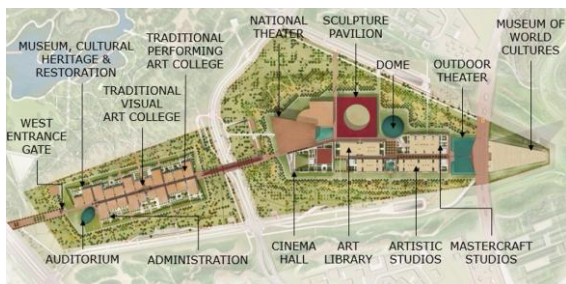


Figura 1. Planta con los principales edificios del complejo cultural.

En concreto, el complejo ocupa una superficie de 320 000 m² e incluye, entre otros, los siguientes edificios, mostrados en la planta de la Figura 1:

- El Museo de las Civilizaciones (*Museum of World Cultures*), con su estructura piramidal de 106 m de altura, objeto de otro artículo del presente congreso [1].
- *National Theatre*, con una sala de capacidad para 2300 personas, aquí descrito.
- *Outdoor theatre*, un teatro al aire libre, que aprovecha el mismo Museo de las Civilizaciones como fondo de su escenario.
- Unas academias dedicadas a las artes visuales tradicionales, a la restauración del patrimonio cultural y a las artes teatrales.
- Un complejo de cines diseñado para eventos locales e internacionales.
- Dos grades sótanos de aparcamientos.

- Centros de exposiciones, como el *Dome*, *Sculpture Pavillion* y el *Auditorium*, este último descrito en el presente artículo.

En la Figura 2 se muestra una perspectiva a vuelo de pájaro de lo que será el complejo, actualmente en construcción, ya muy avanzada.

En primer plano, a la derecha, se encuentra el Museo de las Civilizaciones, con su característica forma piramidal inclinada, y luego se desarrollan los otros edificios del complejo a lo largo de una calle, eje principal del complejo, de aproximadamente 1.5 km de longitud.

El diseño arquitectónico, a cargo de Ricardo Bofill Taller de Arquitectura (RBTA), se inspira en la arquitectura Salmani, tanto en las formas como en los materiales y en los colores elegidos. El resultado final es que casi cada edificio tiene un carácter propio, que lo distingue de los otros, si bien, como veremos en este artículo, se siguen manteniendo los cánones de la arquitectura Salmani.

La estructura de los edificios acompaña siempre estas formas, utilizando el hormigón o el acero según las necesidades estructurales y/o los requerimientos arquitectónicos.

En el presente artículo se describe como la arquitectura tradicional ha influenciado el diseño del Royal Arts Complex, para luego estudiar los aspectos estructurales de dos edificios: el National Theatre y el Auditorium.



Figura 2. Perspectiva de todo el complejo Royal Arts Complex

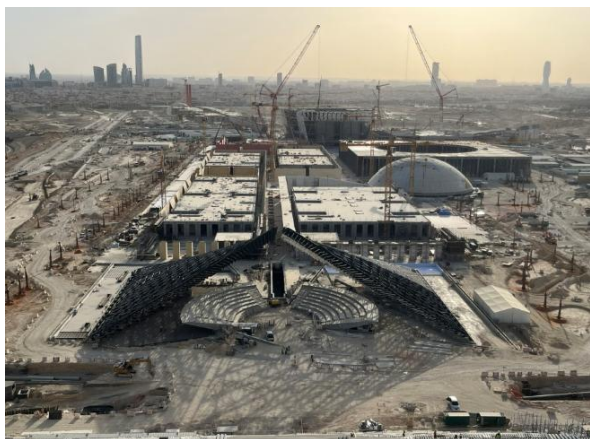


Figura 3. Vista aérea del estado de la obra, foto realizada desde el museo (Sep. 2024)

2. Influencia de la arquitectura tradicional

2.1 Contexto histórico

La arquitectura tradicional en Arabia Saudí ha surgido y se ha alimentado directamente del entorno en el cual se ha desarrollado, siendo factores decisivos el clima árido del desierto, las limitaciones de recursos y la influencia del Islam. Todos estos factores han determinado las formas, los materiales y la disposición de los distintos ambientes de las construcciones tradicionales, desde las casas de adobe y piedra de los nómadas beduinos hasta las grandes estructuras religiosas y fortificaciones.

El Islam, con su énfasis en la geometría y la simetría, ha dejado una huella importante en la arquitectura de la región. En las mezquitas y edificios religiosos, la repetición de patrones geométricos no solo tiene una dimensión estética, sino también espiritual, representando el orden divino del universo.

El clima árido y los recursos disponibles, por otro lado, han impulsado el uso de las piedras o adobe, materiales de gran inercia térmica, o una disposición de ambientes habitables alrededor de un patio, normalmente con un espejo de agua. Las fachadas suelen ser muy opacas, con ventanas mínimas para la

ventilación cruzada y para mantener la temperatura fresca en el interior.

2.2 Tendencias de la Arquitectura moderna

A partir de las premisas descritas en el anterior apartado, la arquitectura en Arabia Saudí ha evolucionado rápidamente en las últimas décadas, adaptándose y alineándose así al fervor por la edificación de otras ciudades árabes de su entorno.

En muchos casos, y en el Royal Arts Complex en particular, el diseño de los nuevos edificios ha sabido mantener la continuidad con la arquitectura tradicional de Arabia Saudí. De hecho, esta tendencia a preservar el patrimonio cultural saudí, adaptándose a la modernidad, se denomina *Arquitectura Salmani*, asociándose a la visión del anterior Rey Salman Bin Abdulaziz Al Saud, que supervisó personalmente la planificación de la ciudad de Riyadh a principios de siglo XXI.

En base a dicha modernización, se encuentran algunos principios declarados explícitamente durante esta planificación: continuidad con el pasado, búsqueda de originalidad respecto a otros diseños del mundo occidental, innovación, sostenibilidad, centralidad del hombre y de sus exigencias de habitabilidad en la Arquitectura.

A continuación, se pretende ahondar en la descripción de esta influencia arquitectónica en los edificios del Royal Arts Complex.

2.3 Formas geométricas

Tal y como se ha comentado anteriormente, la continuidad con el pasado se manifiesta en primer lugar en las formas geométricas elegidas, siendo las más recurrentes las torres, las cupulas o los elementos triangulares.

Las torres de ventilación o *Barjeels* se utilizaban en las viviendas tradicionales para

proporcionar ventilación natural, capturando las brisas frescas del desierto. Dichas torres no sólo tenían una función práctica, sino también la de manifestación de estatus y poder. En el caso del Royal Arts Complex, se han diseñado dos torres en una de las entradas al complejo cultural (*West gate entrance*), perdiendo cualquier función práctica, y manteniendo únicamente una función escultórica, como un homenaje a la tradición y un símbolo de identidad cultural (Figura 4).



Figura 4. Torres del West Gate Entrance, en septiembre 2024 (Foto de RBTA)

Esta pareja de torres tiene una altura de 54 m y una planta triangular, forma recurrente en la arquitectura tradicional como se describirá más adelante. La estructura es de hormigón visto, con paredes de 50 cm de espesor y lados de 4.6 m de longitud, dejando un espacio hueco en su interior, aunque no accesible al público.

Una de las formas más emblemáticas de la arquitectura tradicional es la cúpula, utilizada en mezquitas por su practicidad (por permitir la construcción de ambientes más amplios) y por

su fuerte simbolismo en el Islam, representando la perfección divina.

En el proyecto del Royal Arts Complex, se diseñan dos espacios expositivos cubiertos con dos cúpulas de hormigón.

El primero, el *Dome*, tiene forma circular en planta, con un diámetro de 65 m y una altura de 20 m. Los empujes horizontales en arranque de esta cúpula rebajada se sujetan a través de una viga perimetral de atado (*ring beam*), y parcialmente por la flexión de los soportes. La cúpula, de espesor variable, tiene aperturas de forma triangular, que simulan un cielo de estrellas.

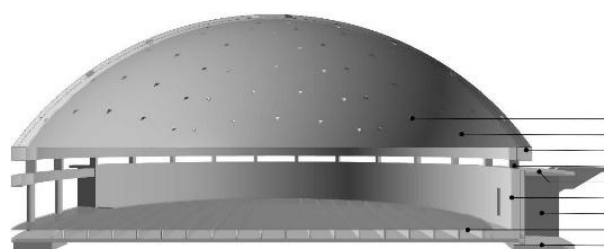


Figura 5. Torres del West Gate Entrance, en septiembre 2024 (Foto de RBTA)

La segunda cúpula de hormigón del proyecto es la de *Auditorium*, de forma ovalada, que se describirá más adelante.

Otra forma recurrente en la arquitectura tradicional es el triángulo, utilizado sobretodo de manera abstracta como decoración de fachadas o paredes, jugando con su geometría en la creación de superficies dinámicas y escultóricas. En el caso del Royal Arts Complex, se ha utilizado la forma triangular por ejemplo en los siguientes casos:

- La planta de las torres del *West Gate Entrance*, descritas anteriormente;
- Los pilares exentos de la entrada del *National Theatre*, que se describirán más adelante;
- Las ventanas en las dos cúpulas y en la fachada del *National Theatre*;
- Un patrón decorativo con aperturas en los muros que delimitan el pasillo alrededor de algunos edificios. Esta geometría es un guiño a las celosías de madera, conocidas como *masrabija*, que se utilizaban en la arquitectura antigua para ventilación y para

protegerse del calor extremo del sol. Estas aperturas se han realizado utilizando muros prefabricados, para controlar la armadura y geometría compleja de este patrón.

La evolución de la forma triangular es la pirámide, que en este proyecto se ha utilizado para el Museo de las Civilizaciones y para la cubierta del *Outdoor Theatre*. En este último caso, la grada del teatro de hormigón se cubre a través de dos tejados independientes, en voladizo desde la parte trasera de las gradas, y separados por un espacio de 50 cm en su cúspide. Estas cubiertas están realizadas por 16 celosías metálicas, arriostradas entre sí para redistribuir las fuerzas horizontales y dar estabilidad al sistema.



Figura 6. La cubierta piramidal del Outdoor Theatre (render).



Figura 7. La cubierta piramidal del Outdoor Theatre (en obra en Sept. 2024).

En conclusión, las formas geométricas entran de forma preponderante en la definición

de los edificios, confiriéndoles un carácter escultórico.

3. El *National Theatre*

El edificio principal del *National Theatre* tiene una planta a modo de cuadrilátero irregular de dimensiones aproximadas 100 x 105 m, que se desarrolla hasta una altura de 36 m con fachadas inclinadas con pendiente hacia fuera (Figura 8).

La estructura sobre rasante se desarrolla a través de unas pantallas de hormigón, que dan estabilidad horizontal al edificio y que, asimismo, tienen función de aislamiento acústico, puesto que rodean el escenario y la sala principal, con una capacidad de 2600 personas (Figura 9).



Figura 8. Vista aérea de la obra del National Theatre (Sep. 2024) (Foto de RBTA)

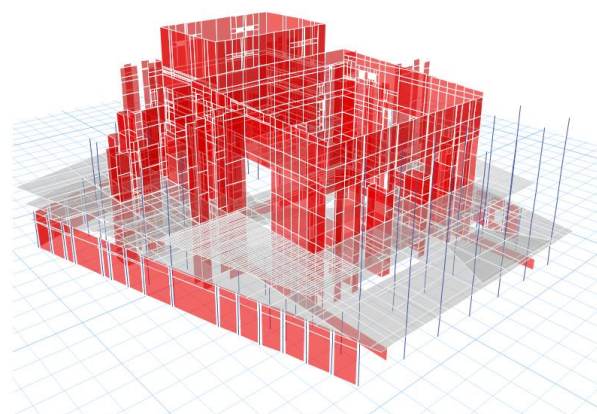


Figura 9. Modelo de cálculo de las pantallas de hormigón en el interior del edificio

Sobre estas pantallas se apoya la cubierta y la fachada metálica, evidenciada en rojo en la siguiente imagen (Figura 10).

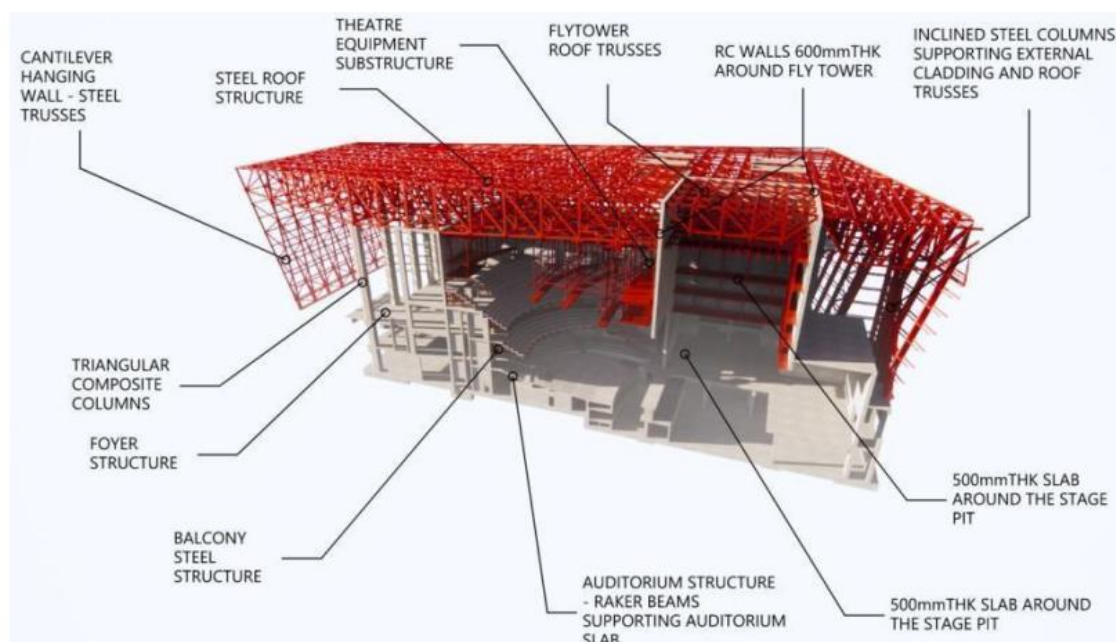


Figura 10. Corte transversal del teatro, evidenciando los principales elementos metálicos de cubierta y fachada

La cubierta está constituida por celosías de hasta 40 m de luz, apoyadas en el núcleo de hormigón, en unos esbeltos soportes metálicos triangulares en el patio de entrada (*Porte Cochère*) y sobre la fachada. Para alcanzar estas luces, el canto de las celosías se optimiza con una altura variable entre 3.0 y 8.6 m. En estas celosías apoyan transversalmente unas viguetas secundarias (que definen las pendientes de desagüe) y un forjado de chapa plegada de 200 mm de espesor, dimensión determinada por exigencias acústicas.

Por encima de la entrada principal del teatro (*Porte Cochère*), a la izquierda en la Figura 10, la cubierta sobresale en voladizo unos 26 m y, de su extremo, queda suspendida la fachada, creando un espacio protegido en la zona de la entrada.

Los otros 3 lados de la fachada están inclinados hacia el exterior con un ángulo de 76° y se materializan a través de soportes metálicos de perfiles tipo UB, oportunamente arriostrados.

La estabilidad horizontal de la fachada, en su dirección perpendicular, está garantizada por la misma cubierta y por las conexiones intermedias con los forjados, que trabajan como diafragmas rígidos, cuando están disponibles, a lo largo de la fachada misma.

La inclinación de los soportes genera unas fuerzas horizontales de compatibilidad por efecto de las cargas verticales, fuerzas recogidas por los núcleos principales.



**Figura 11. Vista de la fachada inclinada y de las pantallas perimetrales de hormigón (Sep. 2024)
(Foto de RBTA)**

En la siguiente imagen se muestra el modelo de cálculo del edificio, aislando la fachada, para evidenciar los arriostramientos en su mismo plano.

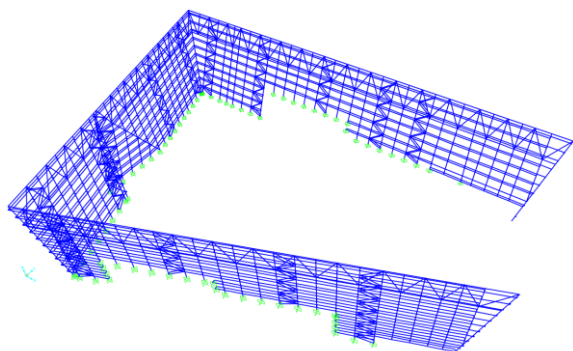


Figura 12. Modelo de cálculo del edificio, aislando la fachada

Finalmente, de la cubierta cuelgan diferentes estructuras secundarias, pasarelas y plataformas con maquinarias, apoyándose algunas en las pantallas de hormigón, por encima del escenario o de la sala principal.

Uno de los elementos más significativos de apoyo de la cubierta son los 6 pilares triangulares de 27 m de altura, de lado 1.9 m, realizados con una sección mixta colaborante, mostrados en la siguiente imagen durante su ejecución (Figura 13).



Figura 13. Soportes triangulares en la zona de la entrada (Porte Cochere)

El soporte está compuesto por una sección metálica triangular hueca, de chapas de 60 mm de espesor, rodeada por una capa de

23 cm de hormigón de alta resistencia, con oportunos pernos conectadores (Figura 14).

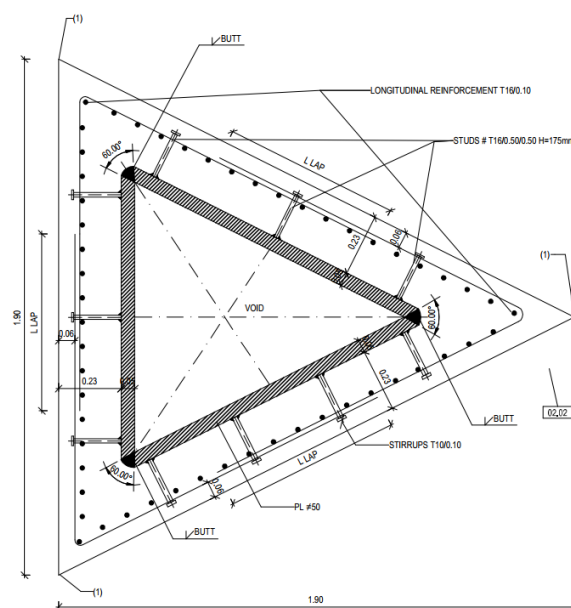


Figura 14. Sección tipo de los soportes triangulares

Tanto el arranque como la coronación tienen unas rotulas para liberar las rotaciones y evitar empotramientos parásitos de la celosía de cubierta (Figura 15). En arranque, la rótula tiene empotramiento torsional, liberado en coronación.

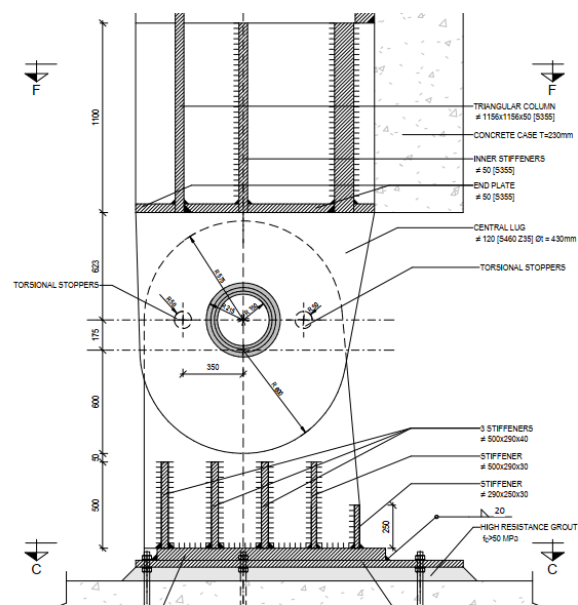


Figura 15. Alzado de la rótula en arranque

La solución constructiva para los forjados se ha optimizado, utilizando diferentes soluciones según el caso, como losa maciza de hormigón entre 200 y 400 mm de espesor, forjados mixtos o uso de vigas descolgadas de

hormigón. En la zona de entrada, por ejemplo, se diseña una losa en voladizo, con forma triangular en planta, rigidizada por vigas descolgadas de hormigón. Por la complejidad de la intersección, los dos soportes triangulares mixtos coincidentes con esta losa son más cortos y se ejecutan en hormigón por debajo de la misma (Figura 16).

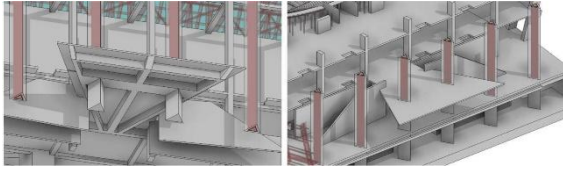


Figura 16. Vista de forjado triangular desde abajo y desde arriba, en el modelo BIM

Las butacas de la sala principal se apoyan sobre un forjado inclinado de hormigón y sobre 3 niveles de gradas en voladizo.

Dichas gradas se materializan mediante unas celosías metálicas espaciales, en voladizo desde el muro curvo del *Auditorium*, con una estructura adicional secundaria para ejecutar el forjado de la grada.



Figura 17. Foto de los niveles de gradas desde el centro de la sala (Sep. 2024)

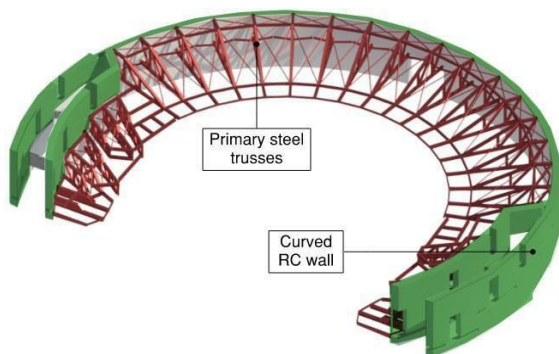


Figura 18. Vista 3D del modelo BIM para un nivel de gradas

4. El *Auditorium*

El *Auditorium* es un espacio polivalente para representaciones o exposiciones, cubierto por una cúpula de planta ovalada, con diámetros de 62 m y 41 m. En alzado, su altura de 19 m tiene doble curvatura (Figura 19).

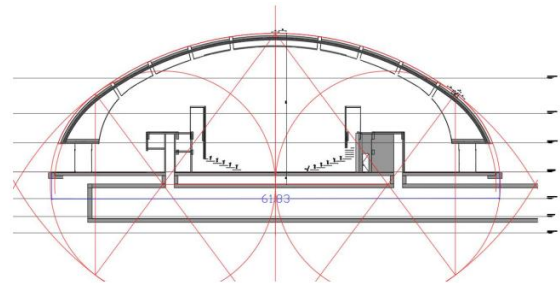


Figura 19. Alzado esquemático y definición geométrica de la cúpula

El espesor de la cúpula es constante, de 30 cm, representando 1/200 de su diámetro máximo, con una esbeltez y una forma análogas a la de la cascara de un huevo. La cúpula presenta las dos aperturas de las puertas y unas aperturas triangulares que representan ventanas parecidas a las descritas en el edificio del *Dome*. Debajo del edificio se halla un túnel para instalaciones.

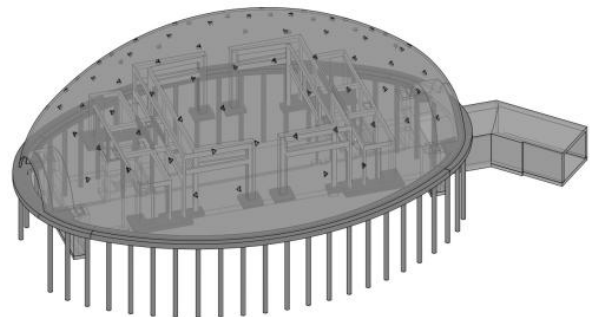


Figura 20. Vista 3D del modelo BIM de la cúpula

La cimentación de la cúpula está constituida por una viga de atado (*ring beam*), que descansa sobre pilotes para controlar los asentamientos, debidos a que la cimentación se apoya en un relleno de 10 m de espesor. La solera, de 30 cm de espesor, colabora para equilibrar las fuerzas horizontales de la cúpula y las flexiones parasitarias de compatibilidad.

Para la definición de la armadura, siendo una estructura que trabaja esencialmente por forma, se ha realizado un análisis no lineal de las principales combinaciones, incluyendo una

imperfección inicial, las deformadas por retracción y/o temperatura, y los efectos a largo plazo de las cargas permanentes. El efecto de la fisuración y de la consecuente reducción de inercia ha sido considerado en este análisis.

En base a la bibliografía de referencia [2], se ha establecido una imperfección inicial máxima de 50 mm, usando la formulación para construcción con balón hinchable, que se describirá más adelante. La deformada de la combinación estudiada ha sido escalada hasta obtener estos 50 mm en el centro de la cúpula, y aplicada a la geometría inicial de la misma, para el posterior análisis no lineal. En términos de esfuerzos, las diferencias entre modelo lineal y modelo no lineal con imperfecciones y fluencia varían entre -10 % y +100 %, según el elemento y la zona considerada, siendo por lo tanto determinantes en el dimensionamiento del edificio.

Se disponen dos capas de armadura en el espesor de 30 cm, de manera abanicada en la dirección paralela al diámetro mayor, para resolver el cambio de dimensión en planta.

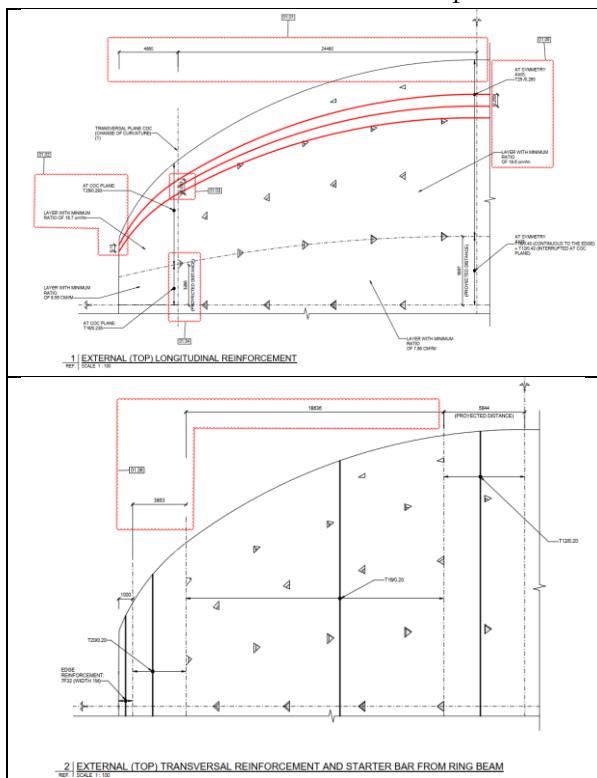


Figura 21. Armadura de la capa más exterior, en las dos direcciones

Asimismo, la imperfección ha sido aplicada para la estabilidad de la cúpula frente al pandeo (mismo valor de imperfección de 50 mm, pero escalando la geometría inicial con la deformada del primer modo de pandeo), obteniendo factores multiplicadores de la combinación de carga superiores a 10 (Figura 22).

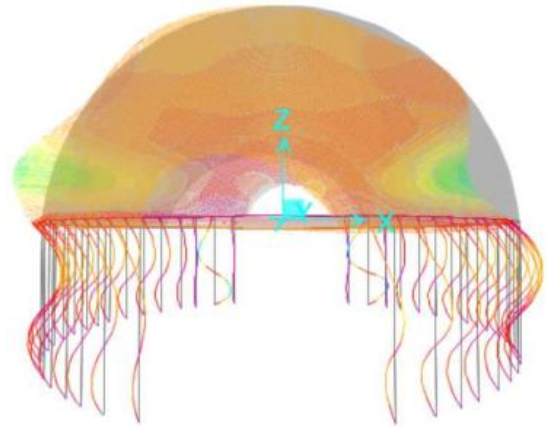


Figura 22. Deformada del primer modo de pandeo

Uno de los puntos más interesantes de este edificio ha sido el estudio de las fases constructivas, realizándose la cáscara a través de un globo hinchable que funciona de encofrado perdido para fijar la armadura y proyectar el hormigón desde el interior. La siguiente imagen muestra un corte de la cúpula con los principales elementos que componen este sistema.

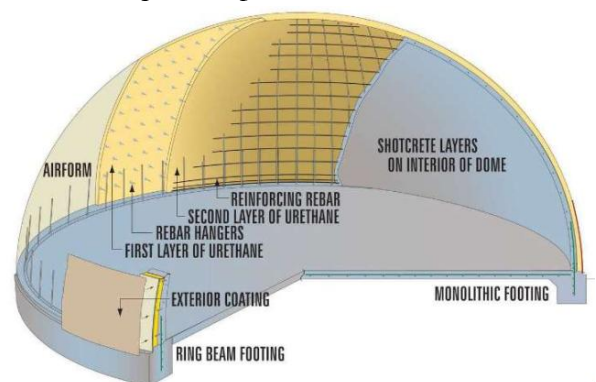


Figura 23. Principales elementos de la construcción mediante globo hinchable

Las fases constructivas son las siguientes:

- Ejecución de la solera y de las cimentaciones.
- Fijación del globo en PVC al perímetro exterior e inflado del mismo, con la forma de la cara exterior de la cúpula de hormigón. Se

mantiene una presión superior a la atmosférica en el interior del globo, durante todo el proceso.



Figura 24. Globo inflado visto desde el exterior

- Aplicación de una capa de espuma de poliuretano, con función de aislante, y que en esta fase sirve para fijación de la armadura al globo. Las ventanas y las puertas se replantean, dejando tabicas.

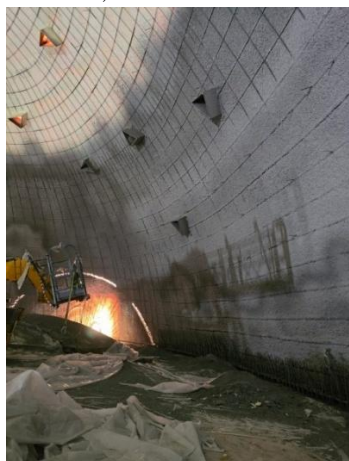


Figura 25. Fase de armado durante la obra

- Proyectado del hormigón desde el interior, hasta alcanzar el espesor de proyecto. El hormigón prescrito es de tipo mezcla húmeda (*wet mix shotcrete*), que permite controlar de forma más exacta la cantidad de agua y, consecuentemente, la relación agua/cemento.

La ventaja de este sistema es que se evita el uso de andamios muy densos y de grandes alturas para el hormigonado, aunque necesita de un equipo especializado para su ejecución.

Agradecimientos

Se agradecen a los arquitectos de RBTA por su coordinación y colaboración en las fases de Diseño, su seguimiento de la obra y por proporcionar las fotos de este artículo.

Asimismo, se agradece a los equipos de Estructura e Instalaciones de Typsa, por haber colaborado durante la redacción del Proyecto.

Referencias

- [1] David Rodríguez, Pietro Bartalotta, Belén Ballesteros. Museum of World Cultures, el edificio icónico del nuevo Royal Art Complex (Riyadh). IX Congreso de ACHE. Granada, 2025.
- [2] Antonio Tomás, Juan Pedro Tovar. The influence of initial geometric imperfections on the buckling load of single and double curvature concrete shells, 2012.



Figura 26. Vista aérea de la obra, a la izquierda el Dome y a la derecha el National Theatre.