



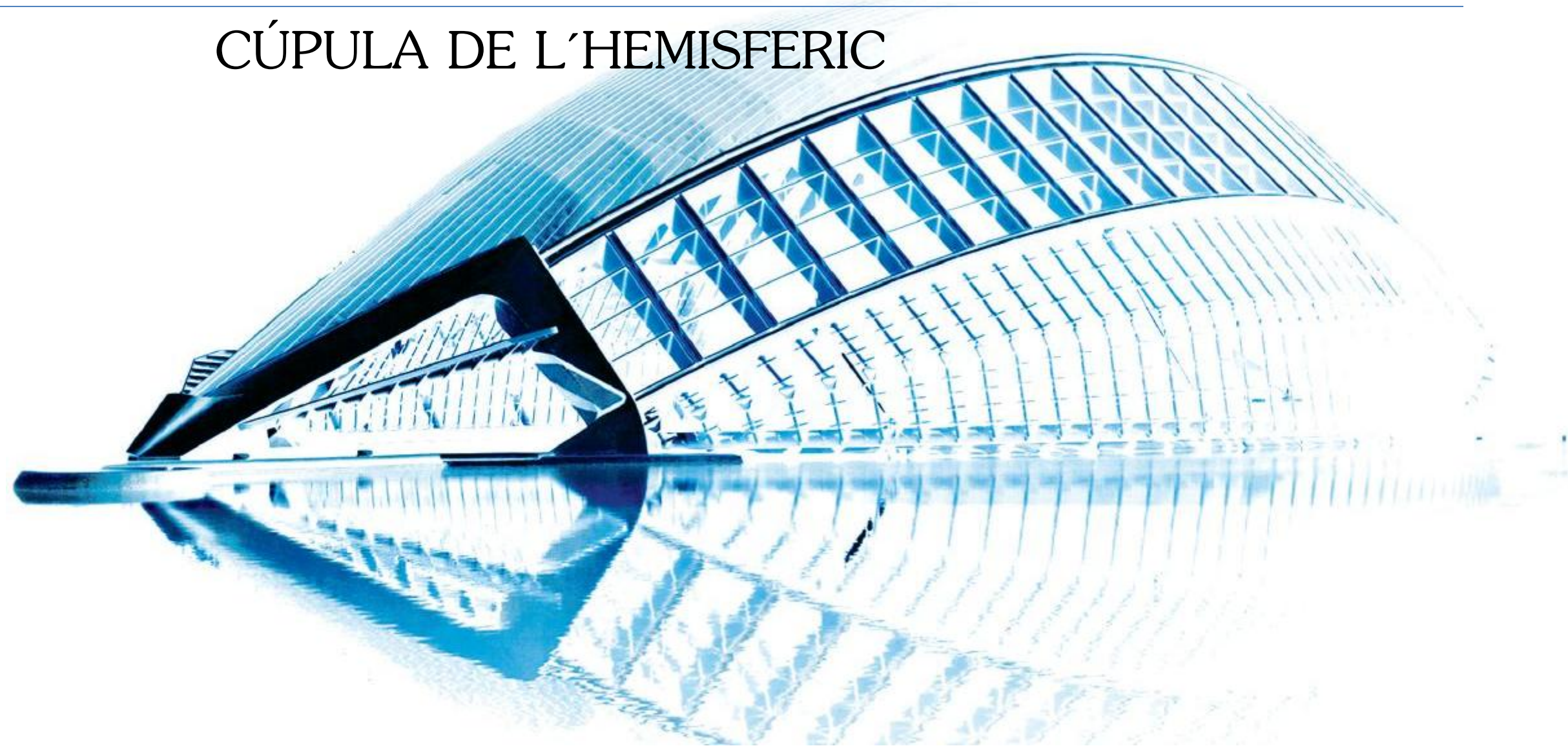
# PROYECTO FINAL DE GRADO

## CÚPULA DE L'HEMISFERIC

TUTORES PFG 14:

-RAFAEL LIGORIT TOMÁS

-FRANCISCO SANCHÍS SAMPEDRO

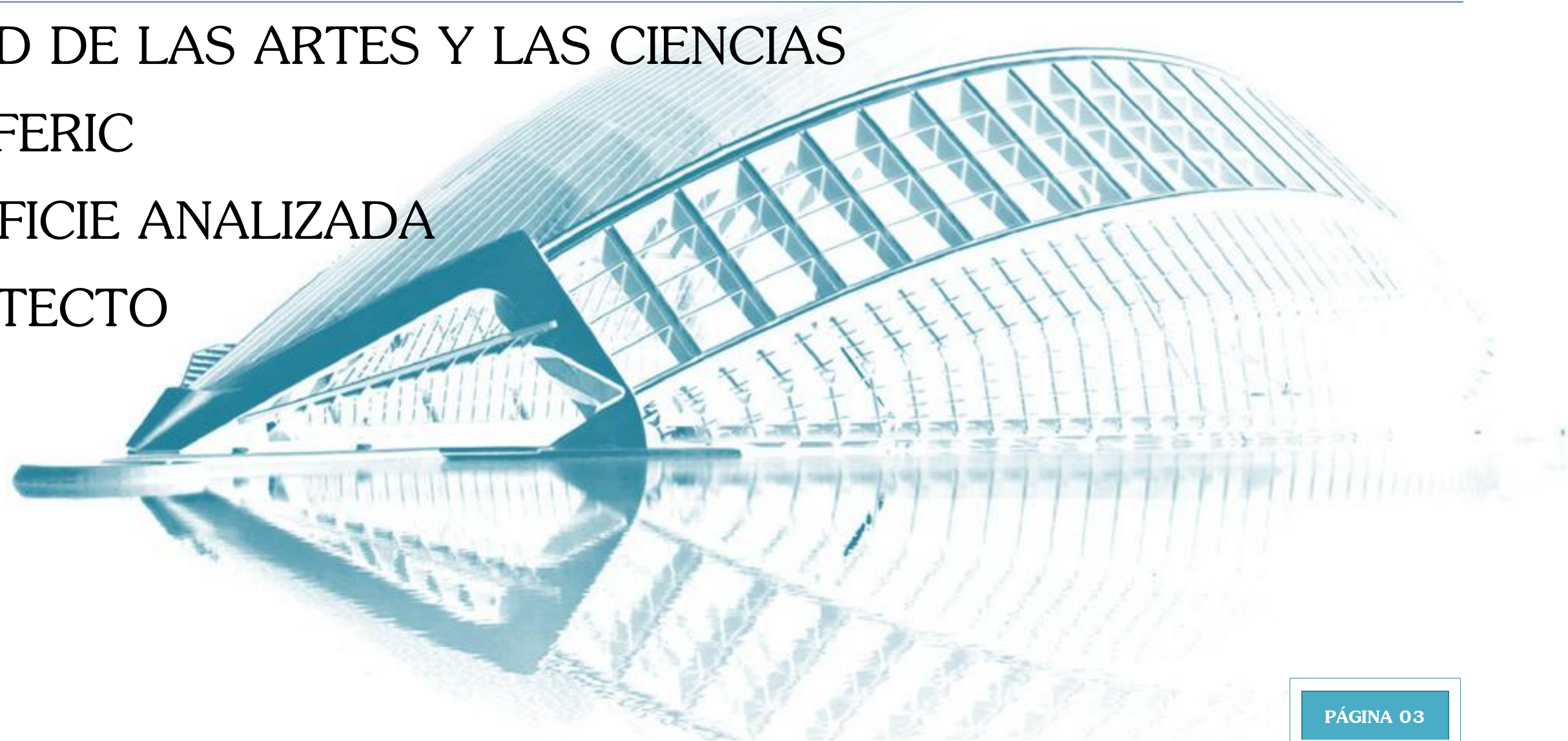


## INDICE

<b>1.INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>PÁG 03</b>	<b>5.2 ELIPSOIDE DE REVOLUCIÓN</b> .....	<b>PÁG 53</b>
<b>1.1 CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS</b> .....	<b>PÁG 04</b>	<b>5.3 ADAPTACIÓN AL OJO</b> .....	<b>PÁG 55</b>
<b>1.2 HEMISFERIC</b> .....	<b>PÁG 08</b>	<b>5.4 GENERACIÓN DE LA GEOMETRÍA</b> .....	<b>PÁG 57</b>
<b>1.3 SUPERFICIE ANALIZADA</b> .....	<b>PÁG 12</b>	<b>6. ESTRUCTURA</b> .....	<b>PÁG 65</b>
<b>1.4 ARQUITECTO</b> .....	<b>PÁG 15</b>	<b>6.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>PÁG 66</b>
<b>2.DOCUMENTACIÓN GRÁFICA</b> .....	<b>PÁG 19</b>	<b>6.2 CÚPULA</b> .....	<b>PÁG 68</b>
<b>2.1 EMPLAZAMIENTO</b> .....	<b>PÁG 20</b>	<b>6.3 LUCERNARIO</b> .....	<b>PÁG 70</b>
<b>2.2 ALZADOS FRONTALES</b> .....	<b>PÁG 22</b>	<b>6.4 TRÍPODE</b> .....	<b>PÁG 72</b>
<b>2.3 ALZADOS LATERALES</b> .....	<b>PÁG 27</b>	<b>6.5 PLANOS DE ESTRUCTURA</b> .....	<b>PÁG 74</b>
<b>2.4 PLANTAS</b> .....	<b>PÁG 32</b>	<b>7. CONSTRUCCIÓN</b> .....	<b>PÁG 81</b>
<b>3. FOTOGRAFÍAS</b> .....	<b>PÁG 35</b>	<b>7.1 TRÍPODES</b> .....	<b>PÁG 82</b>
<b>4. DISEÑO</b> .....	<b>PÁG 39</b>	<b>7.2 CÚPULA</b> .....	<b>PÁG 85</b>
<b>4.1 PROYECTO INICIAL</b> .....	<b>PÁG 40</b>	<b>7.3 LUCERNARIOS</b> .....	<b>PÁG 87</b>
<b>4.2 PROYECTO FINAL</b> .....	<b>PÁG 42</b>	<b>7.4 CANCELAS</b> .....	<b>PÁG 89</b>
<b>4.3 SIMBOLOGÍA</b> .....	<b>PÁG 48</b>	<b>7.5 FASES DE OBRA</b> .....	<b>PÁG 93</b>
<b>5. GEOMETRÍA</b> .....	<b>PÁG 50</b>	<b>8. CONCLUSIÓN</b> .....	<b>PÁG 100</b>
<b>5.1 CLASIFICACIÓN DE SÓLIDOS DE REVOLUCIÓN</b> .....	<b>PÁG 51</b>	<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>PÁG 102</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS
- 1.2. HEMISFERIC
- 1.3. SUPERFICIE ANALIZADA
- 1.4. ARQUITECTO



# 1.1.CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS

---



## 1. INTRODUCCION:

### 1.1. CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS:

Nos remontamos a la inundación de Valencia el 14 de Octubre de 1954 la cual trajo consigo el desvío del cauce del río Turia por las afueras de la ciudad, denominado Plan Sur, esto dejó una gran cantidad disponible de espacio para urbanizar en el antiguo cauce de dicho río, una infinidad de posibilidades para urbanizar esta zona.

Durante los años 80 se crearon las bases para la ocupación y transformación del viejo cauce del río Turia en un espacio verde constituido por más de 2.000.000 m<sup>2</sup> a lo largo de 10 kilómetros por pleno centro de la ciudad.

Pero todavía quedaba un espacio en la desembocadura, cerca de la autovía del Saller que había quedado sin uso y descuidado dando una imagen de deterioro a la ciudad, es aquí donde parte la revolucionaria idea de la creación de una ciudad que reuniera arte, ciencia, arquitectura y entretenimiento, unidos todos en una urbe de estructuras majestuosas, así nació lo que hoy conocemos como “ciudad de las artes y las ciencias”.

Para llevar a cabo un proyecto de tal magnitud se recurrió a uno de los arquitectos predilectos de Valencia, Santiago Calatrava Valls, este ideó una ciudad compuesta por acero, hormigón blanco, cristal y lagos artificiales que provocaban una simbiosis con el azulado cielo valenciano.



L'Hemisfèric (arriba izquierda) Príncipe Felipe (arriba derecha) L'Umbracle (abajo)

En mayo de 1991, el Consell aprobó la cesión de terrenos, cuatro meses después presentó el proyecto diseñado por Santiago Calatrava. Las obras se iniciaron a finales de 1994.

El proyecto inicial llevaba consigo la construcción de una torre de comunicaciones que posteriormente se vio suprimida del proyecto, en 1995 se paralizaron las obras. La torre de comunicaciones, símbolo ya asociado a la gestión de los gestores anteriores, fue retirada por el arquitecto del proyecto.

Se iniciaron las obras, que conllevaron la construcción de L'Hemisferic, el museo de las ciencias Príncipe Felipe y L'Umbracle, unidos entre sí por una serie de soportales con estructuras ramificadas simbolizando las ramas de árboles, así como paseos, escaleras y lagos artificiales que hacían de nexo de unión entre los diferentes complejos.

Más tarde se amplió la ciudad con la inclusión del Oceanográfico que corría a cargo del arquitecto Félix Candela, amigo y mentor de Calatrava, el palacio de las artes Reina Sofía, el puente de L'Assut de L'Or, o el recientemente construido Àgora.

Doña Sofía (izquierda) Hemisferic (derecha)



Entrada Oceanografic (izquierda) restaurante Oceanografic (derecha)



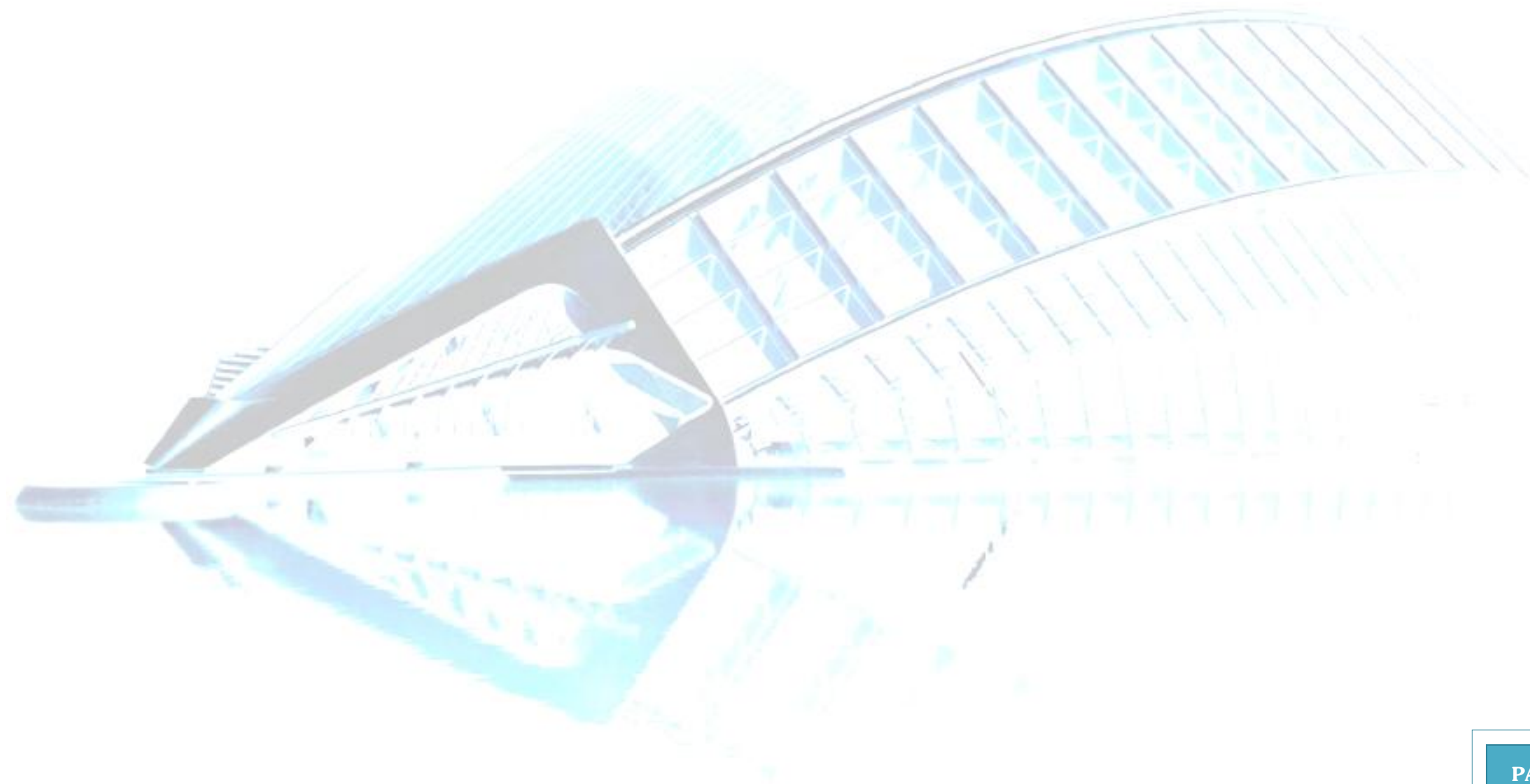


Puente L'Assut de L'Or (izquierda) Agora (derecha)

En abril de **1998** abrió sus puertas al público L'Hemisfèric. Once meses después, se inauguró el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe, aunque las obras no estaban terminadas. El museo se abrió al público veinte meses después. El **12** de diciembre de **2002**, se abrió L'Oceanogràfic, el mayor acuario construido en Europa. Y el **8** de octubre de **2005** la obra total se culminó con la apertura del Palacio de las Artes Reina Sofía, El Àgora se inauguro el **29** de octubre de **2009**.

## 1.2. HEMISFERIC

---





## 1. INTRODUCCION:

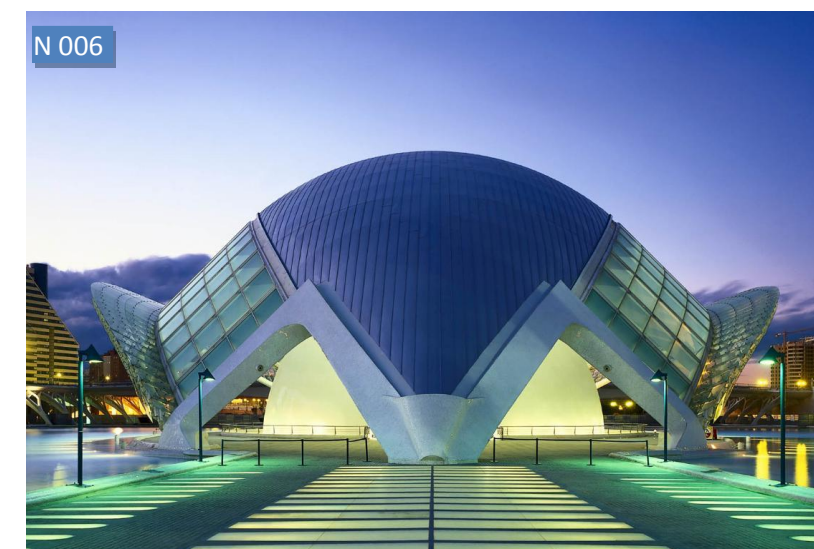
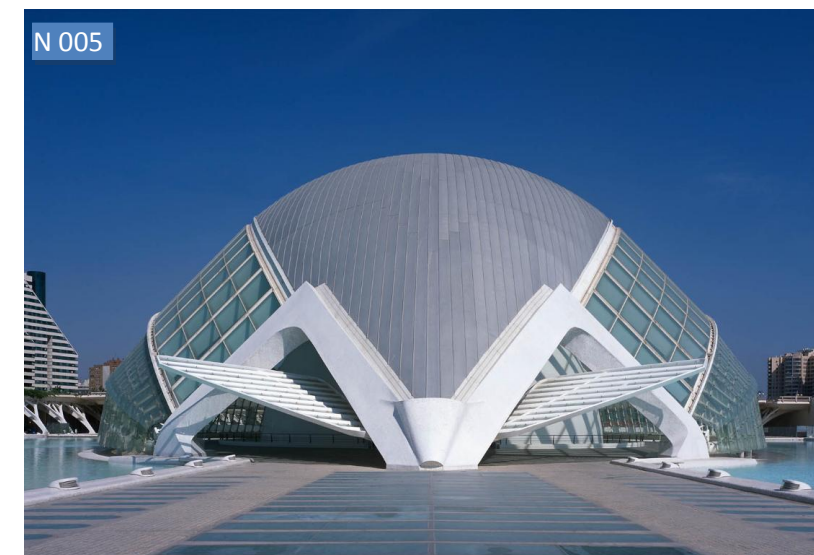
### 1.2. HEMISFERIC:

El Hemisferic es el edificio creado por el arquitecto valenciano Santiago Calatrava, dentro de él se alberga uno de los planetarios más innovadores del mundo, siendo una de las piezas clave dentro del proyecto inicial, además de ser el primero de los complejos que se inauguró el 16 de abril de 1998.

El mismo Calatrava lo ha definido así: "El edificio principal emerge de entre los estanques como un gran caparazón formado por una parte central fija y unos elementos laterales móviles que son los parasoles y cancelas que componen la parte transparente. Esta cubierta de morfología ovoidal engloba una esfera en su interior". Ha sido bautizado como El Ojo de la Sabiduría, aunque su apariencia física evoque más a un enorme caparazón de coleóptero.

Las partes no transparentes están construidas con acero, el material más utilizado en todo el conjunto. Los juegos de luces y sombras al proyectarse sobre las aguas del estanque crean un impacto visual de tintes claramente futuristas. Es todo un alarde de ingenio geométrico y de proyección.

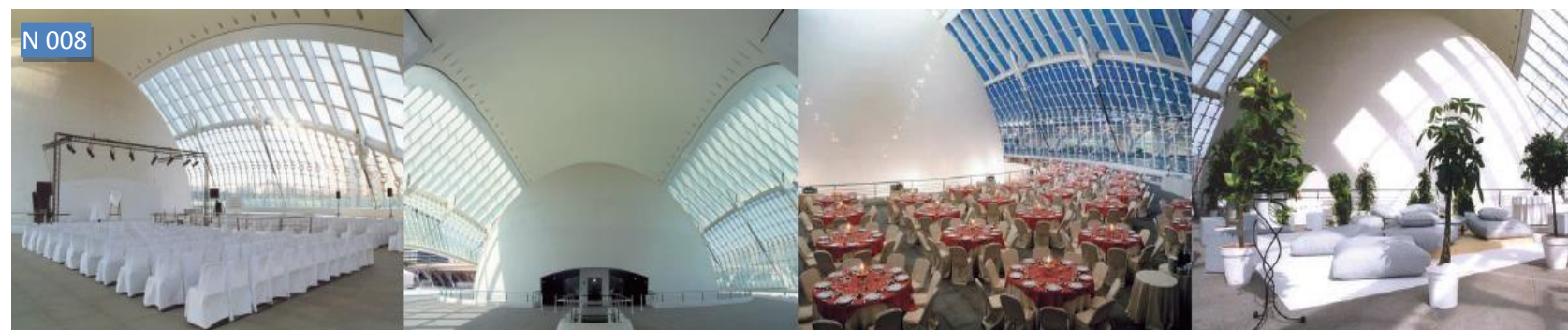
Su peculiar forma de se debe a la inspiración del arquitecto en un ojo humano, abierto y que todo lo ve, a través del gran estanque de agua en el que surge, se asoma a la ciencia y a las nuevas tecnologías audiovisuales. concebido como una sala de proyecciones audiovisuales, que permite ofrecer la experiencia a unos 300 espectadores por sesión gracias al mejor soporte tecnológico del mundo: tres tipos de espectáculos audiovisuales, se podrán disfrutar, por primera vez, en un solo edificio: Planetario, Cine Imax y Láser Omniscan.



Tanto al norte como al sur está delimitado por dos estanques de agua, artificiales, de forma rectangular de  $12000 \text{ m}^2$ , estas aguas sirven de reflejo al edificio, completando así la imagen de “ojo” y rememorando las aguas que en su día condujo este cauce. Tanto al este como al oeste se abre un gran paseo peatonal que sigue el eje de simetría del edificio.

La pupila es el domo o cúpula esférica de la sala de proyecciones (hemisférica), convertida en una gran pantalla-cúpula de cine IMAX DOME de gran formato, para grandes espectáculos audiovisuales de divulgación científica. Los párpados son las bóvedas tóricas y las pestañas, las enormes cancelas de  $90 \text{ m}$  acristaladas que tienen la posibilidad de abrirse de la misma manera que un ojo humano. Las estructuras móviles, al abrirse, mostrarán al exterior la existencia de la esfera, al tiempo que darán una imagen flotante y ligera a la estructura de la gran cubierta

Está compuesto por tres zonas características o cuerpos, el primero de ellos situado al este, está formado por la cafetería, tiendas y oficinas, todas ellas bajo él, soterradas bajo la superficie; en el centro se sitúa el segundo cuerpo y el principal de todos ellos, la sala de proyecciones, el corazón del hemisférico; y el último de ellos, es la zona de bombeo y de emergencias así como los servicios técnicos, que se sitúan en el extremo oeste, también bajo tierra.



Todos los elementos mencionados anteriormente se encuentran bajo la superficie, salvo el exterior de la sala de proyecciones y la cúpula que lo protege, ésta última se trata de una cubierta que es un elipsoide de revolución, constituida por cinco arcos rebajados de sección viga cajón, y otros dos a nivel de superficie que envuelven todo el perímetro y que arrancan desde el nivel de estanque. Todos estos elementos se unen en sus extremos mediante un trípode de estructura mixta de acero y hormigón blanco pulido. La unión de los nervios se realiza mediante perfiles de acero laminado y vigas cajón curvas. Las partes no transparentes están construidas con acero, el material más utilizado en todo el conjunto.

Los juegos de luces y sombras al proyectarse sobre las aguas del estanque crean un impacto visual de tintes claramente futuristas. Es todo un alarde de ingenio geométrico y de proyección.

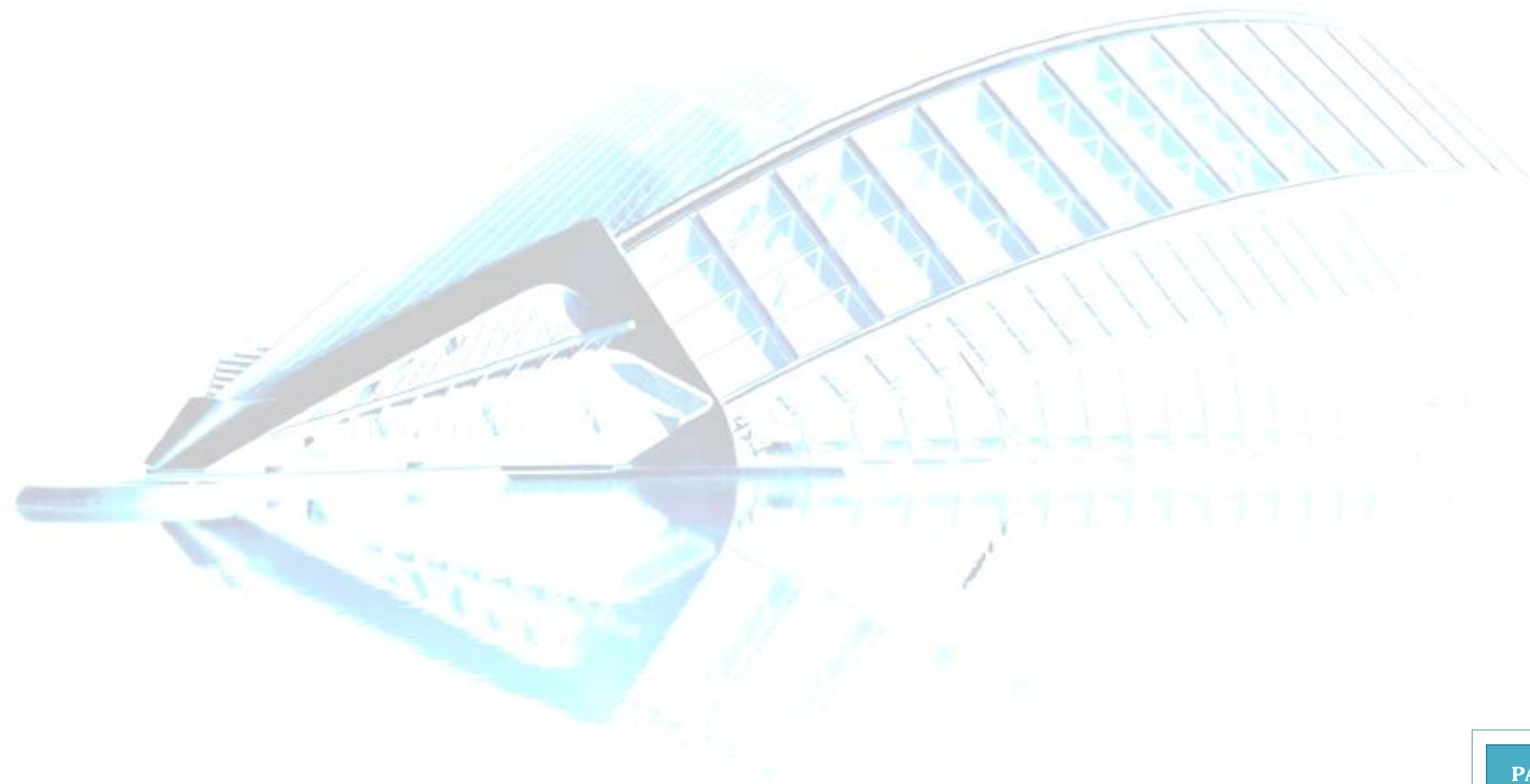
La sala de proyecciones está hecha de hormigón armado y recubierta mediante la técnica del trencadis , (teselas blancas y brillantes típicas de las cúpulas mediterráneas.) , se asienta sobre una cimentación a base de muros pantalla y losas de gran canto.

Las dimensiones principales de la cúpula son **102 m** de longitud, **47.6 m** de anchura y una altura de **22.5 m**, el recinto ocupa **14.000** metros cuadrados.



## 1.3. SUPERFICIE ANALIZADA

---



## 1. INTRODUCCION:

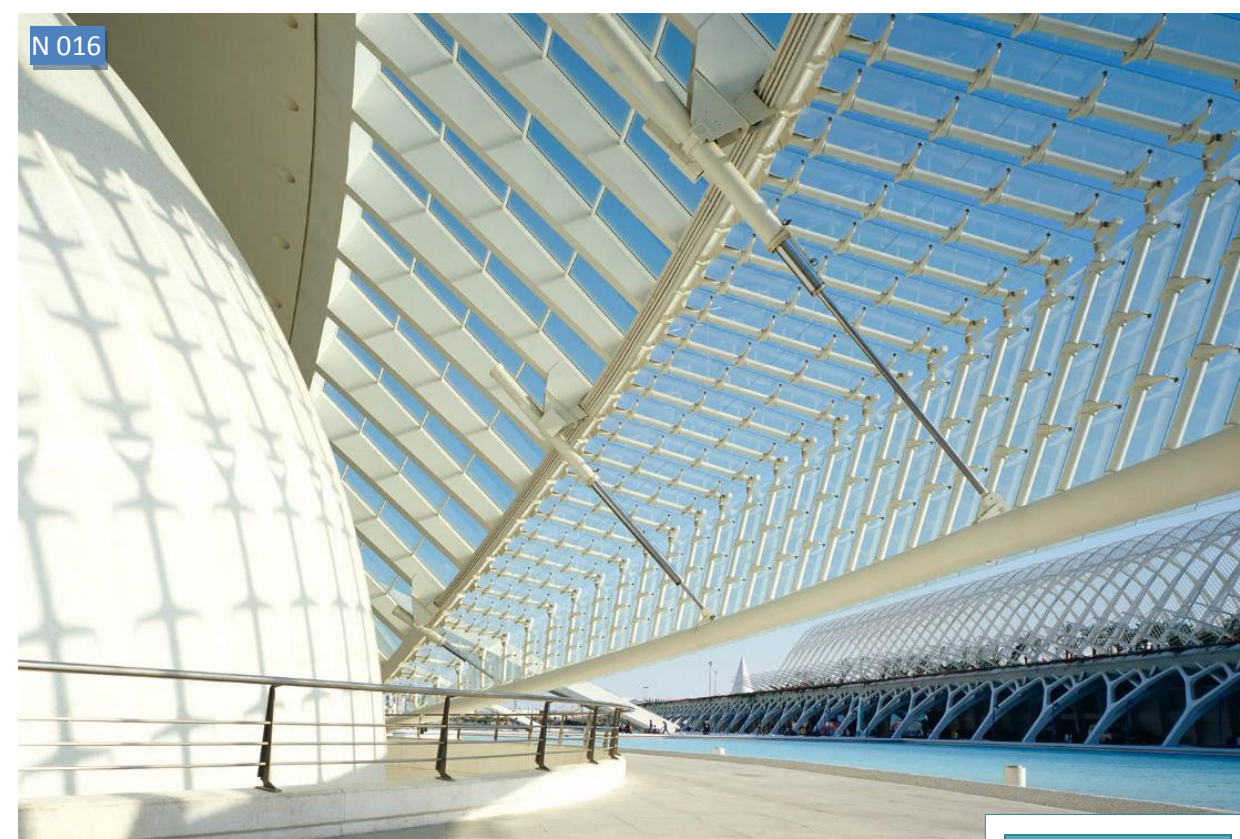
### 1.3. CÚPULA DEL HEMISFERIC:

La superficie elegida para su estudio se trata de la cúpula que cubre completamente el hemisferic (pupila), está concebida de tal manera que al verla por el exterior representar un globo ocular humano, simbolizando los parpados se encuentra la mayor parte de la cúpula que lo cubre, las cancelas cuando alcanzan su máxima apertura dotan al elemento de pestañas, observando todo el conjunto reflejado en los estanques exteriores podemos apreciar el llamado por Calatrava “ojo de la sabiduría” en su forma completa.

La superficie tiene forma de elipsoide, esta geometría viene conferida por cinco arcos rebajados formados por vigas cajón que son la estructura portante de la cúpula, y otros dos arcos perimetrales a nivel del estanque y paralelos al plano de superficie que cierran la estructura del elipsoide, este perímetro recibe el nombre de Carl Sagan en honor al astrónomo norteamericano.

Los cinco nervios principales están en la dirección de la máxima luz, al contrario de la lógica en cálculos de estructuras de este tipo en la que su dirección debería ser la de menor luz, por este motivo, estos nervios descansan en cada vértice de la estructura en unos apoyos en forma de trípode de estructura mixta de hormigón blanco y acero que transmiten las cargas a la cimentación y a su vez ésta al terreno.

Las uniones transversales entre nervios se resuelven mediante perfiles laminados curvos que unen perpendicularmente dichos arcos rebajados entre sí, dejando unos huecos de 2.8 m que serán ocupados por la cristalería.



La cubrición del elemento se realiza por medio de laminas metálicas en la parte superior de la cúpula y mediante cristaleras en ambos laterales de ésta, hay que añadir además el sistema de cancelas que permite la apertura de los laterales a modo de parpado mediante unos mecanismo mecánicos acoplados a la estructura laminada.

Bajo la formación del trípode se dispone otro sistema de apertura de geometría triangular que actúan a modo de puertas elevadas al interior de la carcasa.

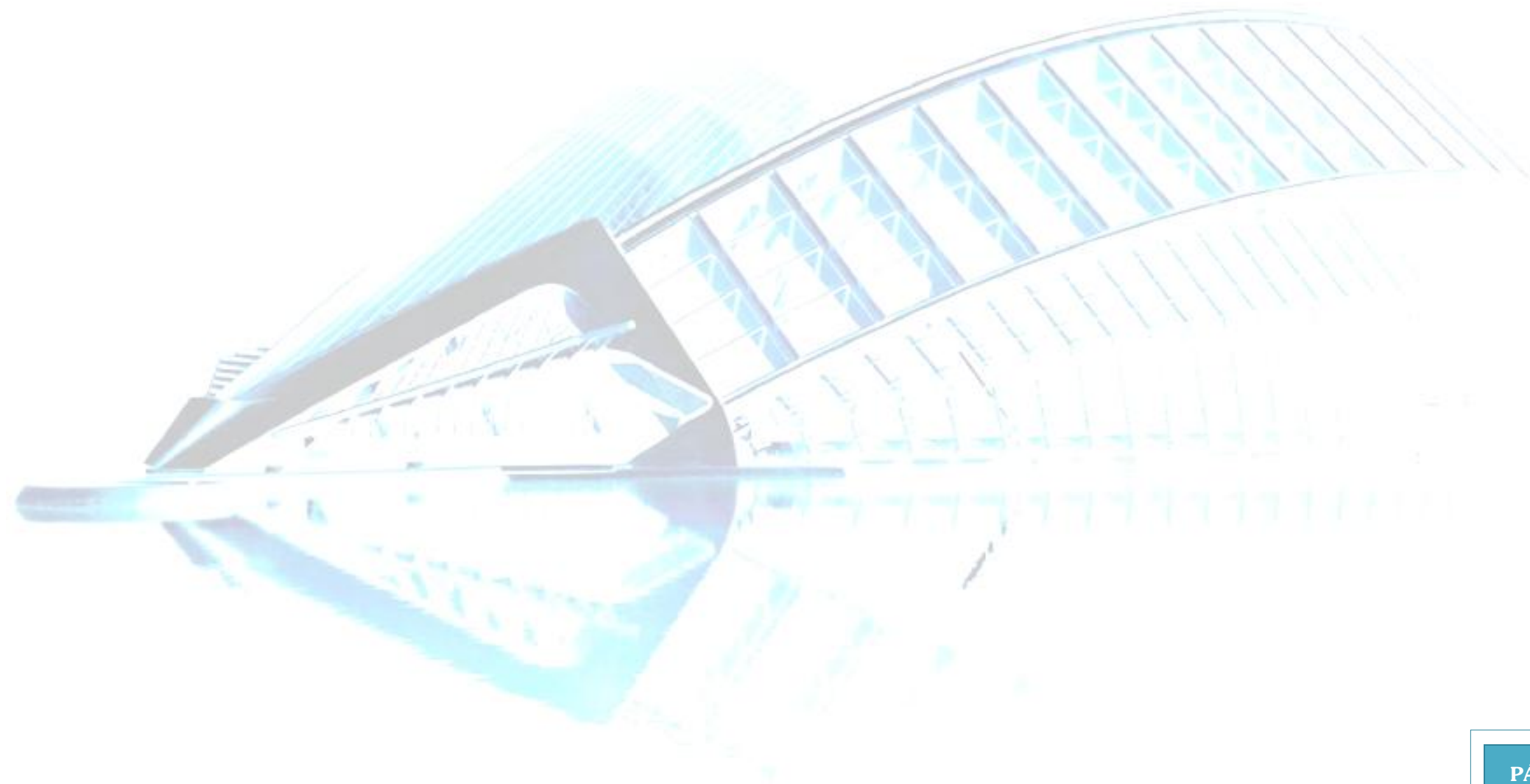
Las dimensiones a grandes rasgos de este elemento son:

- Longitud 102 m
- Anchura 47.6 m
- Altura 22.5 m
- Superficie 1700 m<sup>2</sup>
- Ancho cristaleras 2.8 m



## 1.4. ARQUITECTO

---



## 1. INTRODUCCION:

### 1.4. SANTIAGO CALATRAVA VALLS:

Santiago Calatrava Valls es un arquitecto español nacido en 1951 en Benimamet, Valencia.

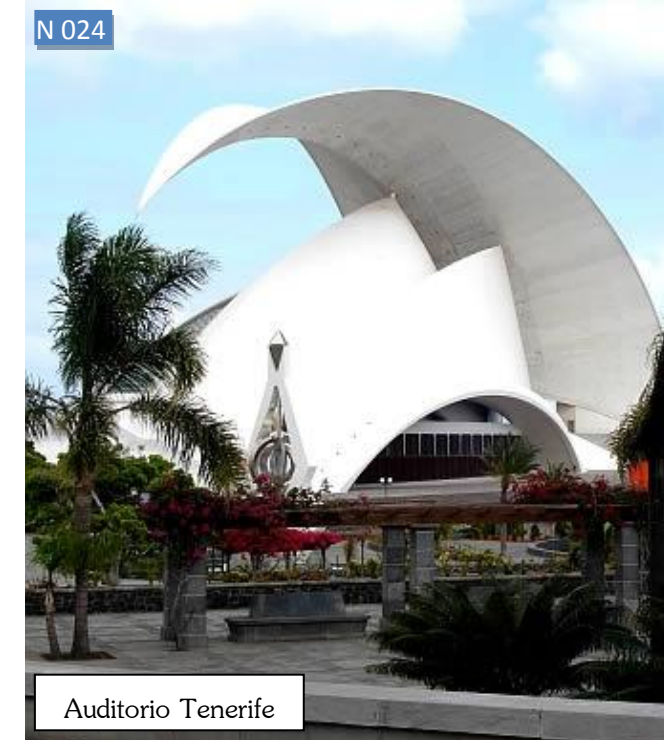
En 1974 concluyó sus estudios de arquitectura en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia.

Entre los años 1975 y 1979 se graduó en ingeniería civil en la ciudad de Zurich, en el Politécnico Federal, donde unos años más tarde se doctoró en 1981 con una investigación sobre la plegabilidad de las estructuras espaciales.

Durante el mismo año abre en Zurich un estudio de arquitectura e ingeniería, posteriormente en 1989 sería el turno del estudio de Paris.

Ha participado en numerosos concursos internacionales con el objetivo de la construcción de obras públicas. La mayor parte de sus obras y creaciones están en países como Suiza, España, Alemania, Francia y Canadá.

Su trabajo ha sido comparado con el de los incomparables Lloyd Wright o Gaudí, y ha sido objeto de un buen número de publicaciones y de exposiciones que se le han dedicado en Basilea, Toronto, Nueva York, Tokio, Valencia, Londres y otras ciudades.





Asociaciones y otros títulos:

- Miembro de la Asociación Internacional para Ingeniería de Puentes y Estructural (Zurich, 1982)
- BSA (Unión de Arquitectos Suizos, 1987)
- Academia Internacional de Arquitectura (Sofía , 1987)
- Les Arts et Lettres (París, 1998).
- Miembro Honorario de la BDA (Bund Deutscher Architekten, 1989),
- Real Academia de Bellas Artes de San Carlos (Valencia, 1992)
- Academia Europea (Colonia , 1992),
- RIBA (Royal Institute of British Architects, Londres, 1993)
- Colegio de Arquitectos de México, 1994.
- Doctor Honoris Causa por la Universidad Politécnica de Valencia (1993)
- Universidad de Sevilla (1994)
- Heriot-Watt University, Edimburgo (1994)
- University College, Salford (1995)
- University of Strathclyde, Glasgow (1996)
- University of Technology, Delft (1997)
- Milwaukee School of Engineering, Milwaukee (1997)

Proyectos (entre otros muchos):

- La Estación de Ferrocarril de Stadelhofen (1983-1990)
- Exposición Universal de Sevilla '92
- El Puente Peatonal del Campo de Volantín
- Aeropuerto de Bilbao
- Torre de Montjuïc
- El Centro Internacional de Ferias y Congresos en Santa Cruz de Tenerife
- La Ciudad de las Artes y las Ciencias, en Valencia
- La estación de metro "Alameda" en Valencia.
- El Museo de Arte de Milwaukee, Wisconsin.
- Edificio BCE en Toronto, Canadá.
- Torre Turning Torso en Malm, Suecia



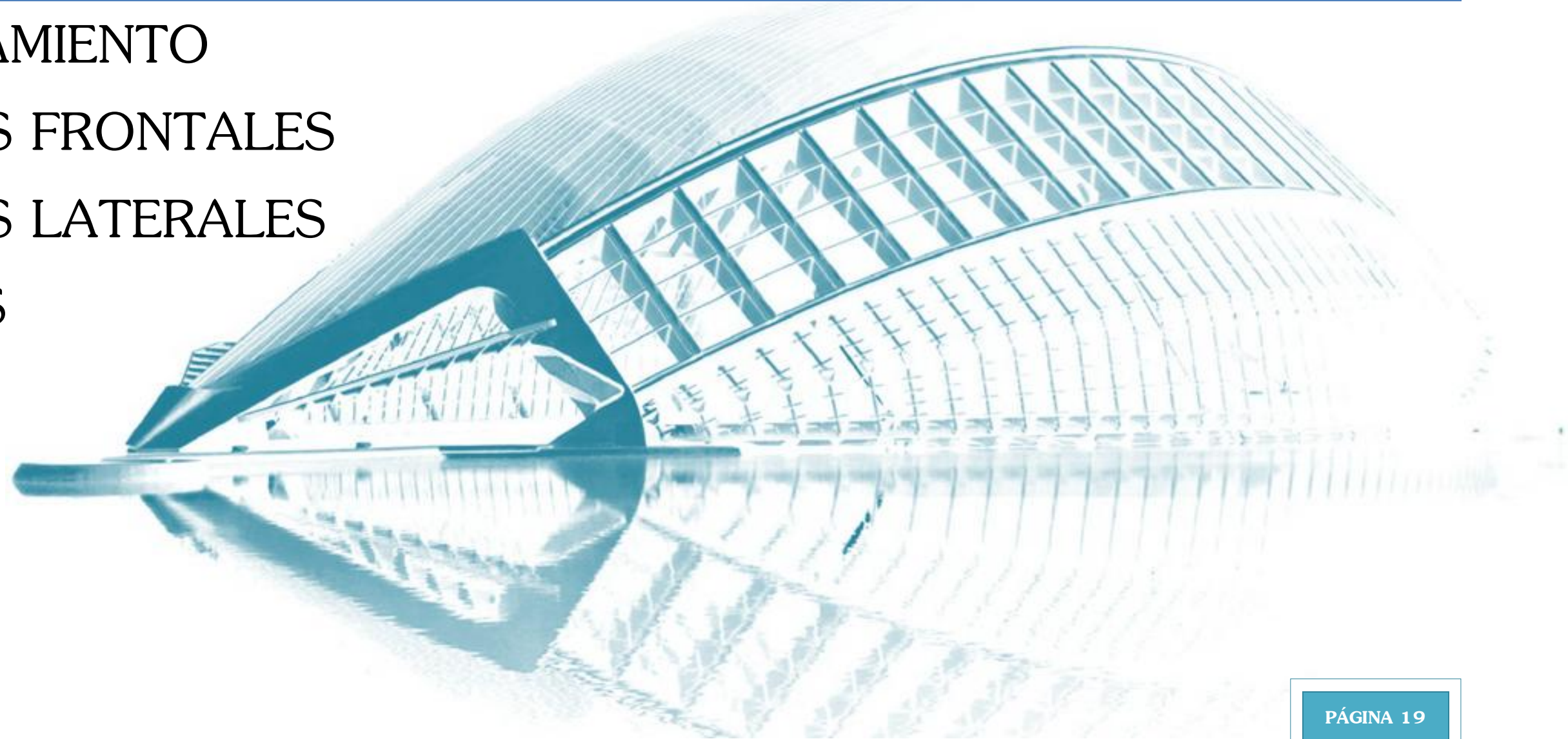
## 2.DOCUMENTACION GRÁFICA

2.1 EMPLAZAMIENTO

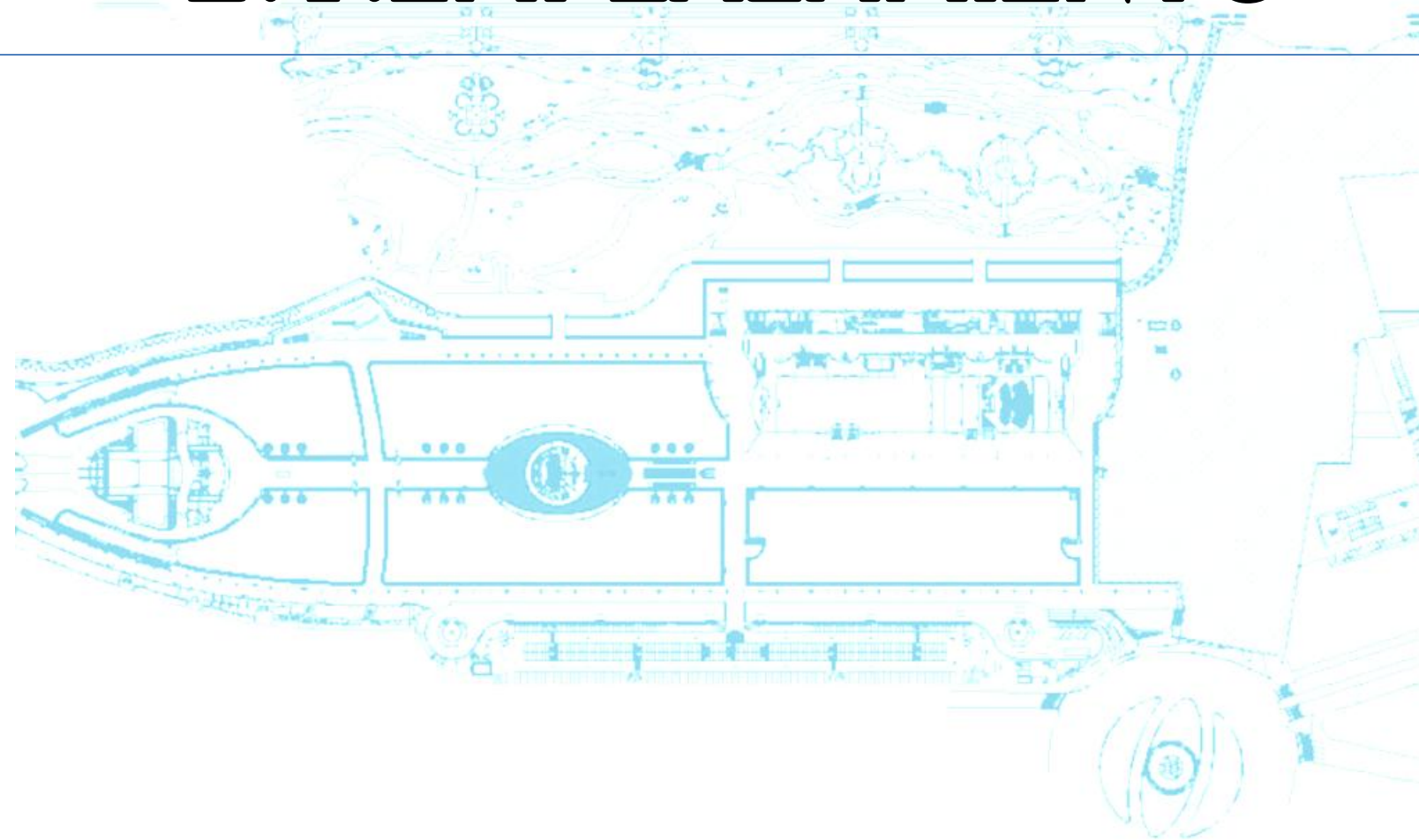
2.2 ALZADOS FRONTALES

2.3 ALZADOS LATERALES

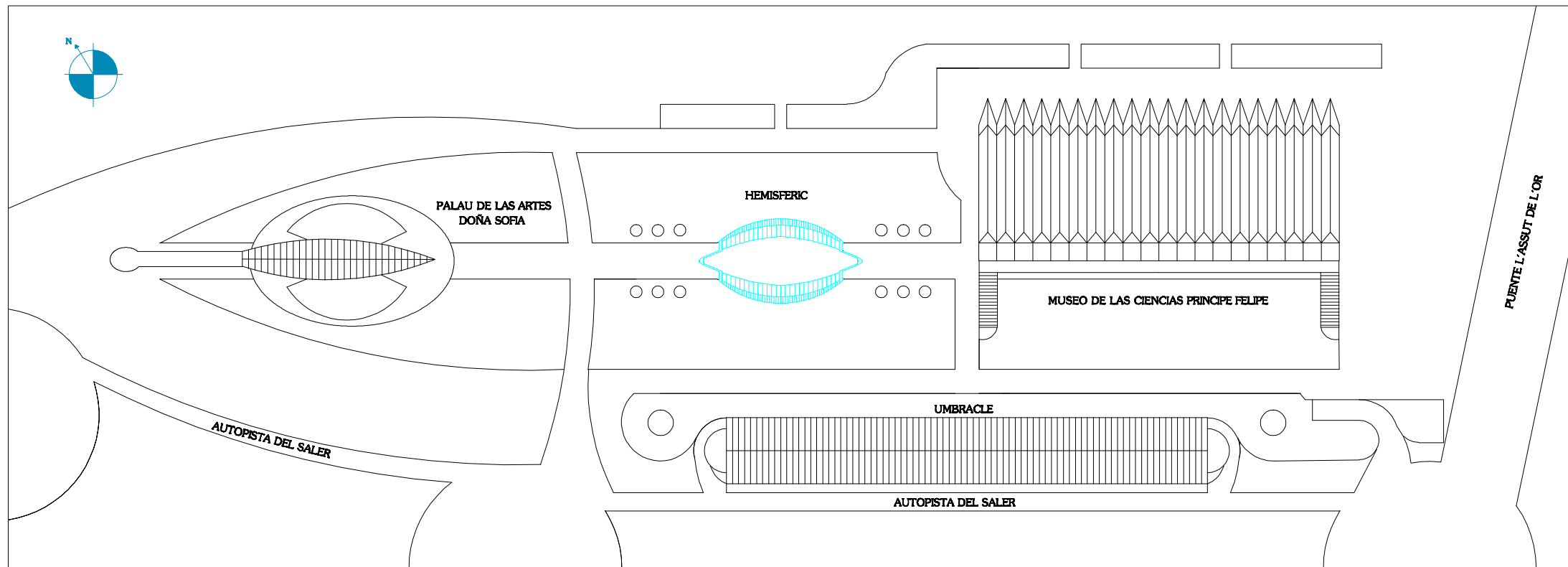
2.4 PLANTAS



## 2.1.EMPLAZAMIENTO



PLANO 01 Plano de Emplazamiento

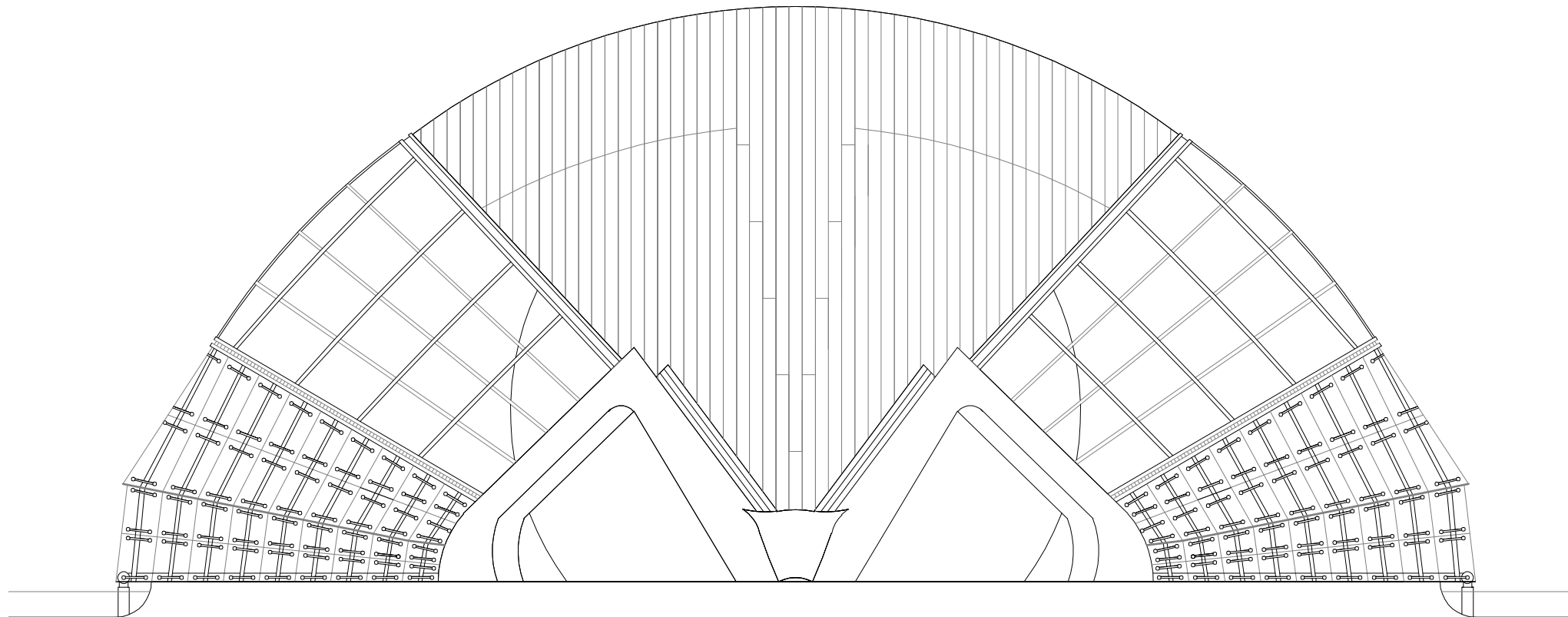


Escala 1/3000

## 2.2. ALZADOS FRONTALES

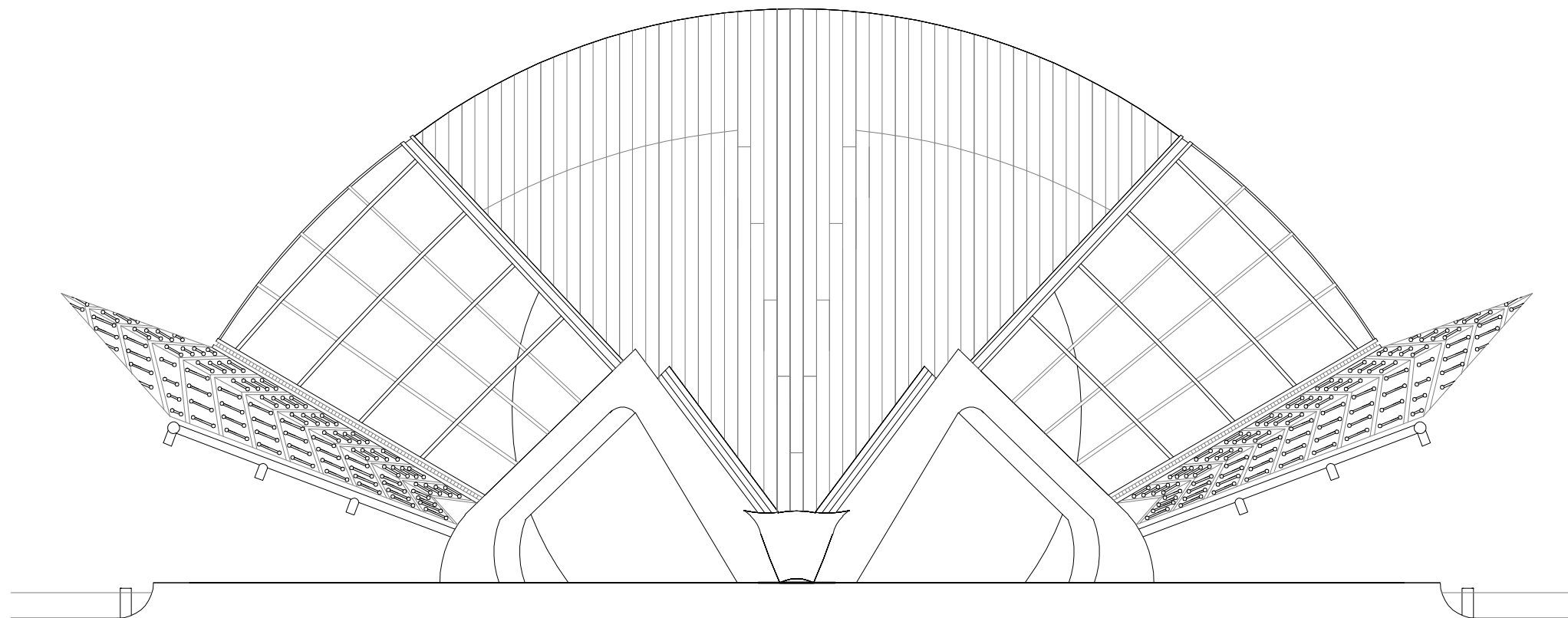


PLANO 02 Alzado Este (cancelas cerradas)



Escala 1/200

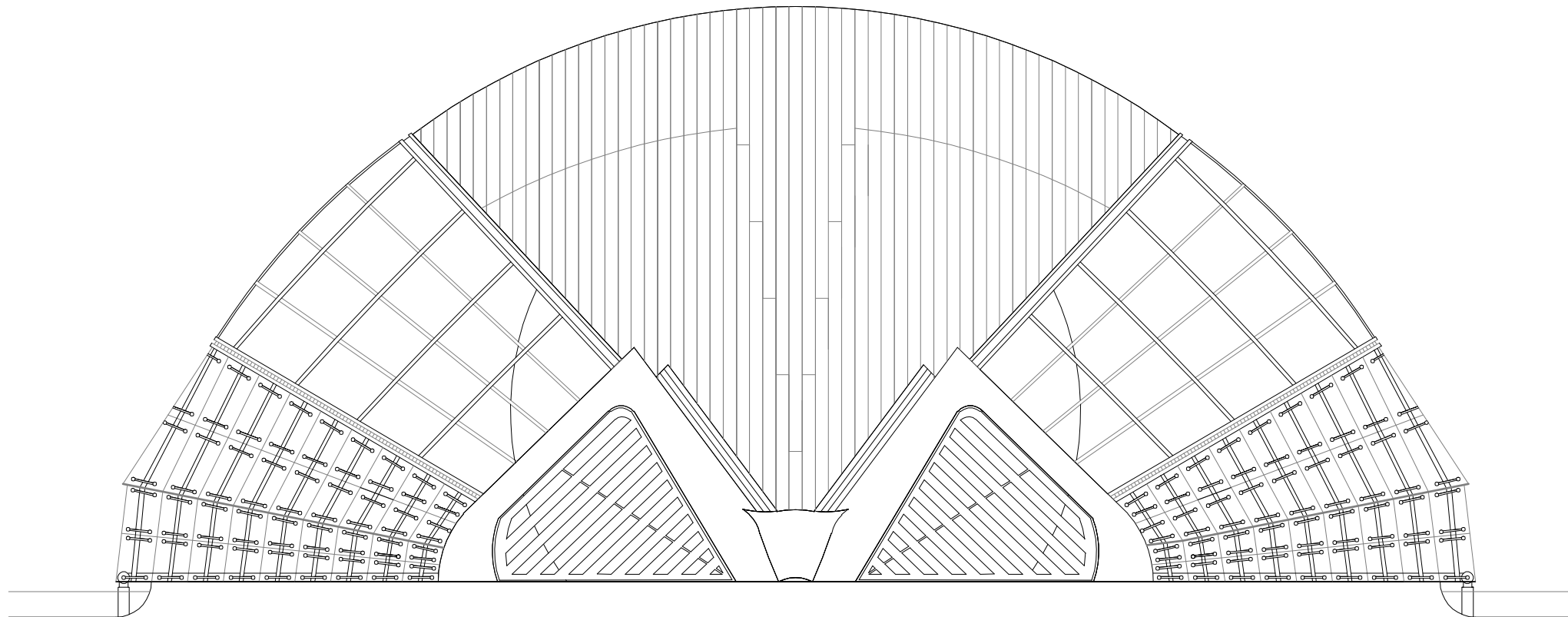
PLANO 03 Alzado Este (cancelas abiertas)



Escala 1/200

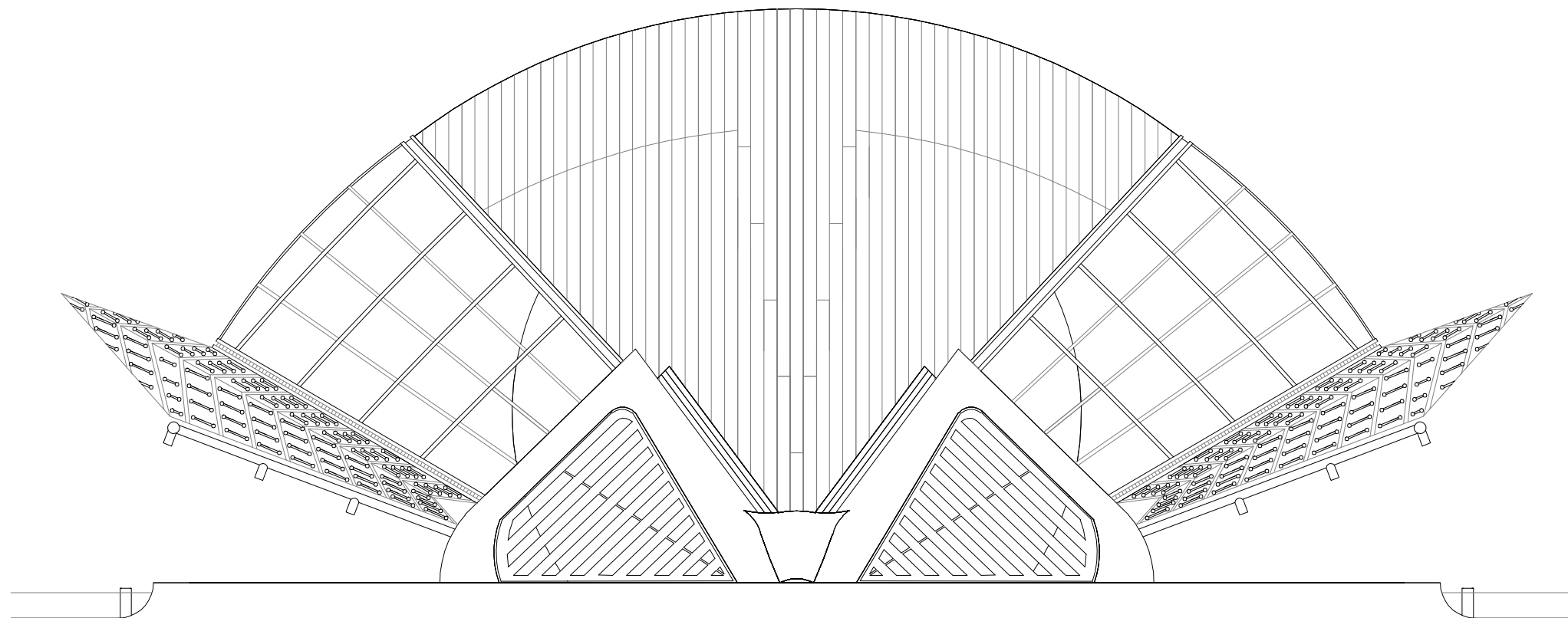


PLANO 04 Alzado Oeste (cancelas cerradas)



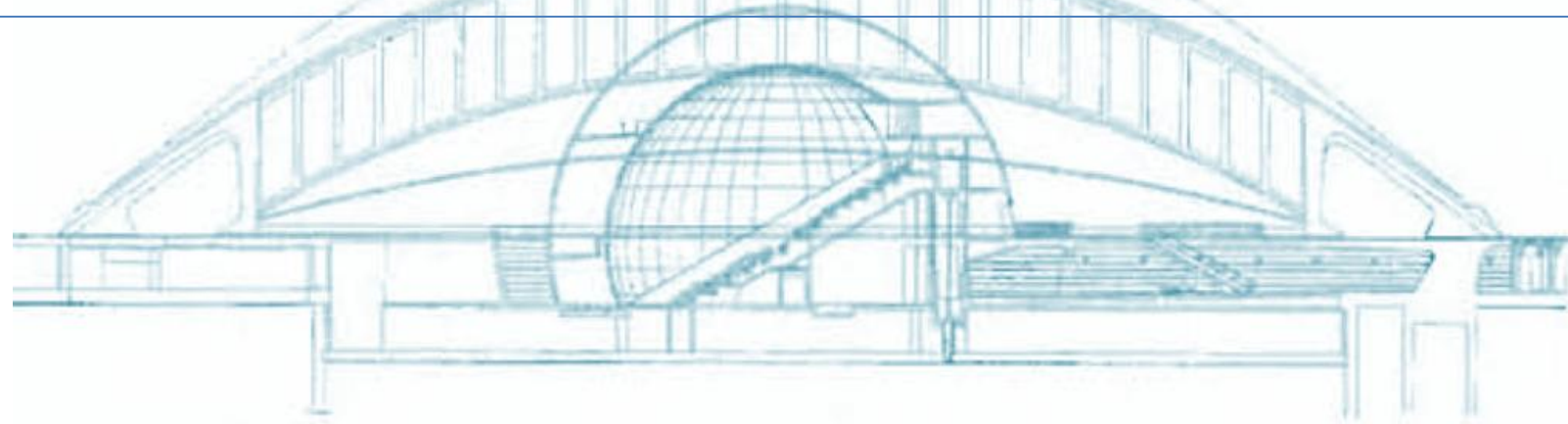
Escala 1/200

PLANO 05 Alzado Oeste (cancelas abiertas)

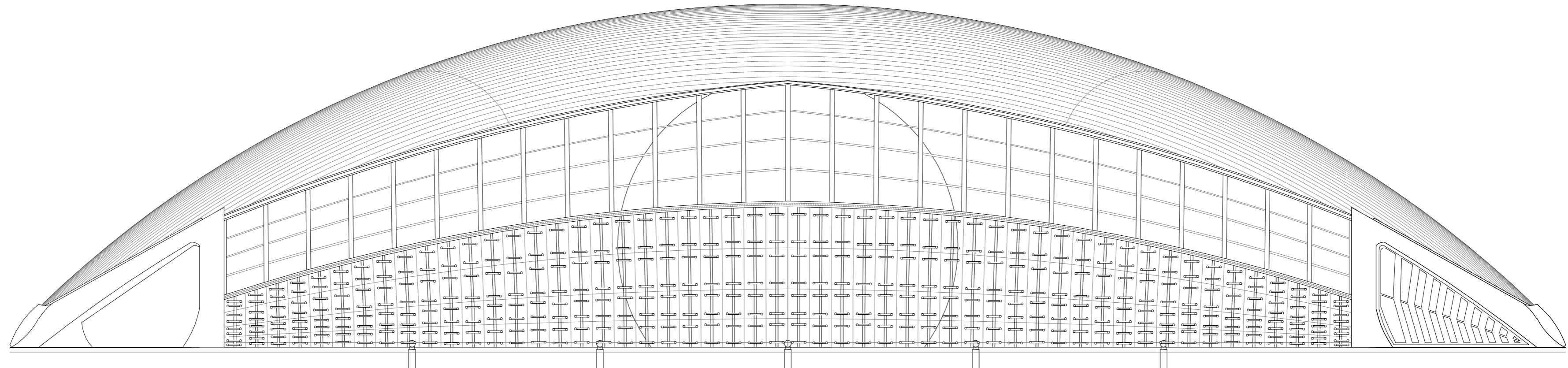


Escala 1/200

## 2.3. ALZADOS LATERALES



PLANO 06 Alzado Norte (cancelas cerradas)

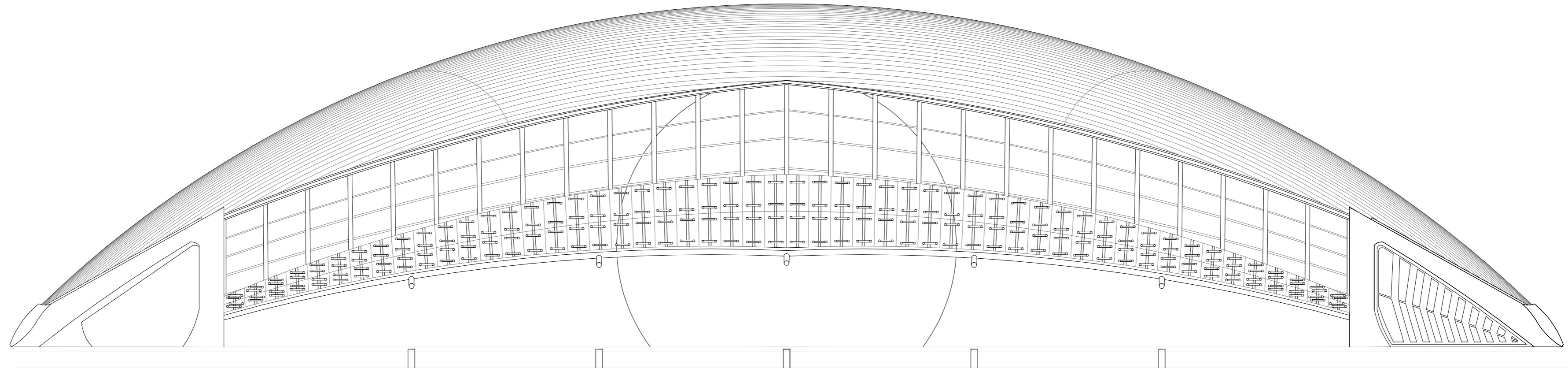


Escala 1/200

Estudio Cúpula de L'Hemisferic

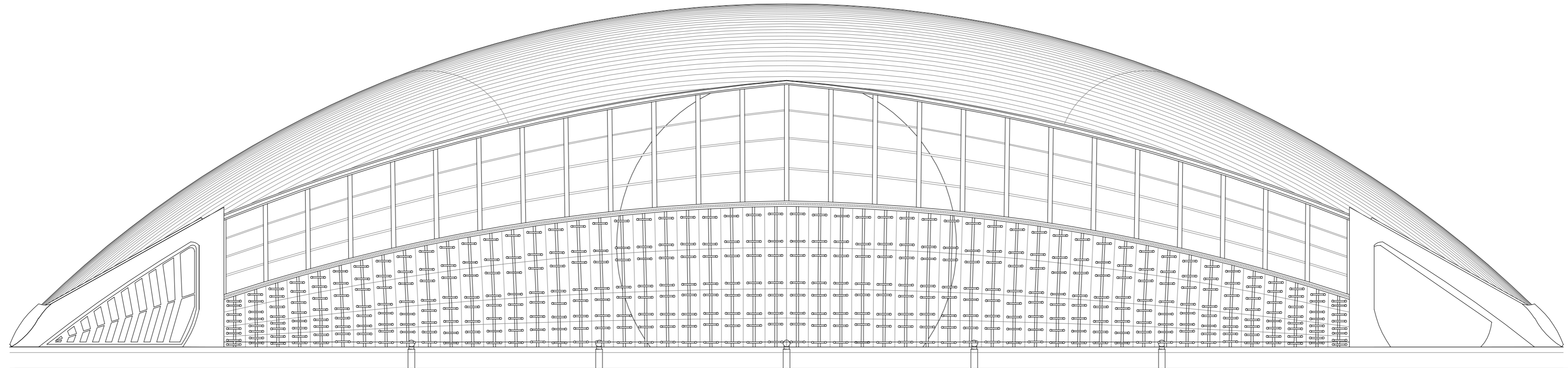
PÁGINA 28

PLANO 07 Alzado Norte (cancelas abiertas)



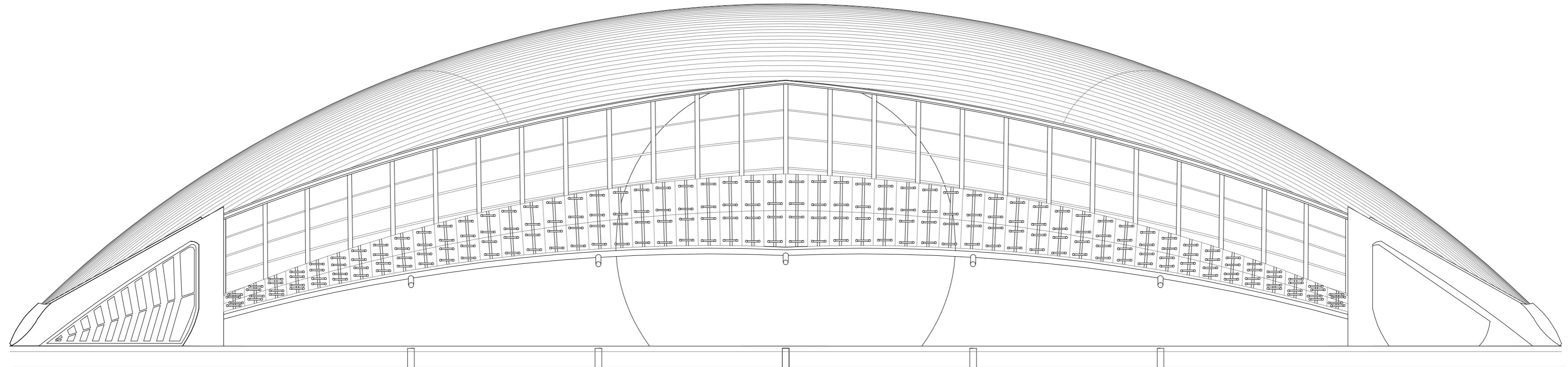
Escala 1/200

PLANO 08 Alzado Sur (cancelas cerradas)



Escala 1/200

PLANO 09 Alzado Norte (cancelas cerradas)



Escala 1/200

## 2.4. PLANTAS

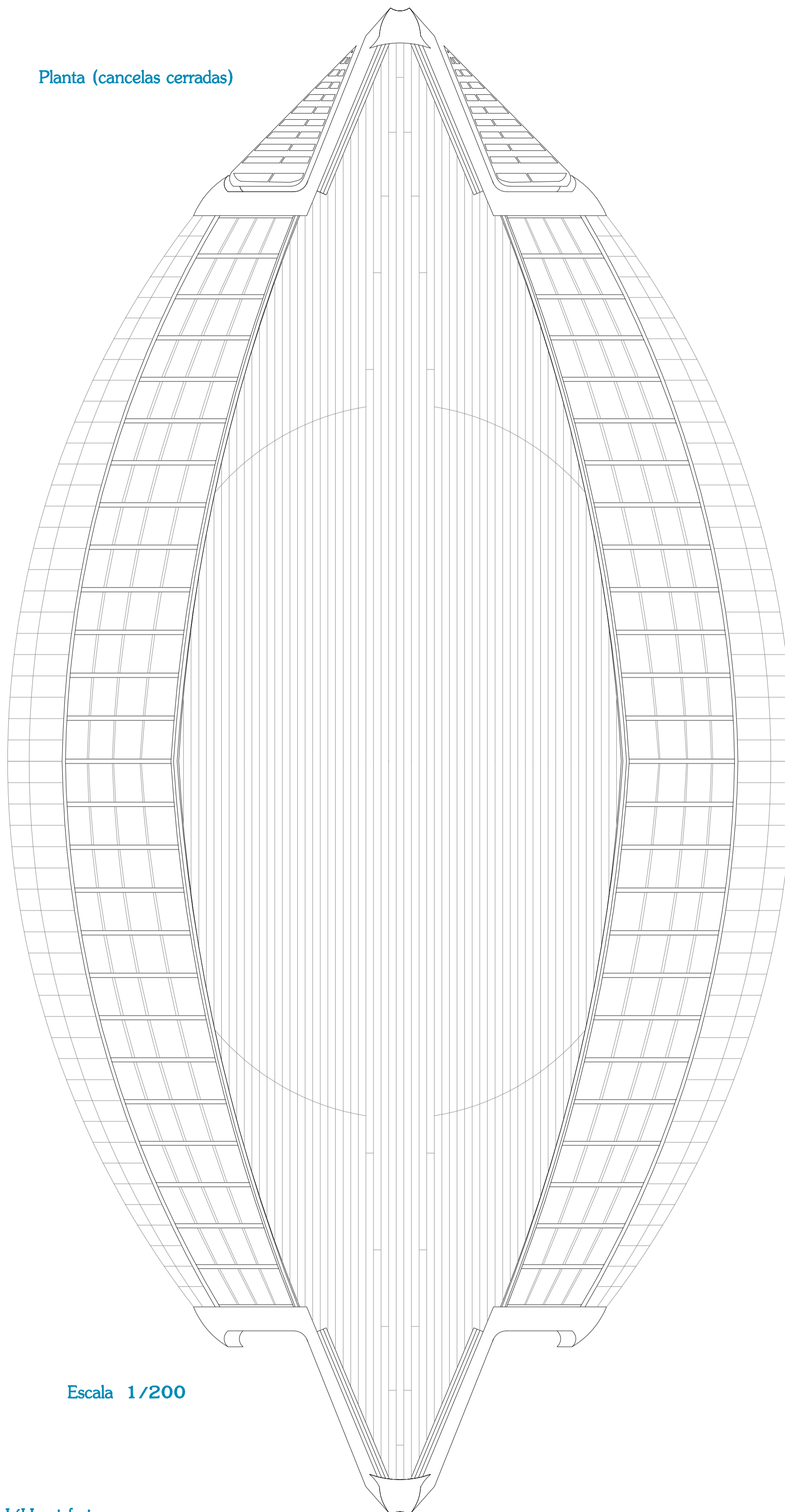


---



PLANO 10

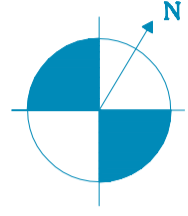
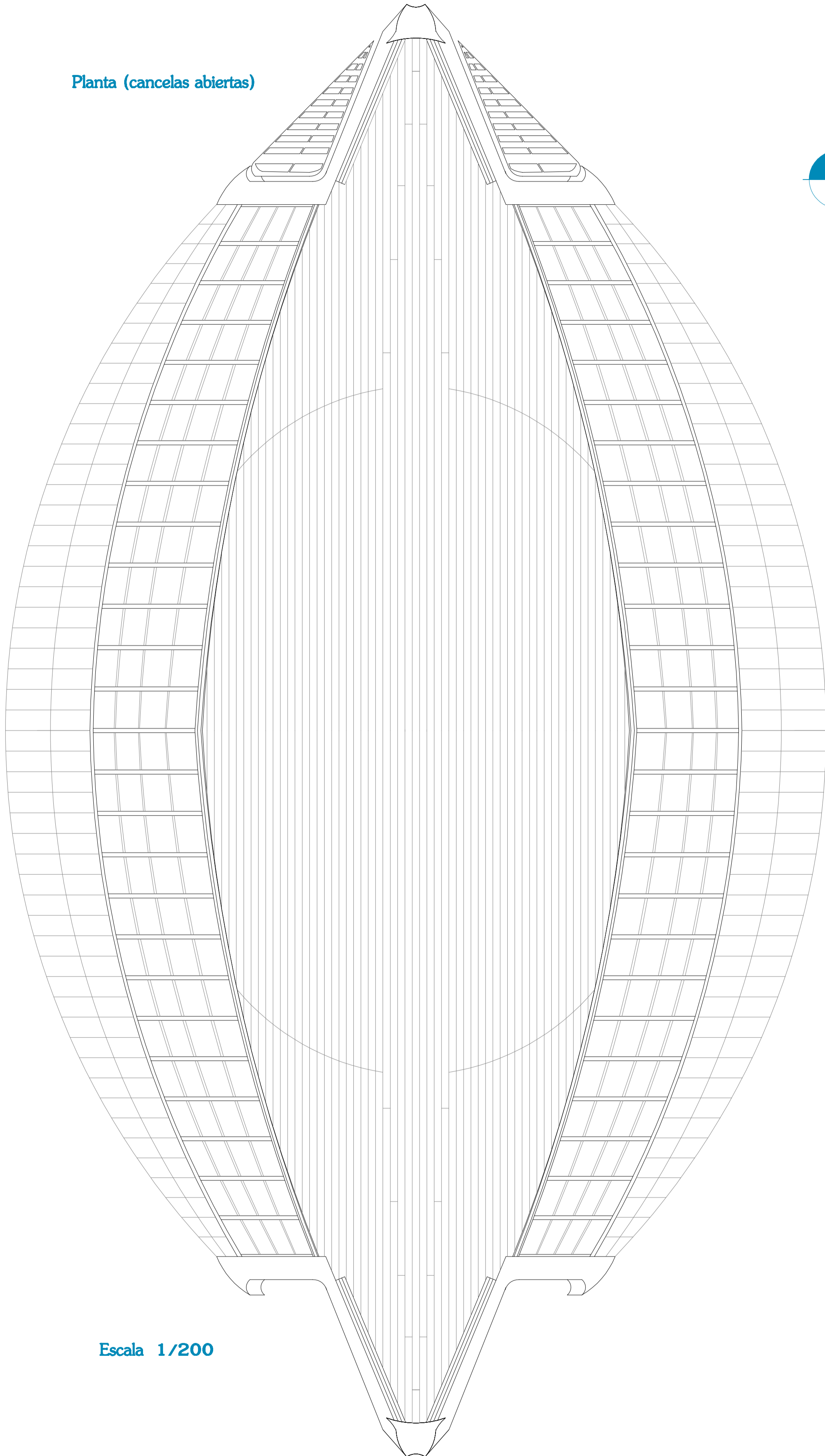
Planta (cancelas cerradas)



Escala 1/200

PLANO 11

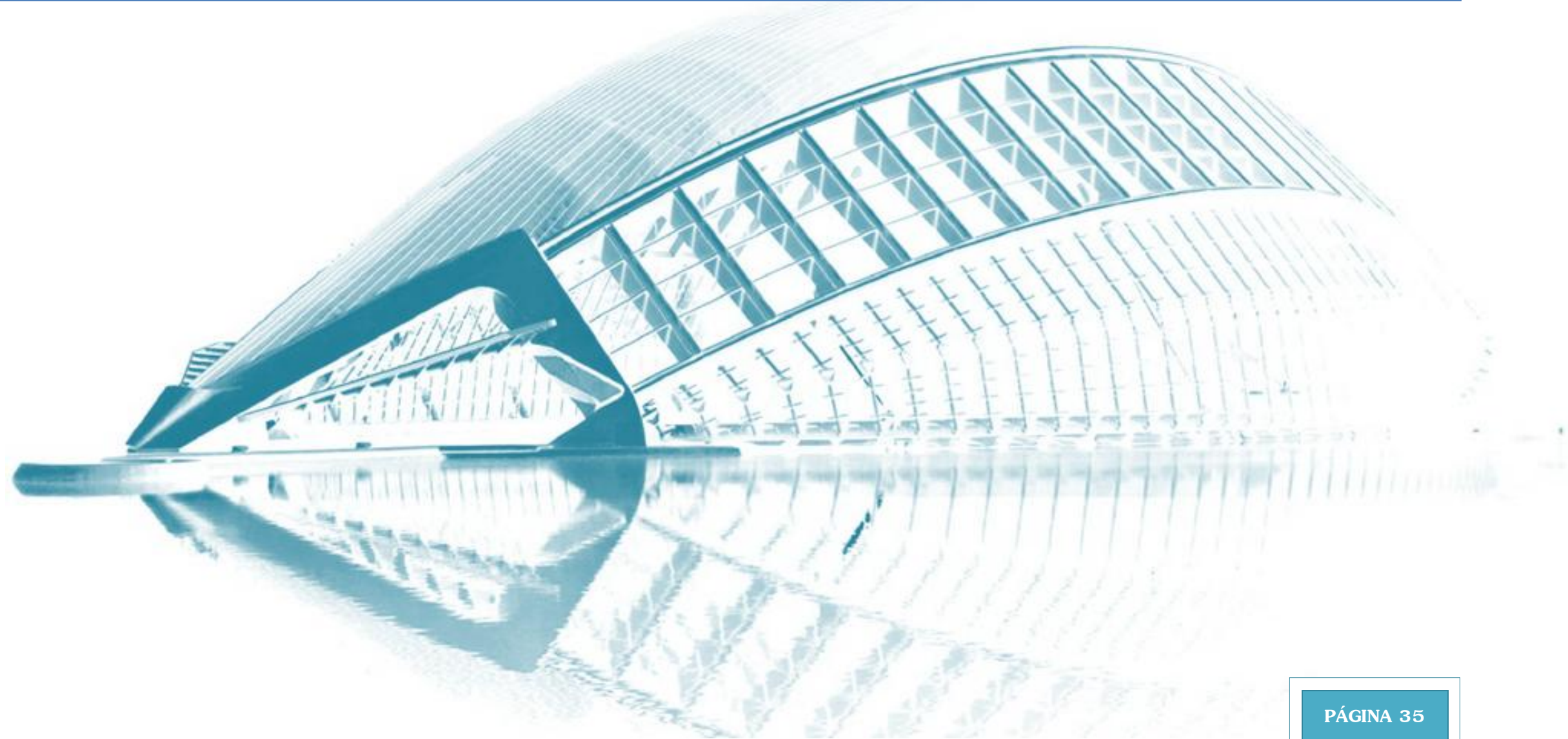
Planta (cancelas abiertas)

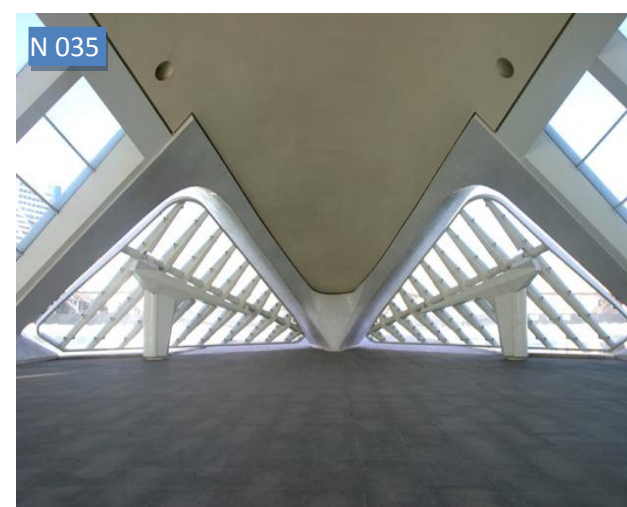
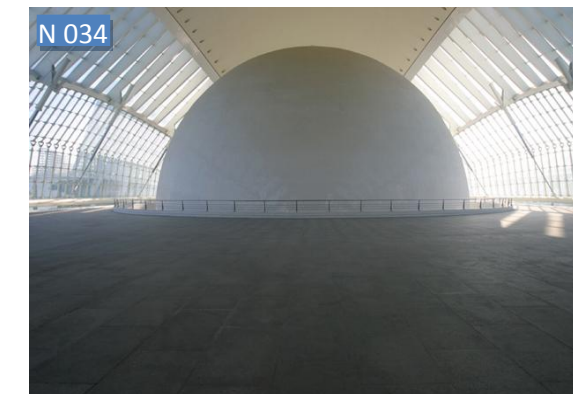


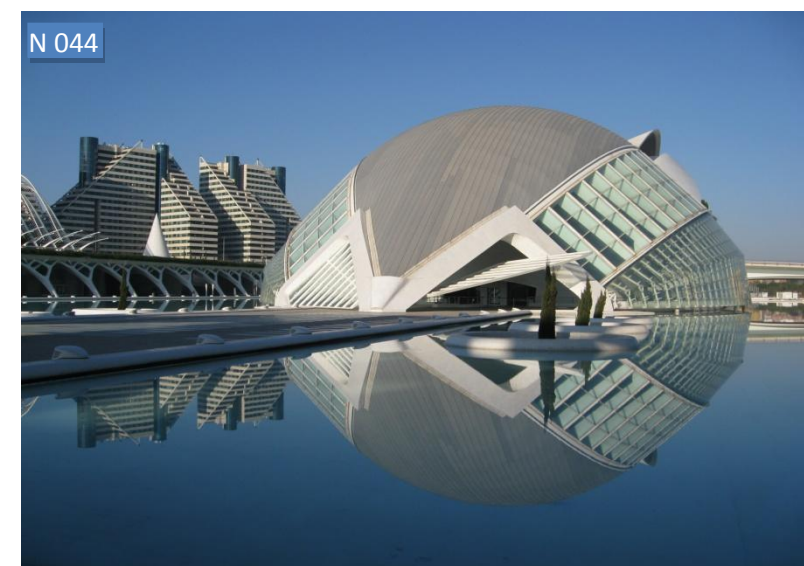
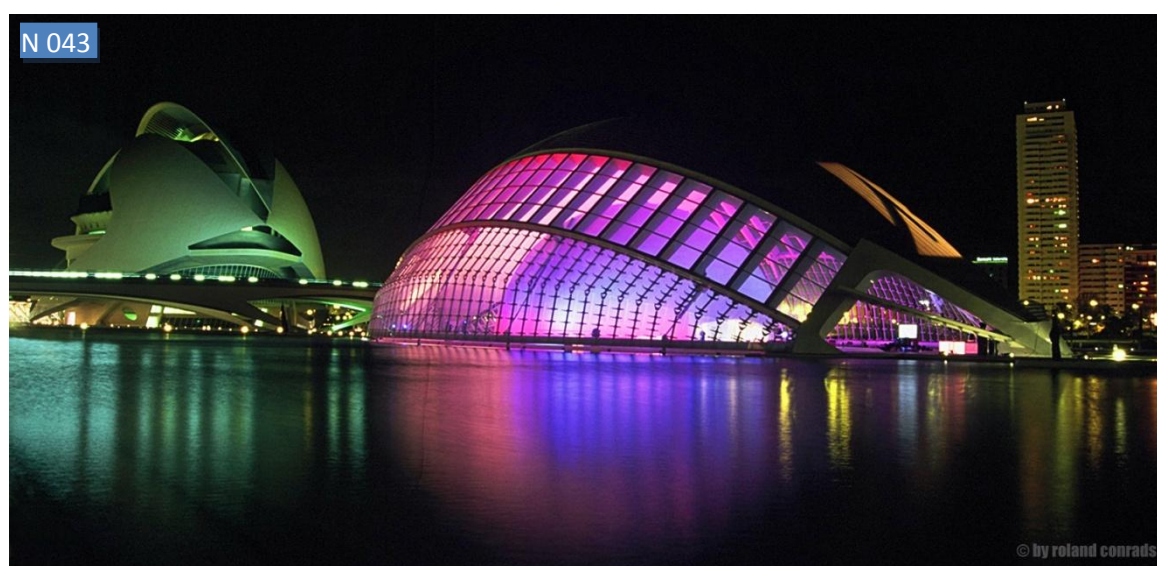
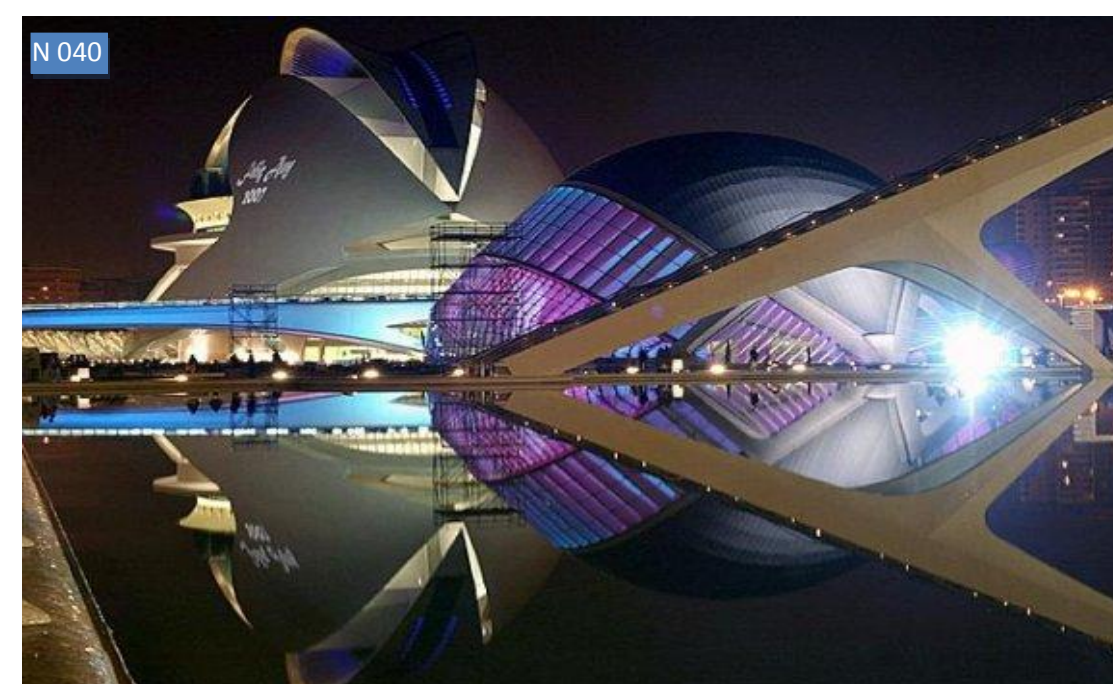
Escala 1/200

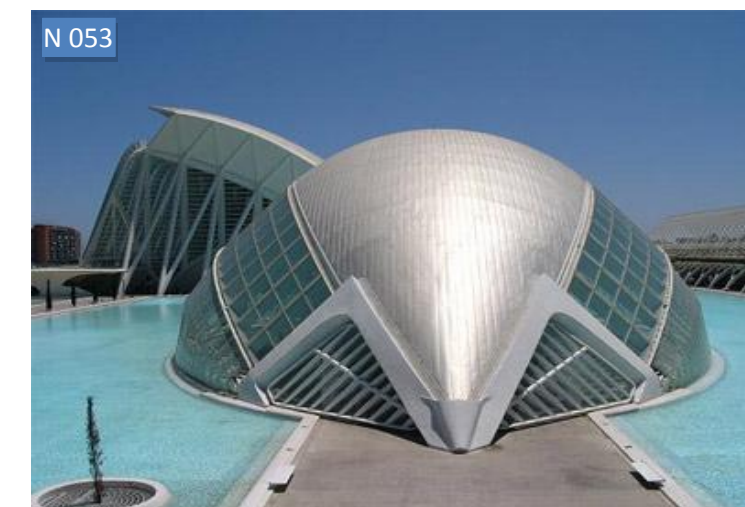
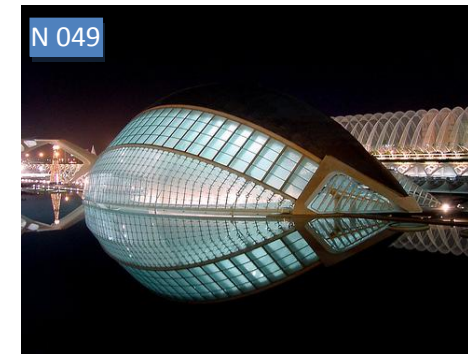
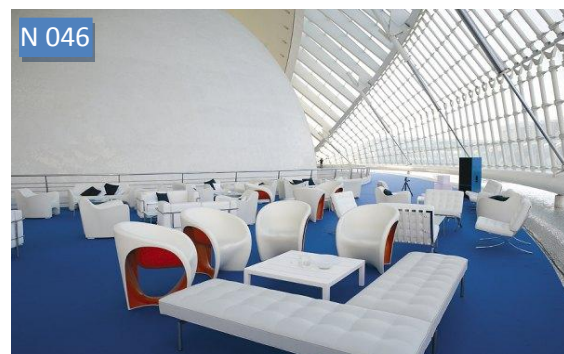
# 3.DOCUMENTACIÓN FOTOGRAFICA

---







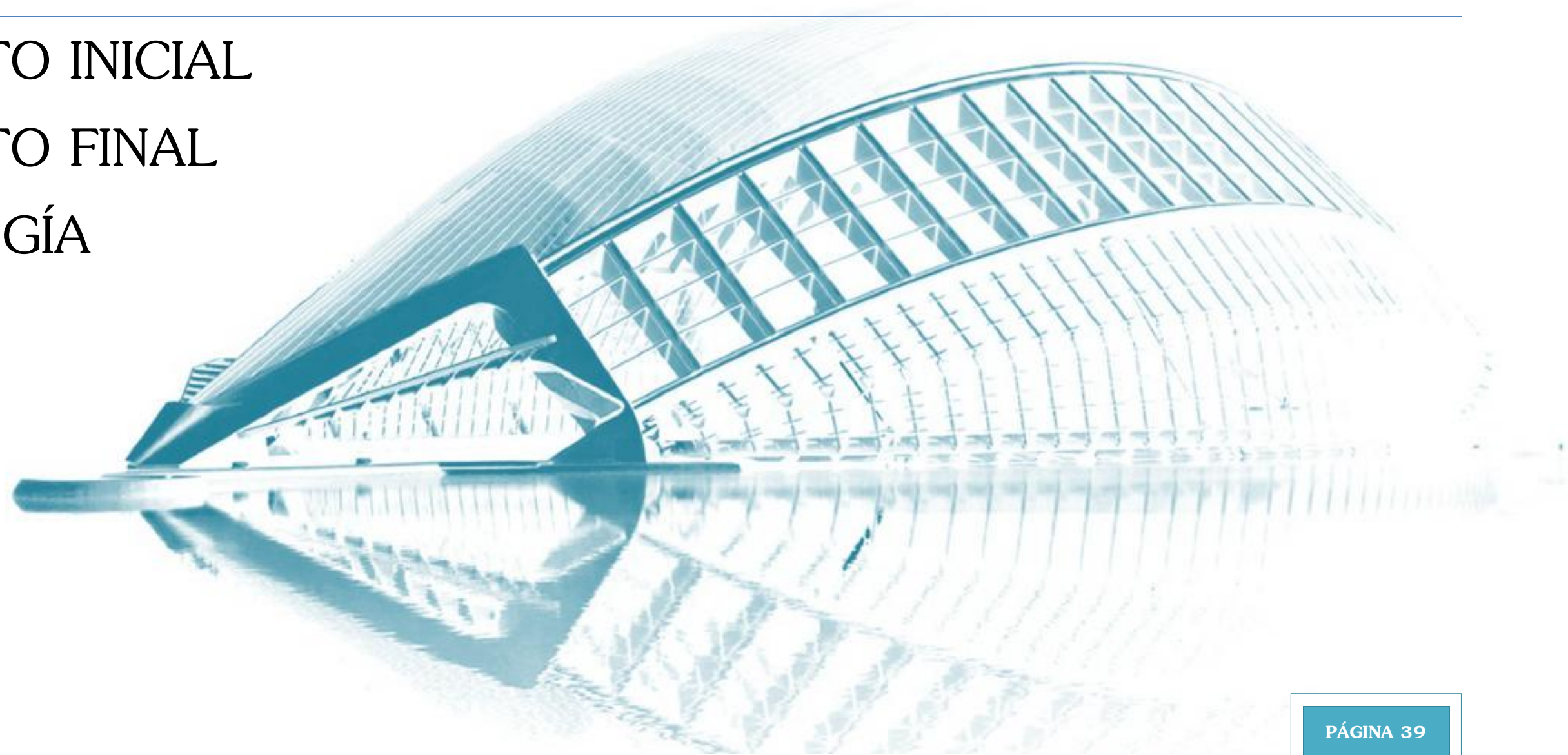


# 4.DISEÑO

4.1. PROYECTO INICIAL

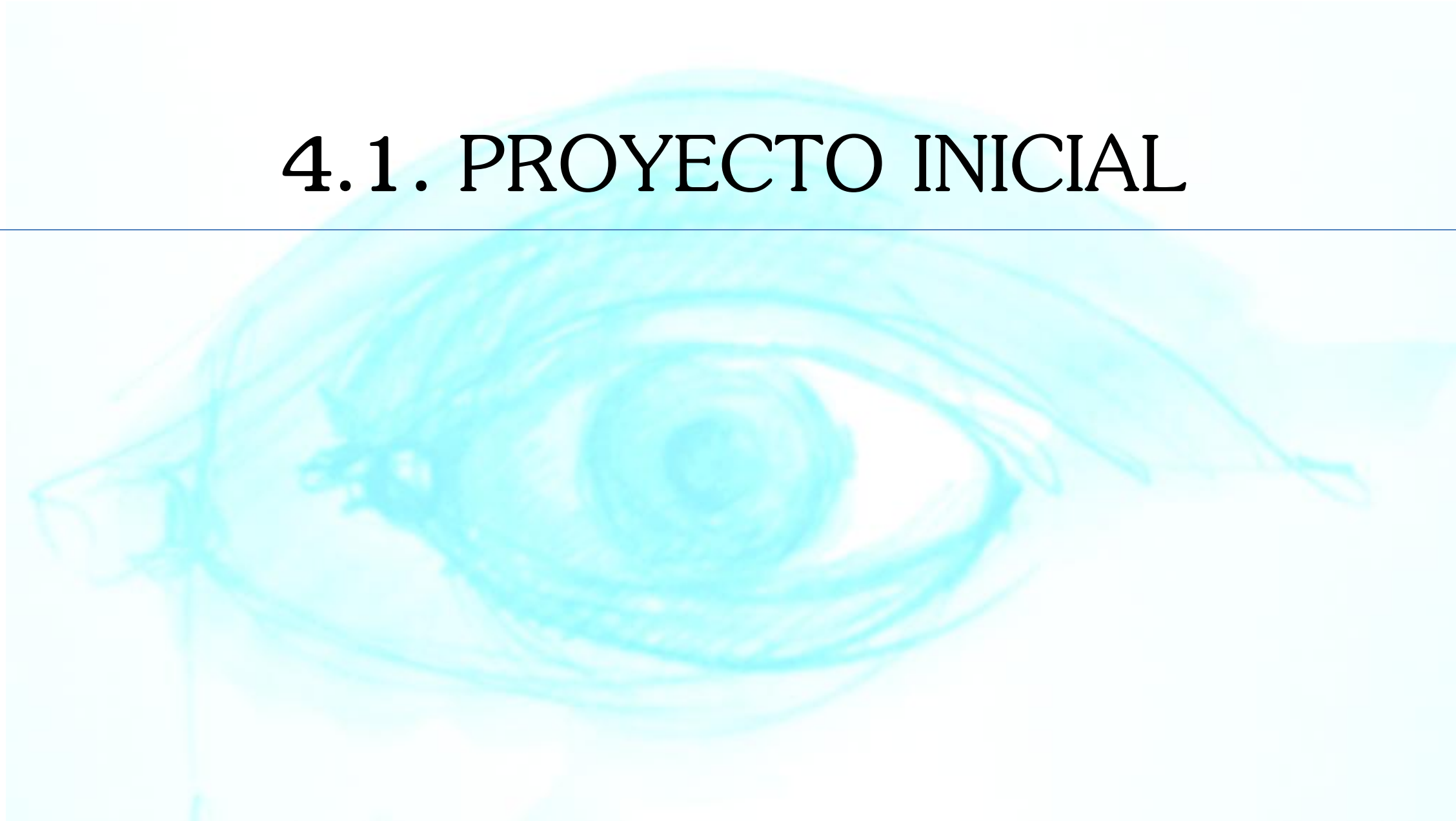
4.2. PROYECTO FINAL

4.3. SIMBOLOGÍA



## 4.1. PROYECTO INICIAL

---





## 4. DISEÑO:

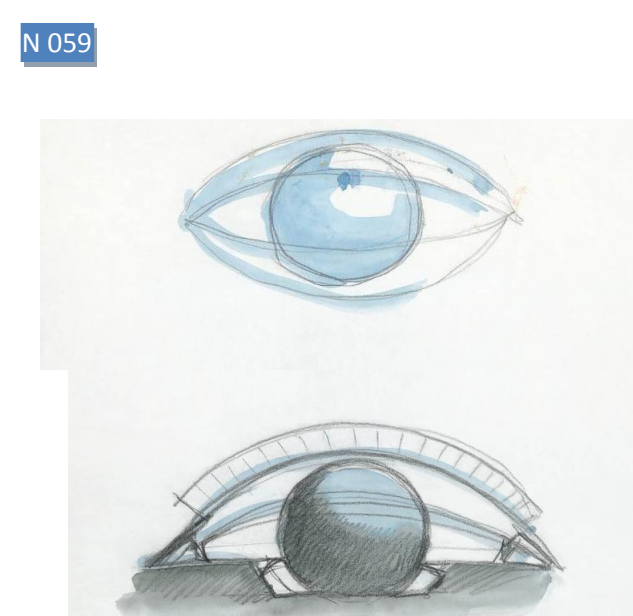
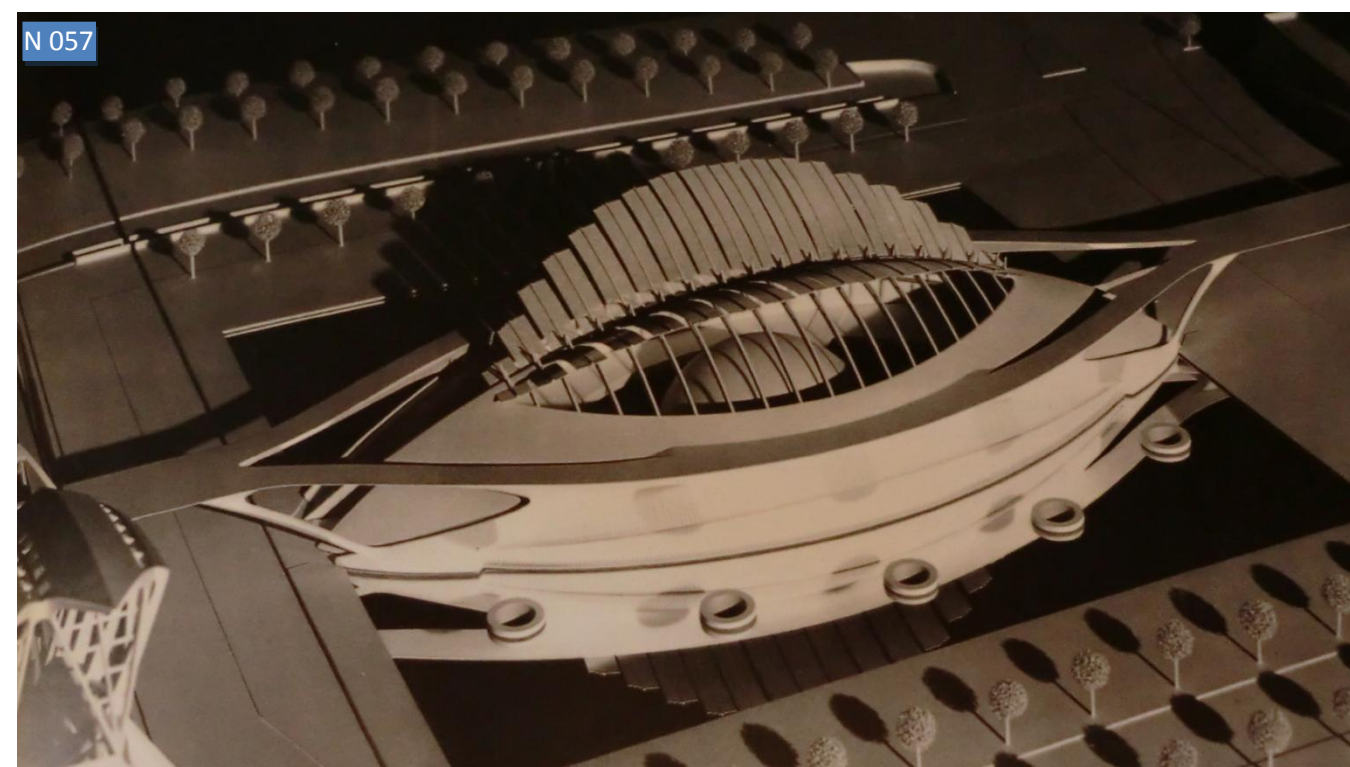
### 4.1. PROYECTO INICIAL:

El proyecto inicial que comenzó Santiago Calatrava Valls para la realización de la ciudad de las ciencias era bastante distinto del que conocemos actualmente.

Por desavenencias políticas entre el gobierno de la época y la oposición, el proyecto tuvo las modificaciones pertinentes, esto conllevó a suprimir la esbelta torre de comunicaciones así como ciertas modificaciones en cuanto a planeamiento del acondicionamiento de las superficies adyacentes a los complejos se refiere. El edificio de L'Hemisféric también sufrió estas modificaciones, como se puede apreciar en la fotografía situada a la derecha, el proyecto inicial dista bastante de la obra llevada a cabo finalmente.

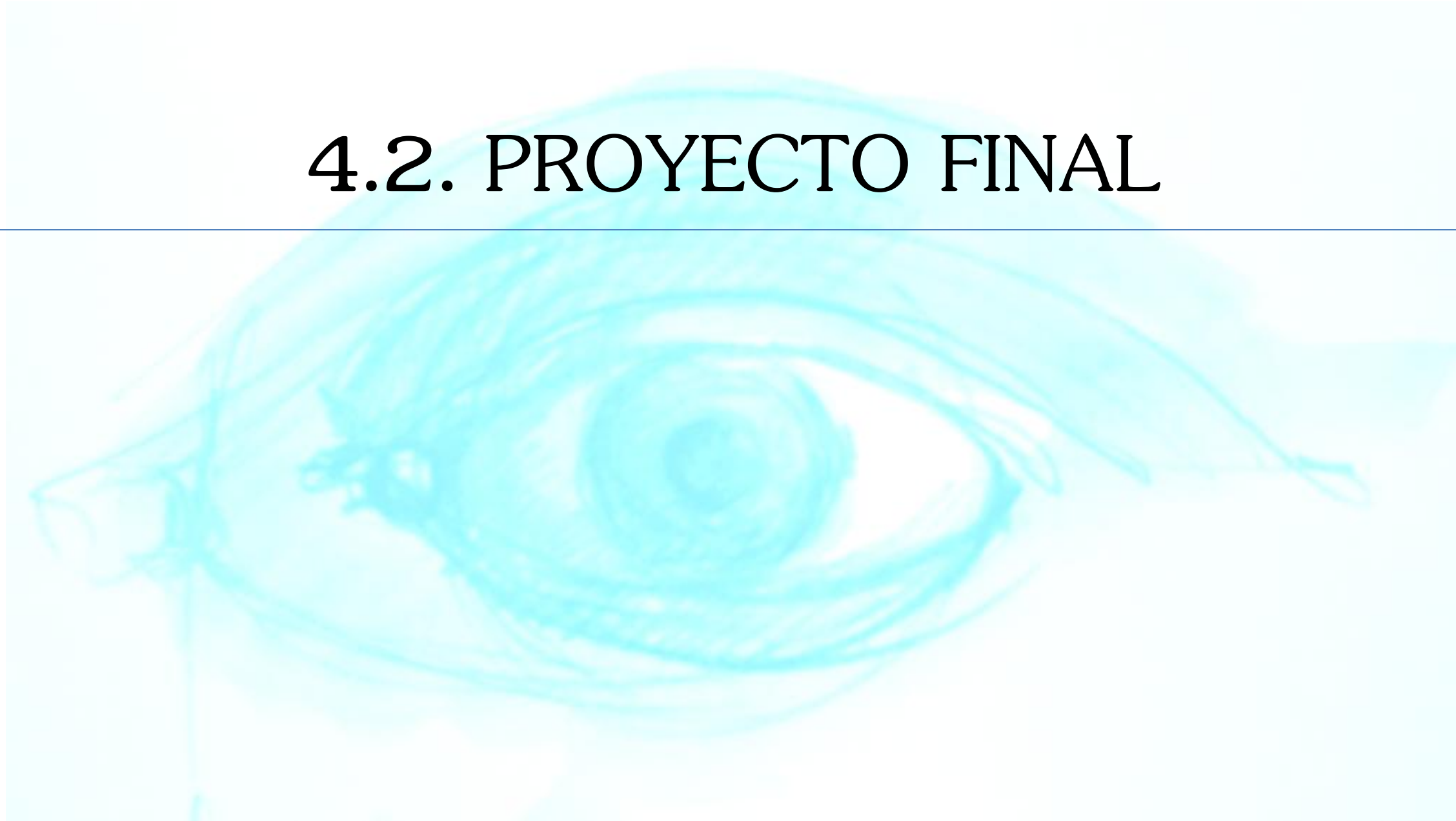
A pesar de que su forma esencial se conservó, las cancelas de apertura estaban ubicadas en la parte superior de la cúpula, éstas permitían al visitante contemplar la pupila (hemisférico) desde lo alto de unos puentes nervados situados por encima del nivel de rasante, desde los cuales se apreciaba el interior del edificio, las entradas principales se encontraban situadas donde hoy se ubican los trípodes de apoyo de hormigón blanco, y las balsas de agua artificiales tenían un tamaño más reducido y el reflejo que Calatrava quería producir en el agua estaba imposibilitado.

Aprovechando las modificaciones ordenadas por el gobierno Calatrava rediseño completamente el edificio, dotándole de un carácter más natural habitual en los diseños de éste famoso arquitecto, esto dio paso a la forma actual de L'Hemisféric.



## 4.2. PROYECTO FINAL

---



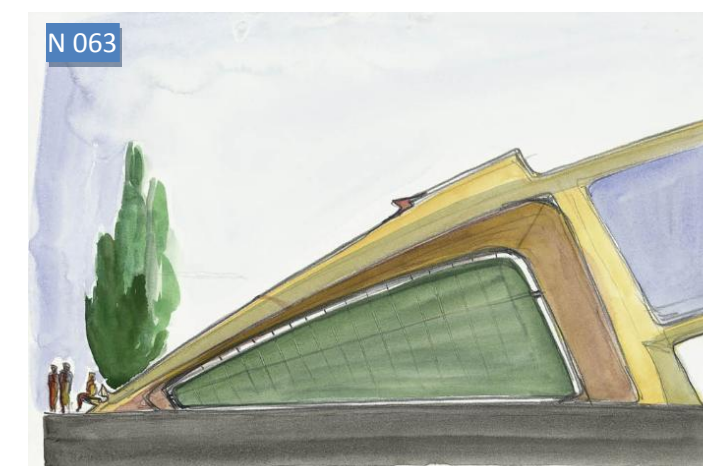
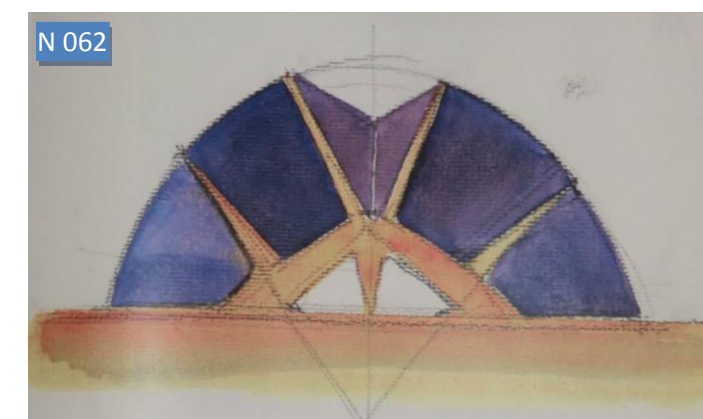
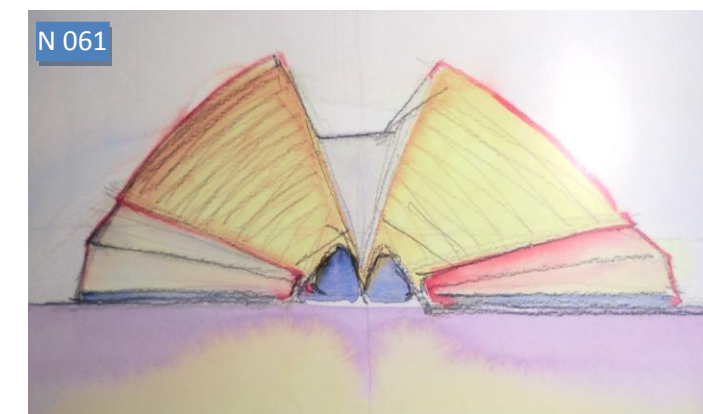
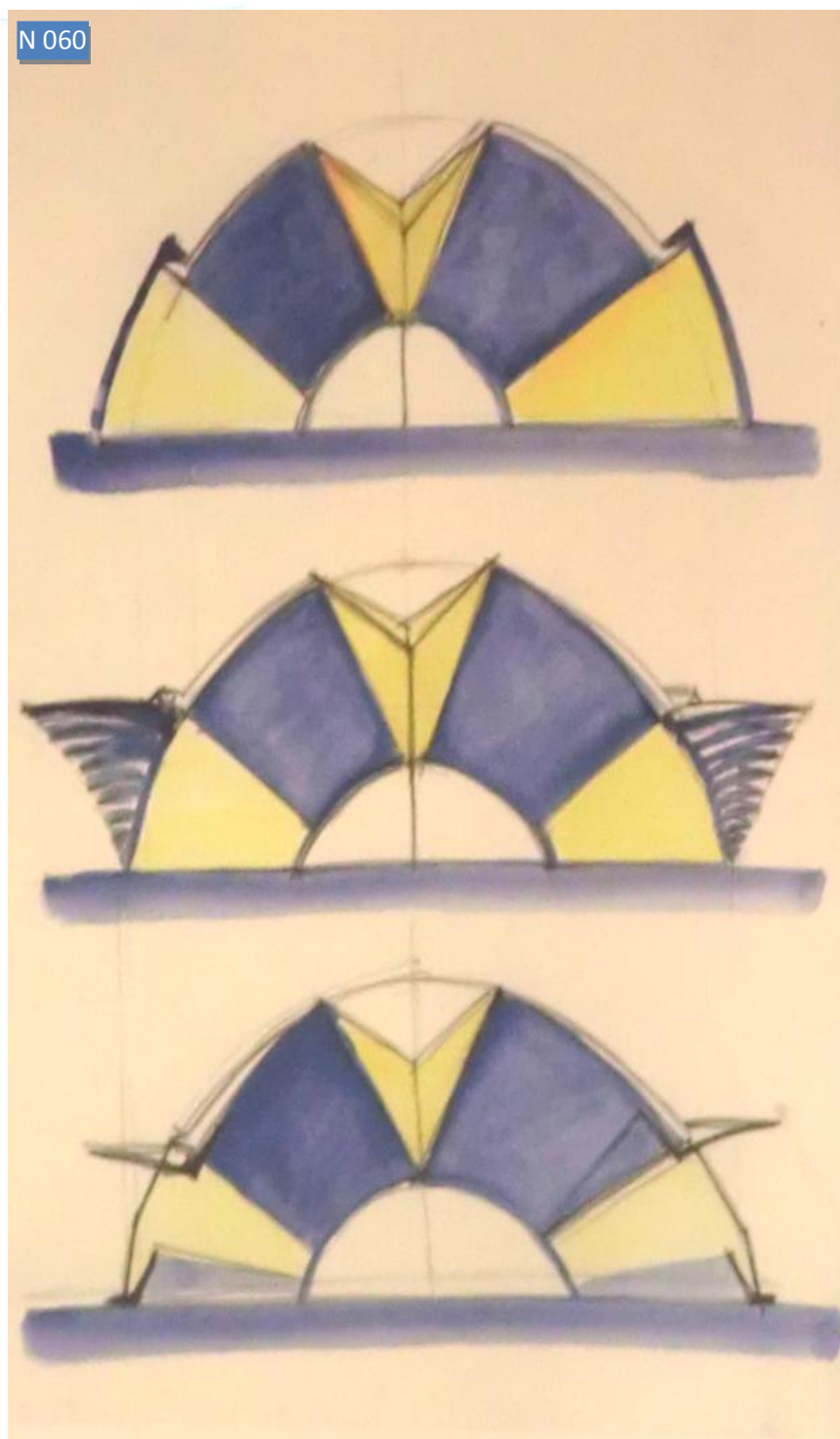
## 4. DISEÑO:

### 4.2. PROYECTO FINAL:

Creando el edificio, Calatrava rediseño el concepto de ojo humano para hacerlo más natural, es sabido por todos que el arquitecto valenciano siempre inspira sus creaciones en formas corpóreas tanto humanas como animales, y de la naturaleza, figuras como torsos, figuras humanas simbolizando arcos, cabezas de toro y el ojo humano, una de sus más utilizadas en sus creaciones, como elementos de estatuas en algunos de sus puentes, o un ejemplo más reciente el auditorio de Tenerife.

Si observamos detenidamente los bocetos diseñados por la mano de Calatrava y según afirma el en sus anotaciones, el planetario está basado en una concepción tectónica antropomorfa que recurre a el icono del ojo como elemento que genera la imagen del edificio y es utilizado como recurso arquitectónico, la lámina de agua que rodea el edificio sirve para producir el reflejo de la estructura, duplicando la imagen que crea la cúpula en la masa de agua, creando así un elemento único y completo, el cual no está basado en dos mitades palpables, sino que se produce de fusionar una mitad real y una mitad apreciada virtualmente o reflejada.

El mayor problema a la hora de diseñar este edificio era concepción de la parte de la estructura que actuará de mecanismo de apertura del parpado ficticio ideado por el artista, para ello se recurrió a un sistema que permitía el desplazamiento y la elevación del arco que realiza el cerramiento de las fachadas laterales.

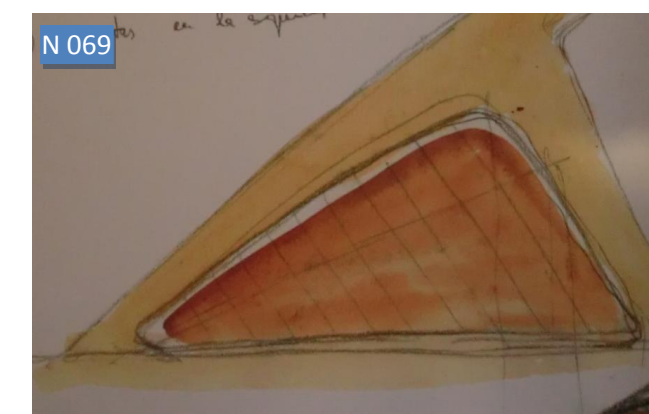
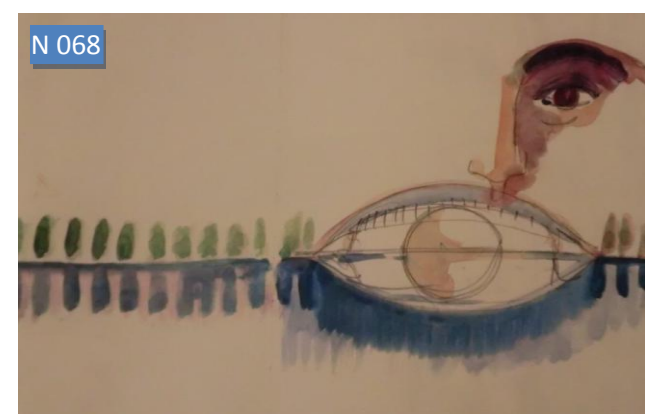
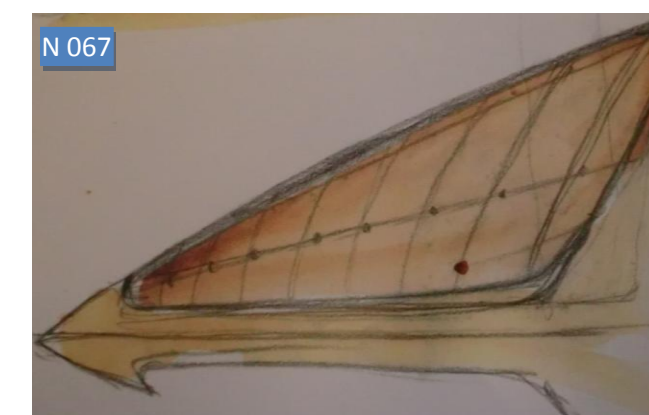
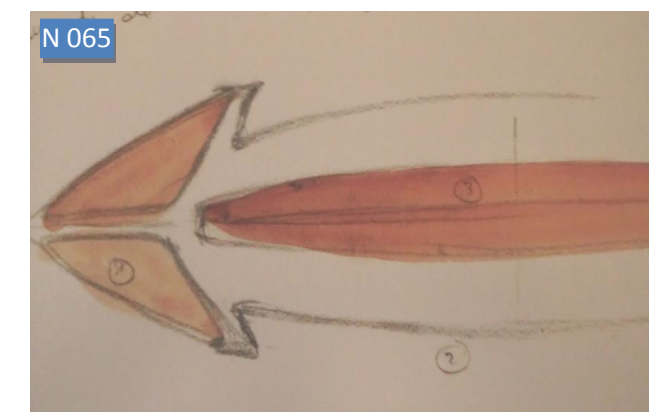
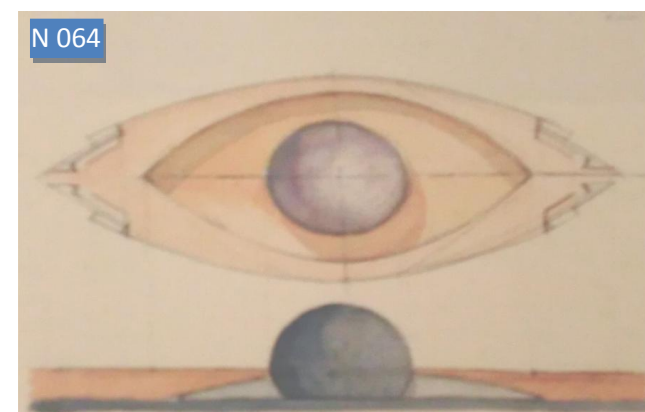


Este concepto tampoco era nuevo para Calatrava, pues éste ya lo había empleado en la puerta de la torre Montjuïc, ayudándose del modelo anterior, ideó otro mecanismo de apertura por cancelas para este edificio.

La salvedad que tiene esta estructura con la catalana es que el tamaño de las puertas o cancelas es mucho mayor en este proyecto, por lo que se necesitará disponer de cinco cilindros hidráulicos que levantaran completamente las fachadas laterales.

Para que el sistema de cilindros hidráulicos funcione correctamente es necesario un aligeramiento de la fachada, para que ésta no sea demasiado pesada para el mecanismo, por lo cual Calatrava opta por recurrir al empleo de láminas vidriadas más anchas y de eje articulado de acero, haciendo que la fachada conserve una mayor transparencia y permita su visibilidad desde el exterior del cuerpo del edificio, apreciando así todos sus elementos al completo ya sea cerrado o abierto.

Como ya se ha comentado antes el reflejo del objeto en la balsa de agua consigue una imagen global del complejo, la novedad de éste hecho y la aplicación de ésta técnica se remonta a la arquitectura clásica en la que el reflejo en el agua hace aparentar al edificio doble en su plenitud ( efecto de duplicidad ), es decir, debido al estado incompleto de la imagen se completa la figura mediante el reflejo en el agua, creando un hecho arquitectónico en sí mismo, que a su vez permite la supresión del ya sumamente utilizado zócalo que hacía de unión entre el terreno y la estructura, éste efecto de ausencia de zócalo crea una figura que virtualmente aparenta estar flotando.

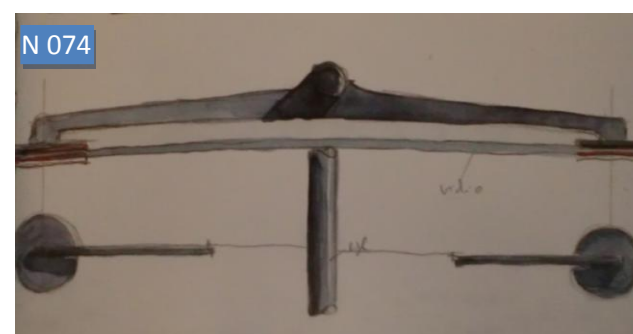
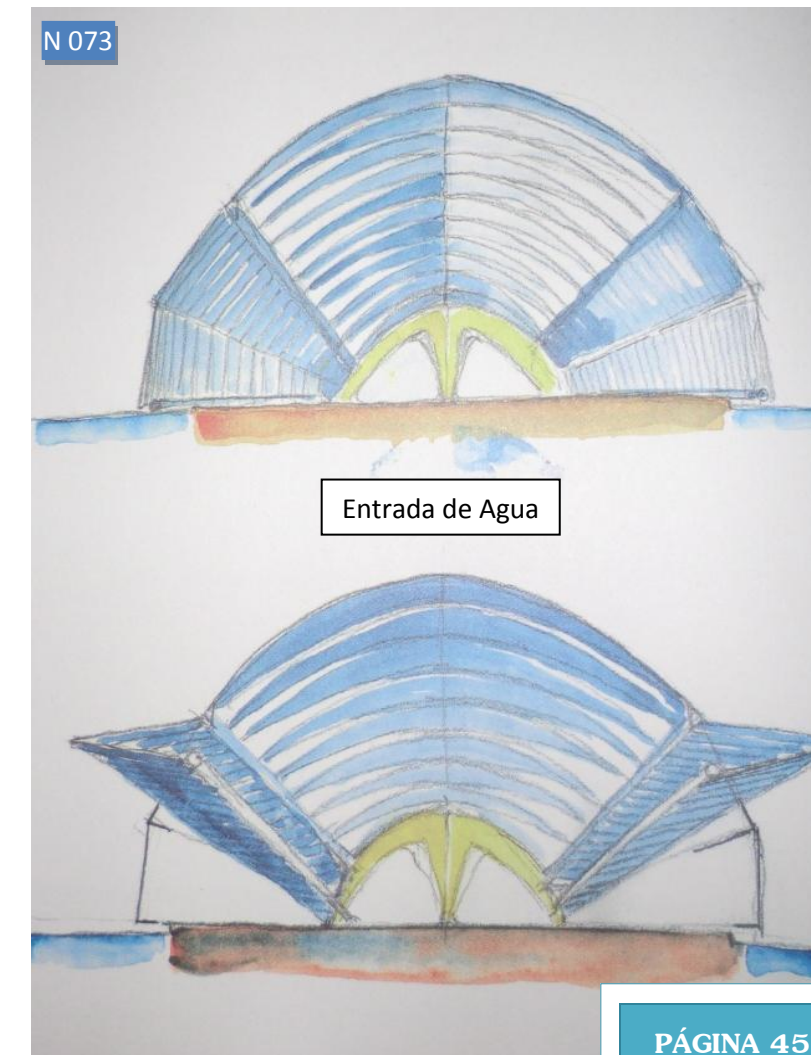
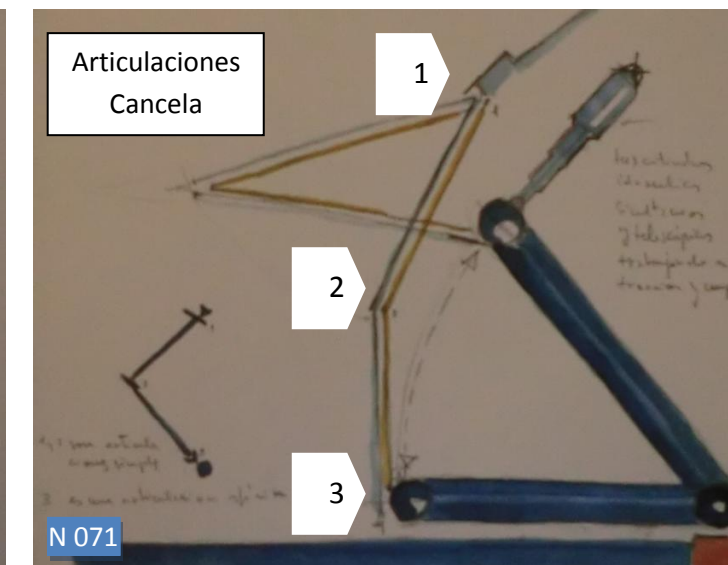


En el sistema de apertura podemos apreciar cuatro partes fundamentales: (1) brazo superior del mecanismo; (2) brazo inferior del mecanismo; (3) tubo motriz ; (4) lamina vidriada de cerramiento.

Los elementos de vidrio de la cancela de apertura están sujetas al chasis mediante traveseras de acero, éstas a su vez están empotradas en el brazo tubular correspondiente, ya sea inferior o superior, la unión entre éstos dos últimos se produce mediante una articulación, de tal modo que limitan el movimiento al del giro alrededor de un eje paralelo, la articulación del brazo inferior en su unión con el tubo motriz se resuelve mediante una articulación inferior que es además esférica.

Todos estos elementos están unidos entre sí en la parte superior de la cancela a un sistema de cinco cilindros hidráulicos telescópicos simultáneos, que trabajan a tracción y a compresión dado que la articulación entre los brazos es simple y la inferior es esférica, con esto nos encontramos ante un sistema triarticulado, es decir, la articulación 1 y 2 se mueve en ejes paralelos y la articulación 3 es esférica, cuya misión es absorber tanto los posibles movimientos como las excentricidades que produce la estructura por las deformaciones cuando se inicia la apertura de toda la fachada lateral.

En la fotografía que se aprecian los alzados abiertos y cerrados podemos observar la penetración de la balsa de agua hasta el mismo interior de la estructura, de este modo la cancela queda inaccesible desde el interior de la cúpula y desde el exterior por causa del agua, produciendo así el mencionado anteriormente efecto flotante.

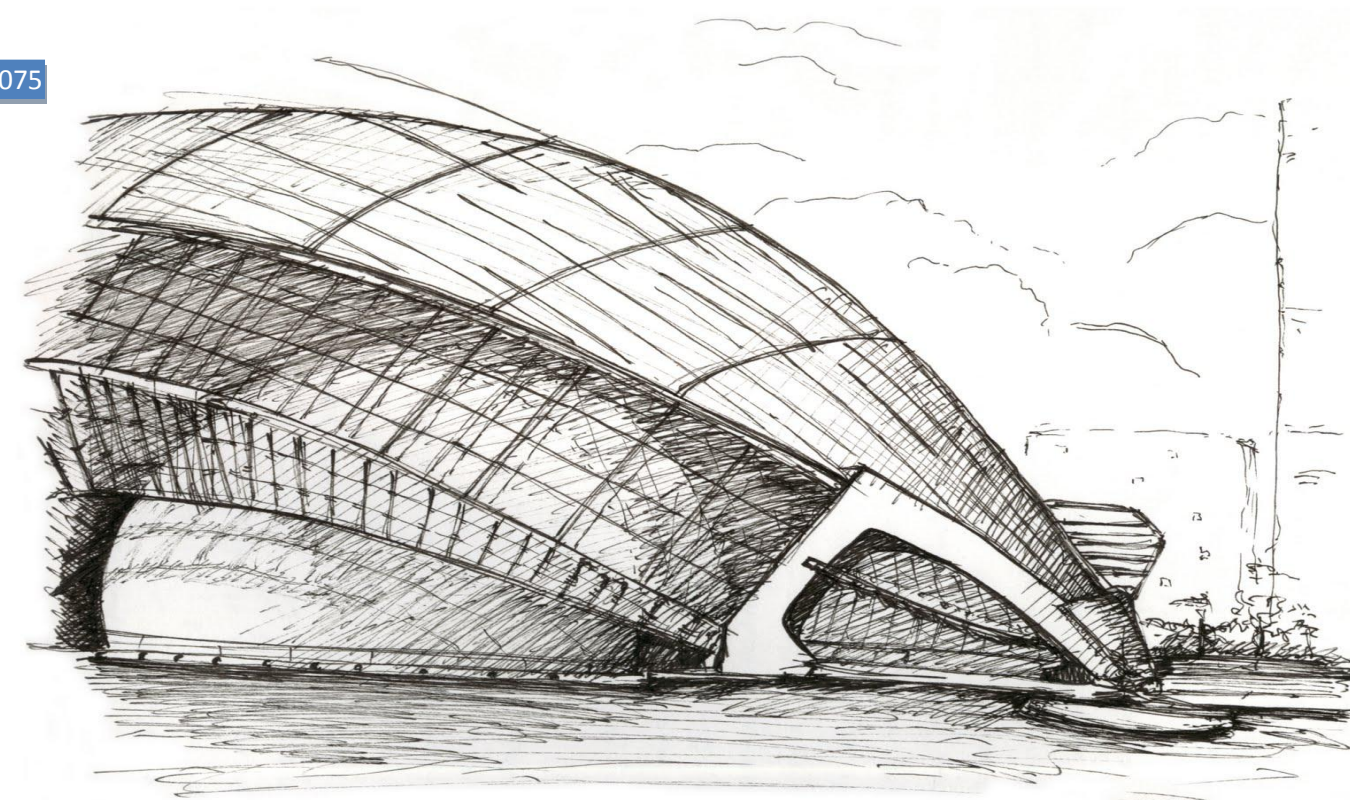


Cuando las cancelas están sin abatir, completamente cerradas, la envolvente de los ángulos exteriores recrea un semicírculo, en cada sección perpendicular a la dirección del nervio principal.

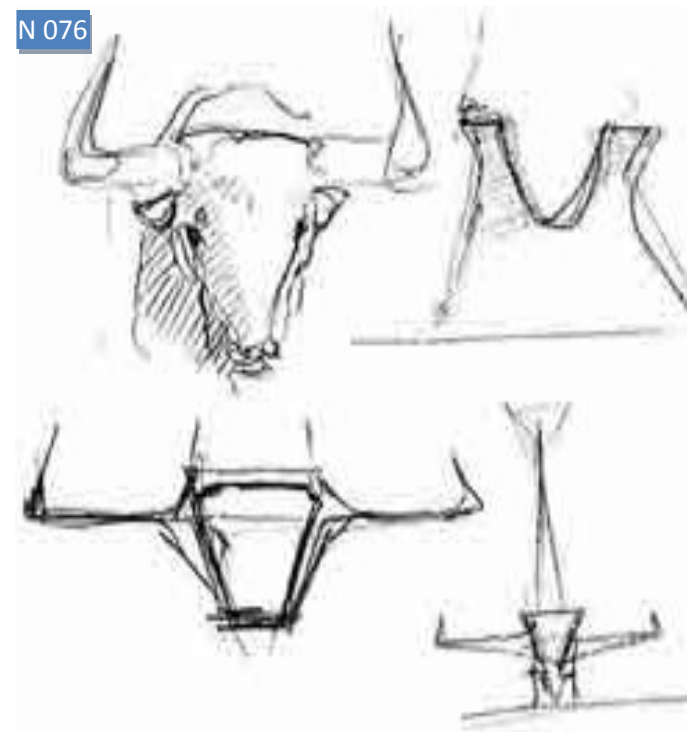
Otras de las figuras que usa habitualmente Calatrava es la cabeza de toro. En esta construcción el simbolismo del ojo humano acapara toda la atención del espectador dejando la imagen del toro en un segundo lugar, y quizás en el olvido dado a sus pequeñas dimensiones frente al gran ojo de la sabiduría, digo esto a causa de que la figura del toro queda relegada a un plano mucho menos importante, y es que esta figura se encuentra ubicada en el trípode de la entrada a la cúpula, en el apoyo central de los tres que éste trípode posee, sus dimensiones son mínimas comparadas con el resto de la estructura.

Una vez se armo el trípode con estructura de acero y una vez fue encofrado y hormigonado (estructura mixta), se colocó una moldura en forma de cabeza de toro a los pies del apoyo central de trípode que conferiría la cabeza de toro, una vez ya la figura tomó su forma se le dio el acabado tan característico del arquitecto, todo el trípode tendría este acabado de hormigón blanco pulido.

N 075



N 076



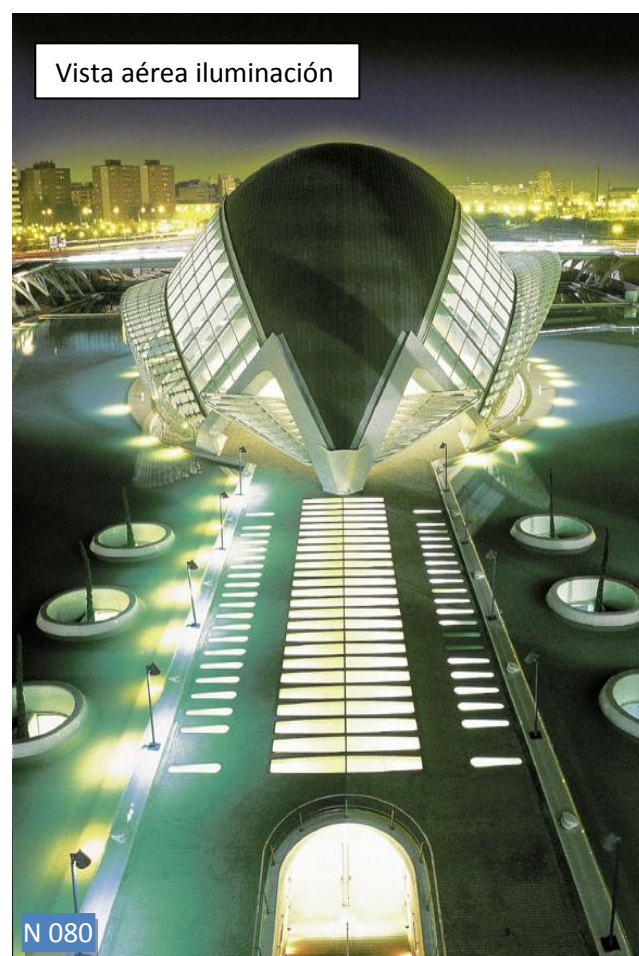
N 077



Las puertas que se encuentran en el trípode tienen un diseño que parece representar un costillar, son metálicas, de color blanco pivotantes sobre un eje que está unido al arco de acceso que deja el trípode, cuando está abierta la puerta se abate y queda en posición horizontal, pudiéndose extraer totalmente del acceso a la cúpula.

En cuanto a funcionalidad, el espacio que descansa bajo la extensa cúpula es un espacio realmente abierto, al aire dada su cantidad de aberturas en la parte de las cancelas y la ausencia de un zócalo que cierre completamente la estancia, creando así un gran espacio completamente diáfano, conferido para eventos como galas, premios, y otras reuniones de este índole.

Aprovechando la espectacularidad de la sala y todo el entorno que le rodea (las balsas de agua y el resto de la bellísima ciudad de las artes y las ciencias) los organizadores de los eventos aquí programados juegan con las luces y los reflejos que estas producen en el agua, así como de la preciosa iluminación que alumbra el edificio durante la noche para crear un ambiente único y entretener a los visitantes.



## 4.3. SIMBOLOGÍA

---





## 4. DISEÑO:

### 4.3. SIMBOLOGIA:

**PESTAÑAS:** cancelas laterales en su apertura máxima forman las pestañas



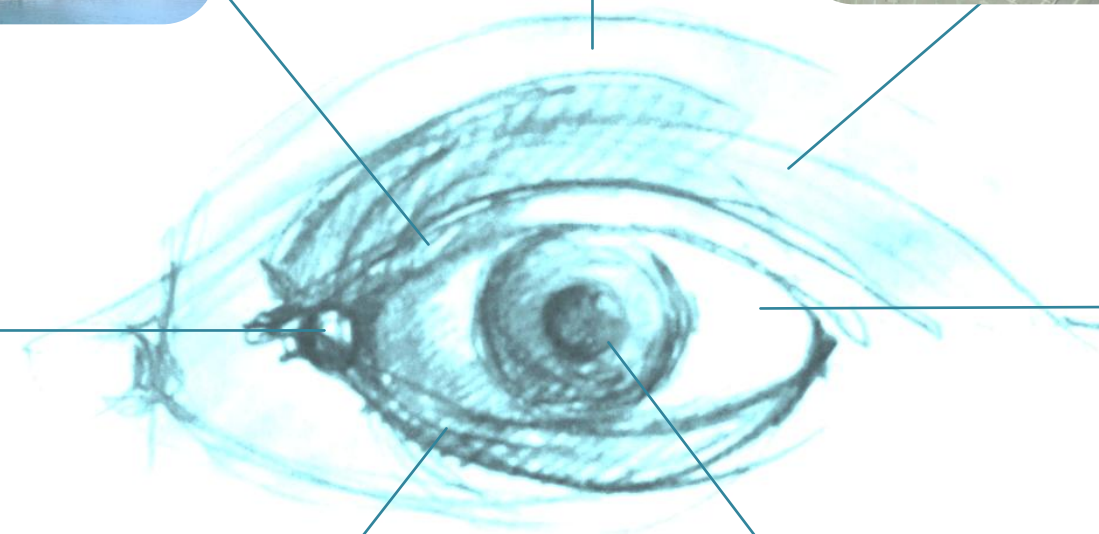
**CÓRNEA:** la cubierta cierra la esfera del ojo humano



**PÁRPADO:** la cristalería fija hace la figura del párpado.



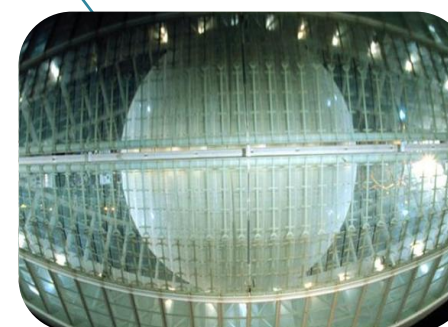
**LACRIMAL:** el trípode y sus puertas pivotantes conforman el lacrimal del ojo



**GLOBO OCULAR:** el espacio vacío que cubre la cubierta forma la córnea del ojo



**REFLEJO:** la lámina de agua dobla la imagen del edificio



**IRIS:** la superficie de trencadis del hemisférico da vida al núcleo del ojo

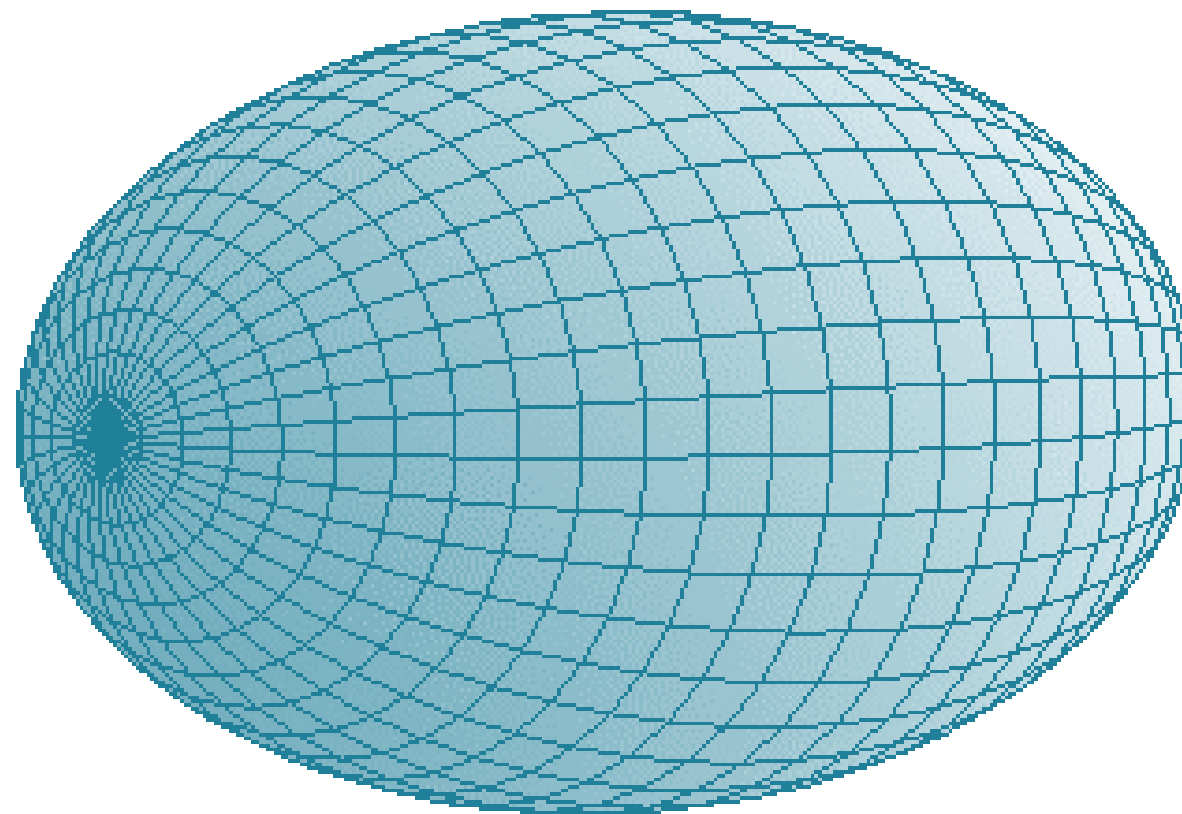
# 5.GEOMETRÍA

---

- 5.1. CLASIFICACIÓN DE SÓLIDOS DE REVOLUCIÓN
  - 5.2. ELIPSOIDE DE REVOLUCIÓN
  - 5.3. ADAPTACIÓN AL OJO
  - 5.4. GENERACIÓN DE LA GEOMETRÍA
- 

# 5.1. CLASIFICACIÓN DE SÓLIDOS DE REVOLUCIÓN

---



## 5.GEOMETRÍA DEL EDIFICIO

### 5.1. CLASIFICACIÓN DE SÓLIDOS DE REVOLUCIÓN:

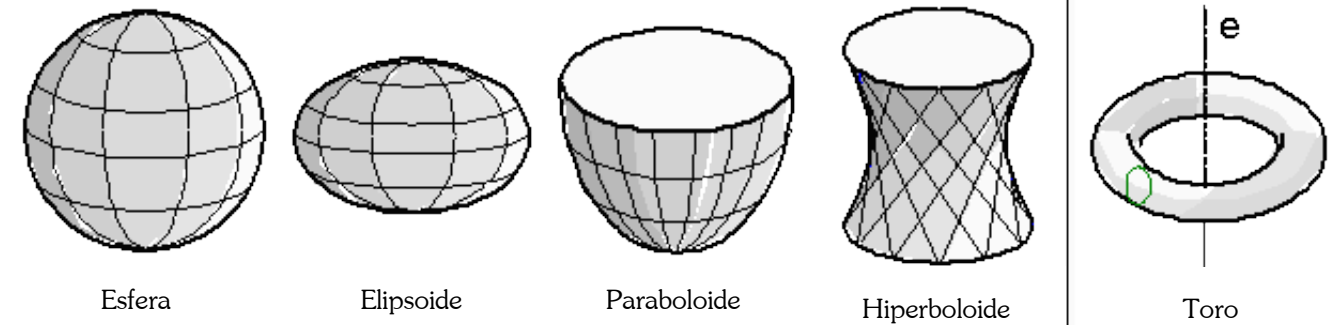
Un sólido de revolución es un cuerpo redondo limitado por una generatriz (g) curva, esta generatriz rota alrededor de un eje principal (e). Entre los sólidos de revolución se pueden distinguir los siguientes :

#### 1. Sólidos que están limitados por superficies cuádricas :

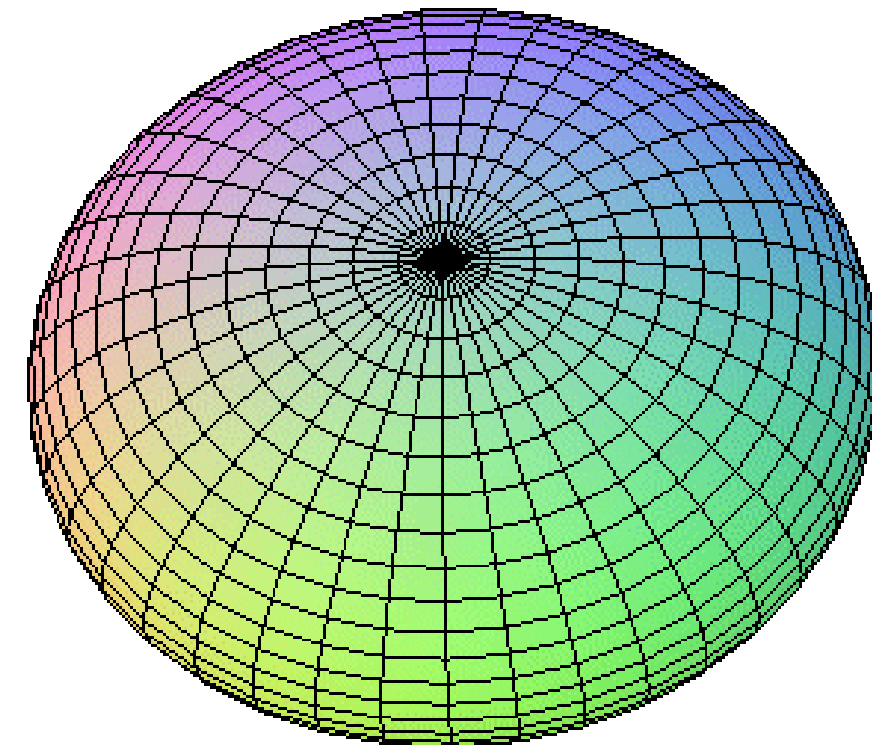
- 1.1. Esfera: la generatriz es una circunferencia.
- 1.2. Elipsoide: la generatriz es una elipse.
- 1.3. Paraboloides: la generatriz es una parábola.
- 1.4. Hiperboloides: la generatriz es una hipérbola,

#### 2. Toro ( anillo ) :

Su superficie la genera una circunferencia ó una elipse, que gira alrededor de un eje (e), coplanario con ella y que está situado fuera de ella.



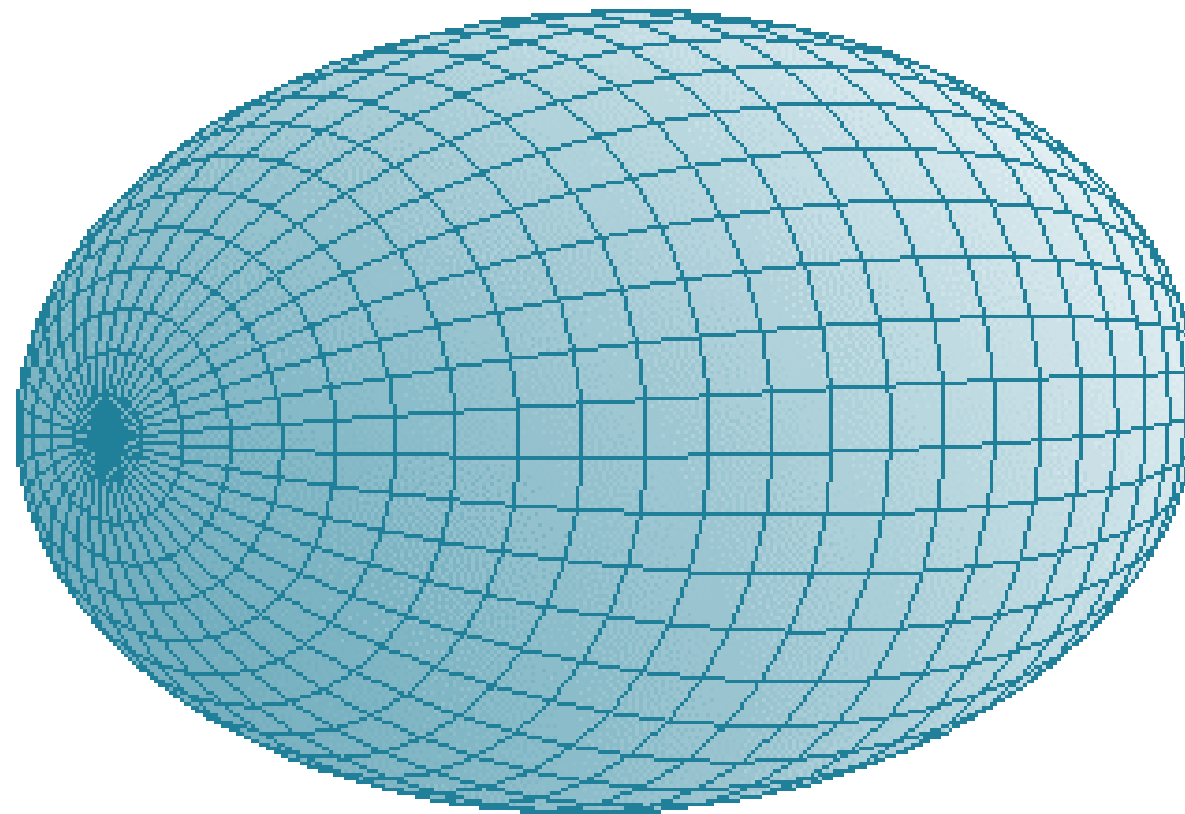
N 082 SÓLIDOS LIMITADOS POR SUPERFICIES CUÁDRICAS



N 083 Elipsoide de revolución

## 5.2.ELIPSOIDE DE REVOLUCIÓN

---



## 5. GEOMETRÍA DEL EDIFICIO

### 5.2. ELIPSOIDE DE REVOLUCIÓN:

Un elipsoide de revolución es la superficie que es generada por una elipse al girar alrededor de uno de sus dos ejes de simetría. A veces se le da el nombre de esferoide.

Para entender la formación de un elipsoide de revolución, planteamos el siguiente ejemplo mostrado en la figura a la derecha se presenta el caso de la elipse, cuya ecuación es  $\frac{x^2}{9} + \frac{y^2}{4} = 1$  en el sistema de coordenadas  $(O, \vec{i}, \vec{j})$ , cuyos ejes de simetría son los del sistema,  $(O, \vec{i})$  y  $(O, \vec{j})$

Si se gira alrededor del eje de las abscisas, se obtiene la superficie esbozada en rojo.

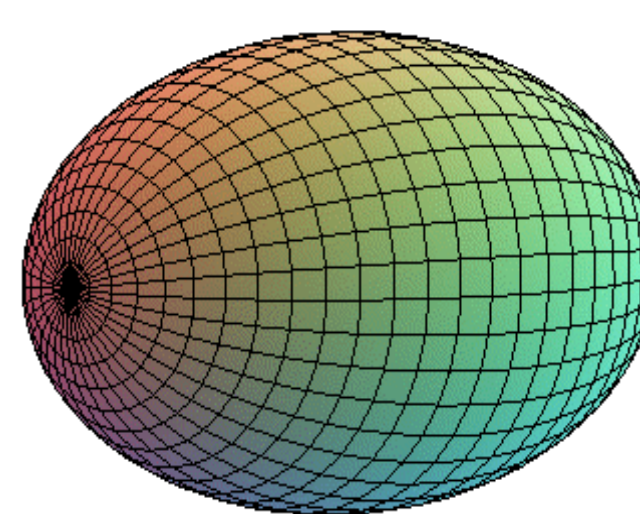
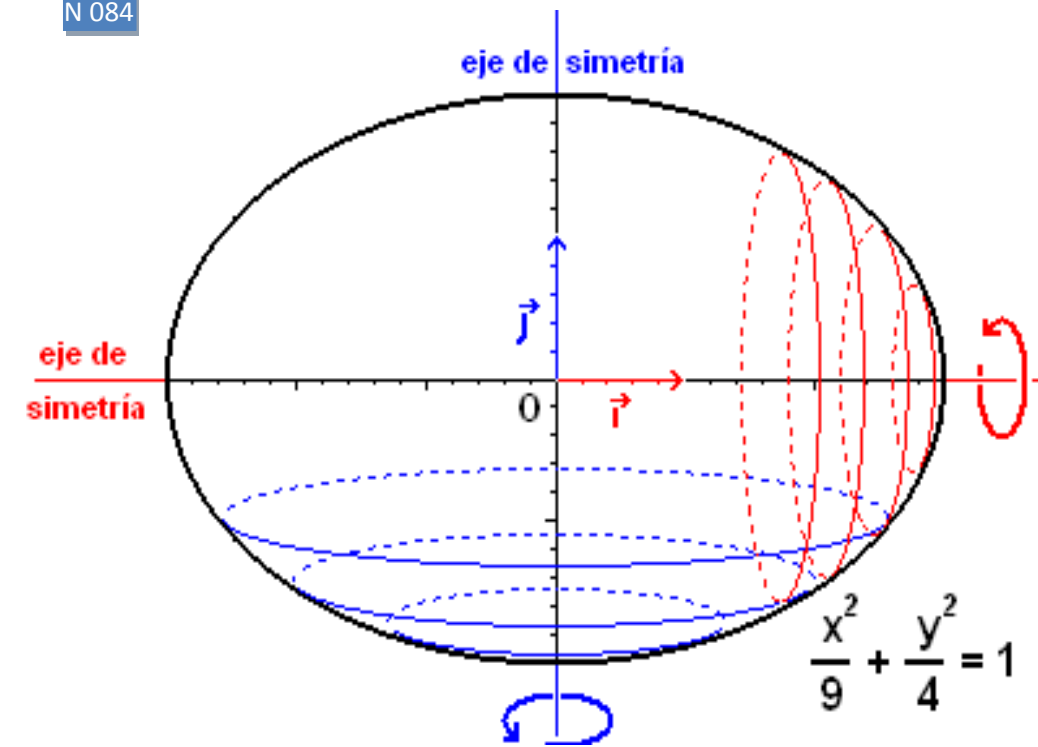
La tercera coordenada, "z", tiene en este caso el mismo papel que "y", luego aparece en la misma forma en la ecuación del elipsoide:  $\frac{x^2}{9} + \frac{y^2}{4} + \frac{z^2}{4} = 1$ , y como "y", "z" varía entre -2 y 2.

Si se gira alrededor del eje de las ordenadas, se obtiene la superficie grafiada en azul, y "z" tiene el mismo papel que "x", luego la ecuación es:  $\frac{x^2}{9} + \frac{y^2}{4} + \frac{z^2}{9} = 1$ , y como "x", "z" varía entre -3 y 3. Por tanto las superficies no son idénticas, la en azul tiene mayor «espesor», como se puede adivinar en la figura derecha.

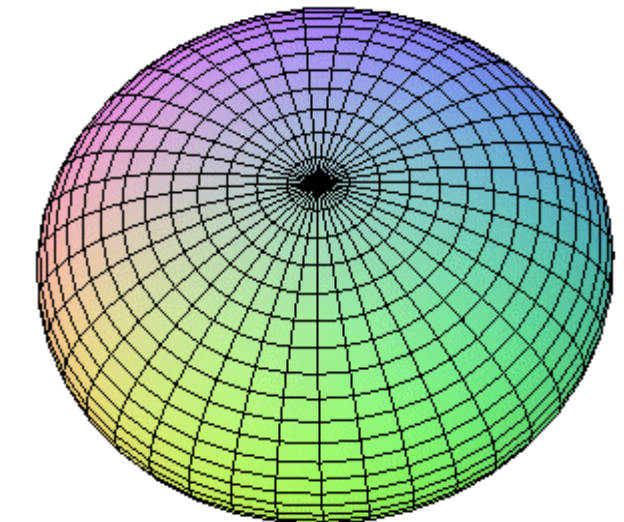
Se han representado las dos superficies, el representado en el lado izquierdo corresponde al eje en rojo y el situado a la derecha es producido por el eje azul.

Se generaliza el concepto de elipsoide al incluir superficies que no se obtienen por rotación. En un sistema de coordenadas cuyo centro es el de simetría de la superficie, cuyos ejes son también ejes de simetría de la misma, la ecuación de un elipsoide cualquiera es:  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$

N 084



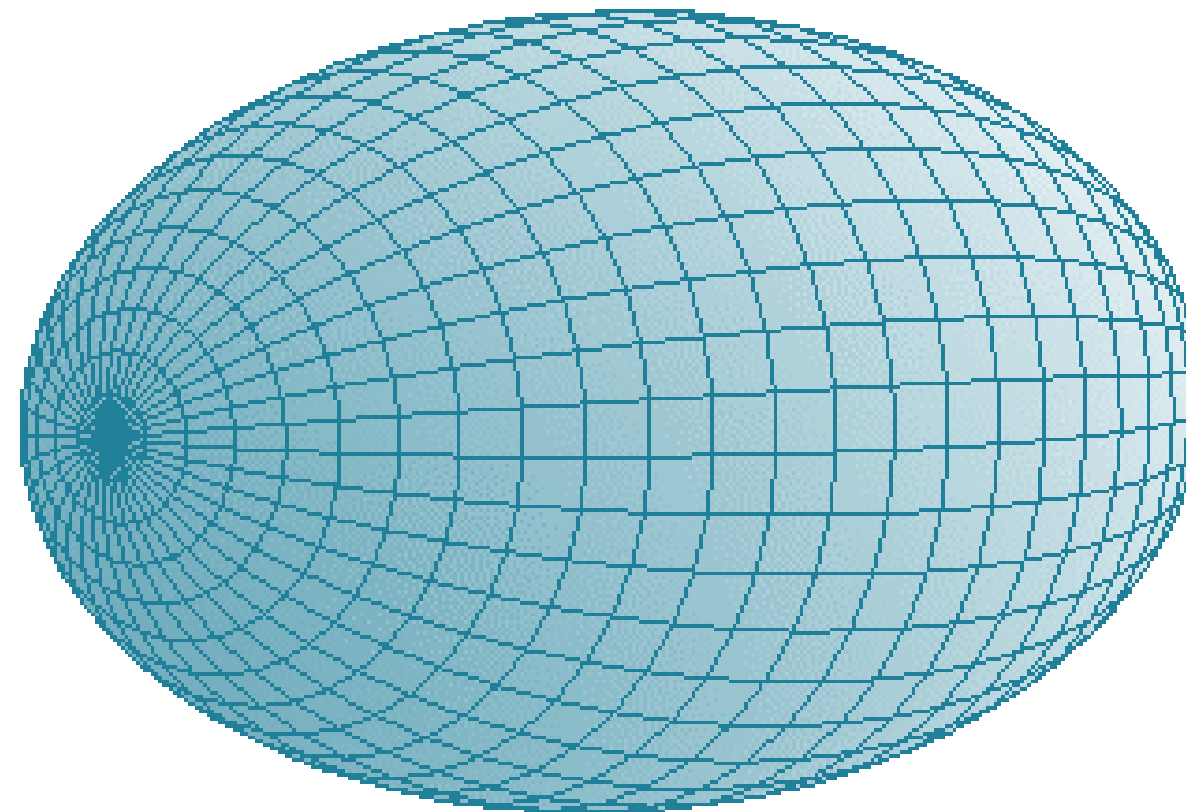
N 085



N 086

## 5.3. ADAPTACIÓN AL OJO

---



## 5.GEOMETRÍA DEL EDIFICIO

### 5.3. ADAPTACIÓN DEL ELIPSOIDE AL OJO:

Santiago Calatrava es conocido como un “arquitecto orgánico” como ya se ha mencionado en el anterior apartado del proyecto, para el diseño de este edificio se inspiró en un ojo humano, con el reto de configurar todas las partes de las estructuras del edificio como las distintas partes que componen el globo ocular.

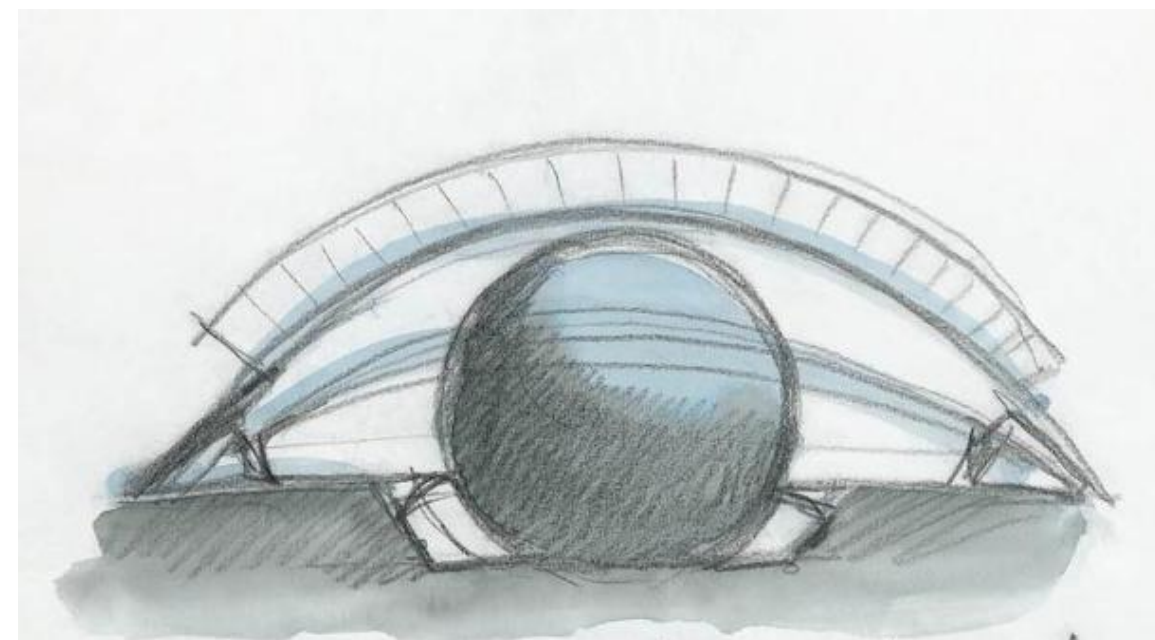
Analizando rigurosamente las partes que conforman el llamado “ojo de la sabiduría”, así como las formas geométricas que lo componen se puede llegar a la conclusión de que la formación de este edificio nace de un elipsoide de revolución, cuyo centro se encuentra por debajo de la superficie de la cota cero.

A su vez esta superficie de revolución está cortada por diversos planos que dan vida a al hueco destinado a las cancelas, y otro corte por un plano perpendicular al plano que contiene al eje de rotación que ubicará la posición de los trípodes de apoyo.

Toda la zona acristalada está solucionada por la intersección de dos planos inclinados, de esta solución nacen las diferentes piezas acristaladas que no comparten dimensiones entre ellas.

La superficie de revolución que da vida al núcleo del hemisférico es una esfera que no es tangente a la superficie horizontal, sino que al igual que el elipsoide está hundida bajo el nivel de la superficie.

N 087



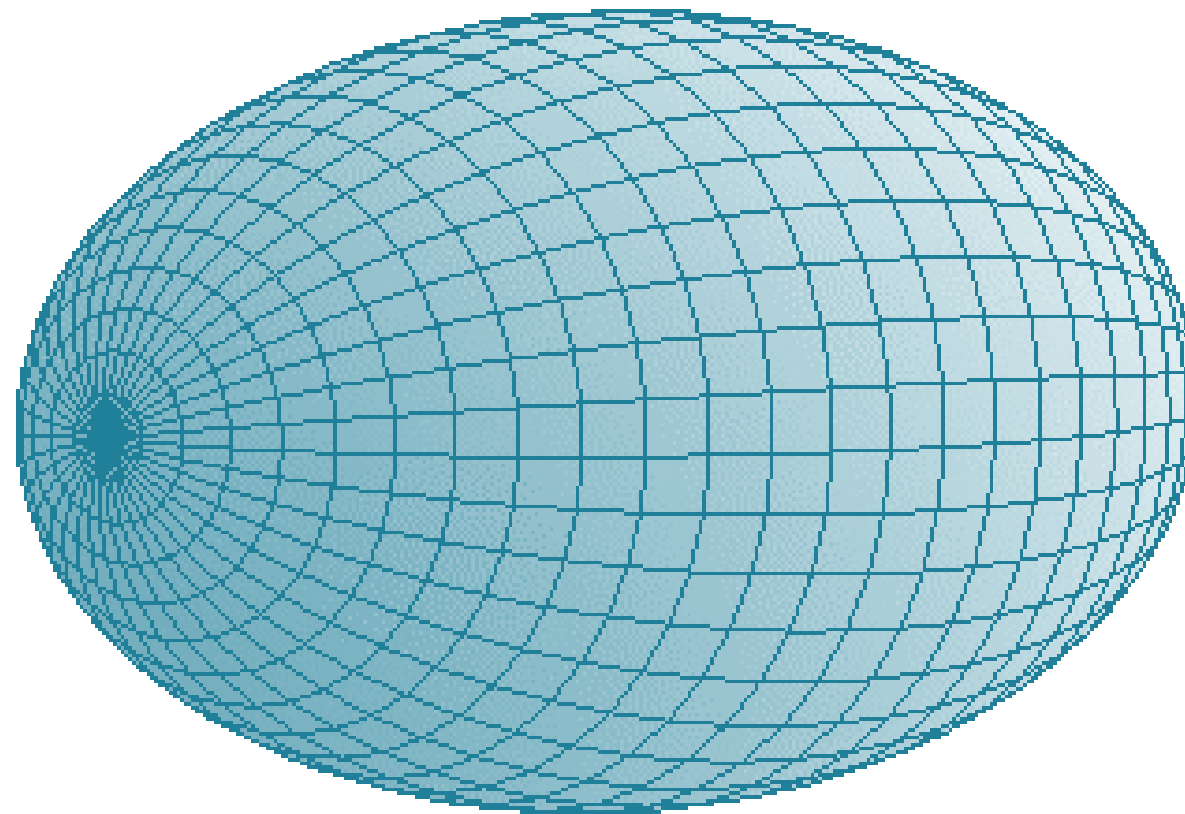
OJO DE LA SABIDURIA

“El edificio principal emerge de entre los estanques como un gran caparazón formado por una parte central fija y unos elementos laterales móviles que son los parasoles y cancelas que componen la parte transparente. Esta cubierta engloba una esfera en su interior”



## 5.4.GENERACIÓN DE LA GEOMETRÍA

---



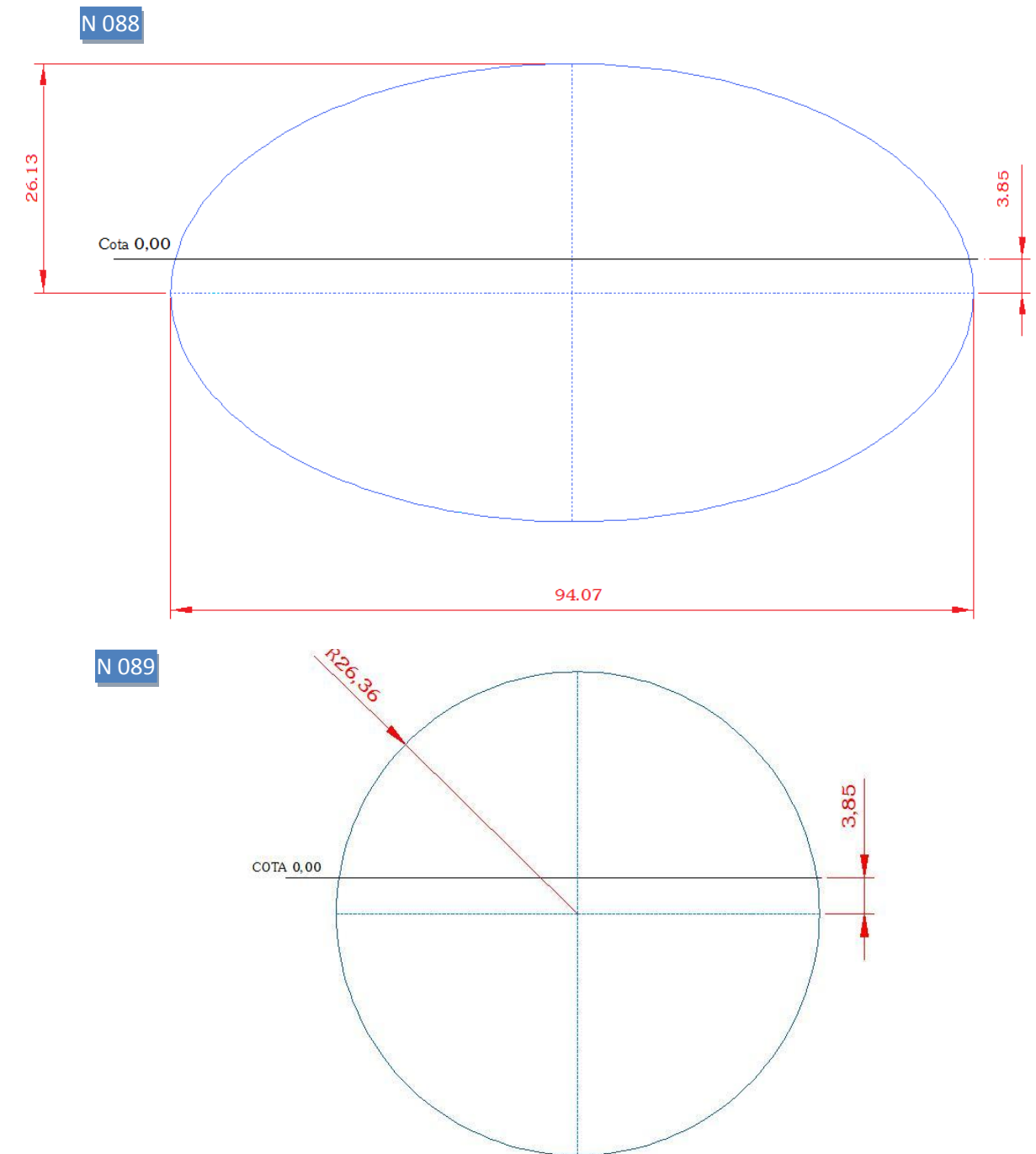
## 5. GEOMETRÍA DEL EDIFICIO

### 5.4. GENERACIÓN DE LA GEOMETRÍA:

A grandes rasgos, si se analiza la forma geométrica del edificio de una manera simplificada, en sus dos dimensiones, obtenemos la figura de la elipse y el círculo, que conforman las secciones del edificio en sus alzados laterales y frontales respectivamente, dichas formas situadas sobre los ejes de simetría del hemisferic.

Como se aprecia en la figura adjunta, la elipse se forma a partir de su centro, que se encuentra en la mitad del eje de simetría longitudinal, este origen de la elipse se encuentra por debajo de la cota **0,00m**, exactamente **3,85m** por debajo del nivel de la superficie. Esta figura geométrica está compuesta por dos ejes principales, el menor de ellos cubre la altura del edificio y es de **52,26m**, el mayor, marca la distancia longitudinal de la elipse y mide **94,07m**.

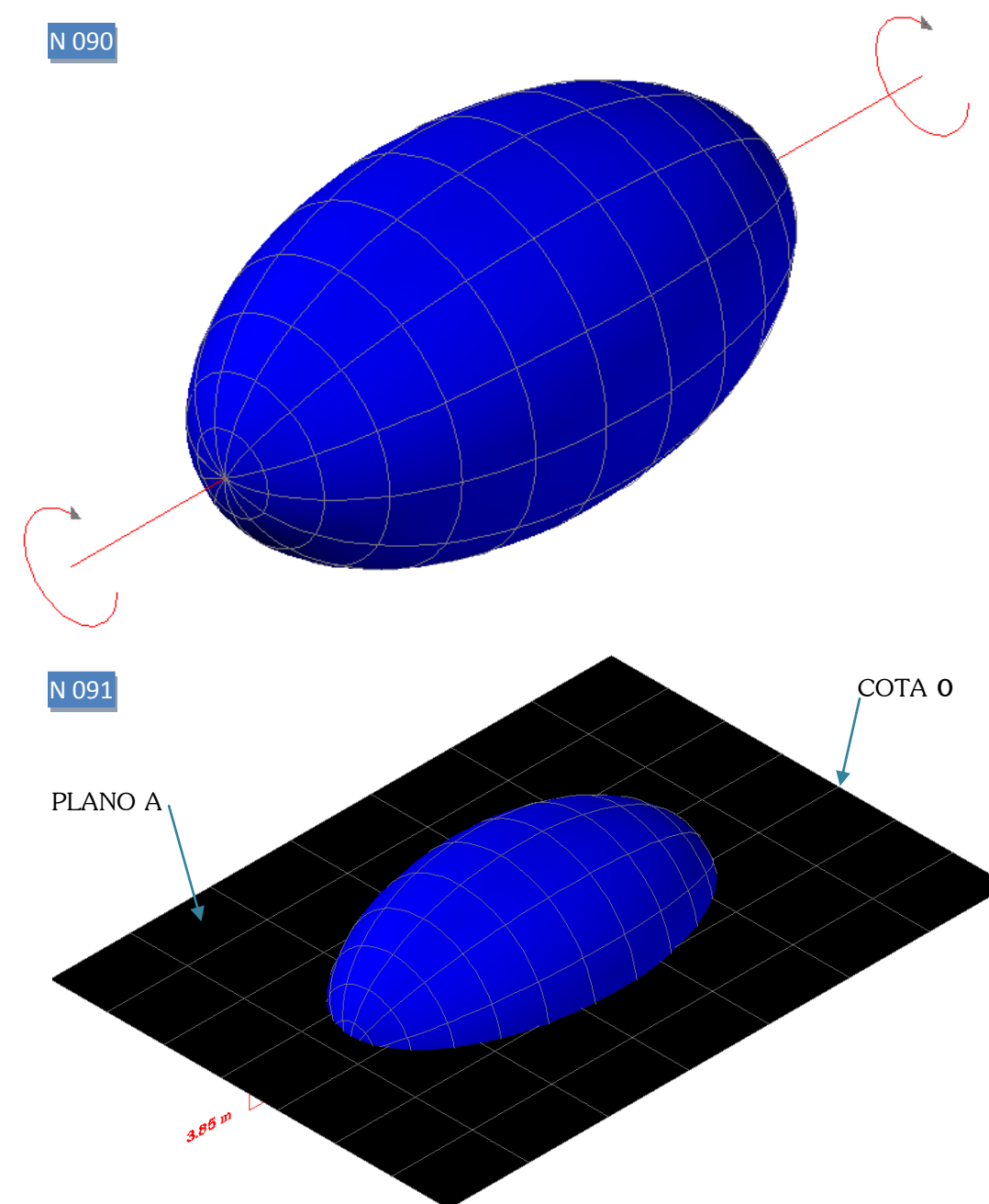
La geometría circular que adquiere el hemisferic en su alzado frontal, es un círculo que posee **26 m** de radio, al igual que la elipse su centro nace a **3,85m** por debajo del nivel del terreno, y está situado en la mitad del eje transversal de simetría del edificio.



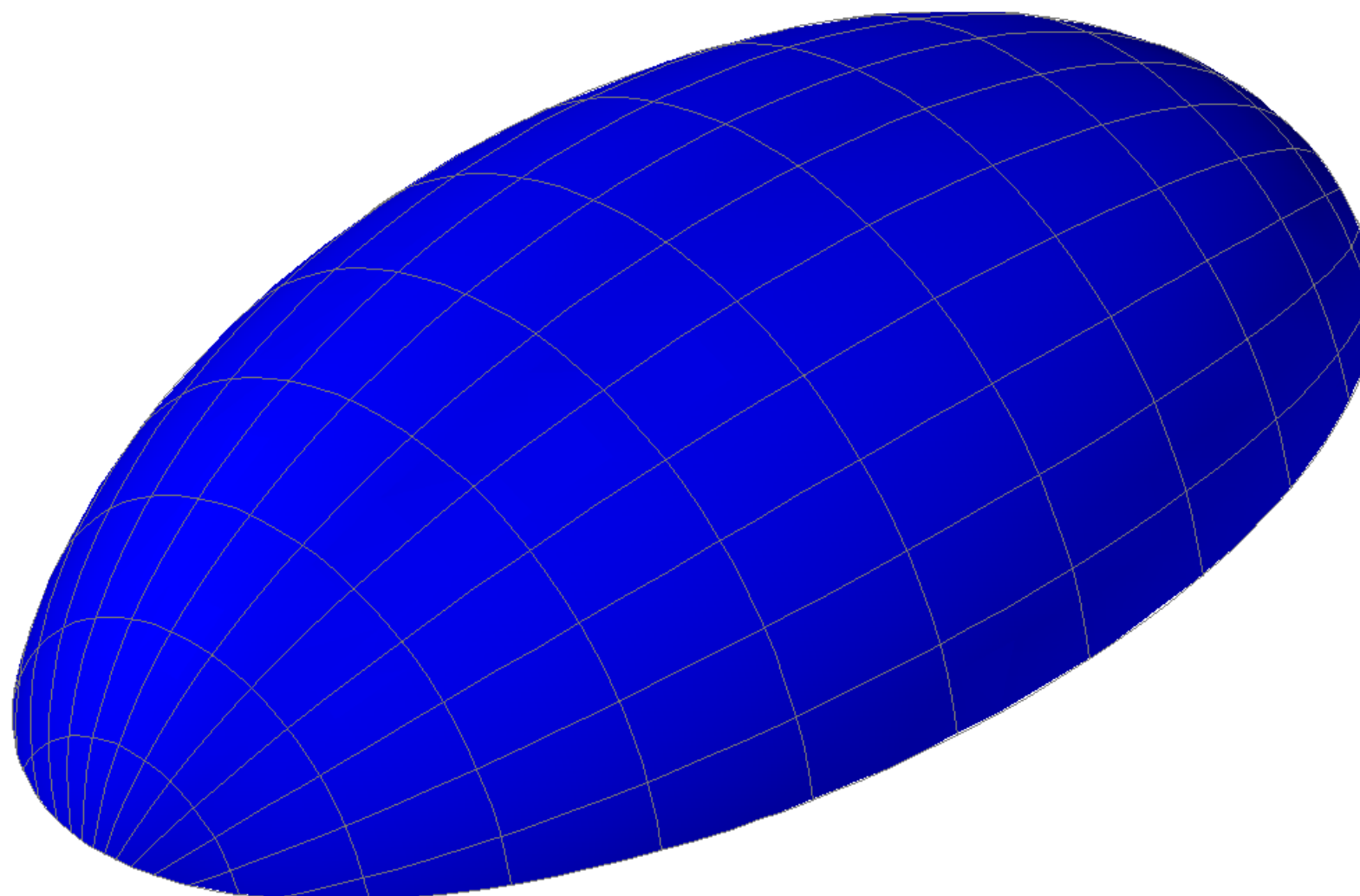
Para generar la superficie de la cubierta, se parte de la elipse anterior, para alcanzar el volumen establecido por el diseño de Calatrava, para ello se produce la revolución de la elipse que conforma el lateral, esta última gira alrededor de su eje de simetría longitudinal, generando una superficie de revolución que adquiere el nombre de elipsoide de revolución que se ha analizado en el apartado 5.1.

Si se realizan secciones producidas por planos que sean perpendiculares al plano de la superficie, se obtendrán siempre secciones circulares a lo largo de todo el eje longitudinal, variando las dimensiones de los círculos según la posición del plano de corte, es decir serán de menor dimensión en planos que corten en los extremos, y serán mayores a medida que se acerque al centro del elipsoide de revolución, alcanzando su dimensión máxima en el centro del sólido de revolución.

Al igual que la elipse y el círculo originarios de esta superficie de revolución, el centro del elipsoide está soterrado, a 3,85m de la cota 0,00m mencionada anteriormente, esta figura formará el ojo humano completo, pero dado que la mitad inferior se reproducirá virtualmente, debemos cortar el sólido a la altura de la superficie, para ello se introduce un plano (A), paralelo al plano de superficie, que producirá el corte al nivel deseado, es decir 3,85m por encima del centro del elipsoide.



N 092



#### GENERATRICES

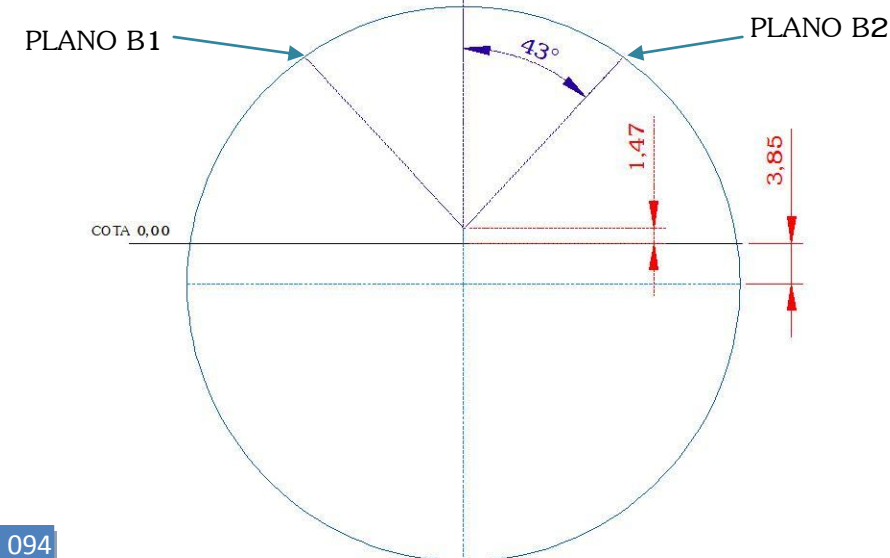
La direcci3n de las generatrices como se puede observar discurre en dos direcciones, la primera de ellas, la generatrices longitudinales se originan en los extremos del s3lido de revoluci3n y son en forma de arco rebajado, la segunda generatriz es de forma circular, dichos c3rculos est3n contenidos en planos perpendiculares al plano superficial como se ha mencionado anteriormente.

Para analizar correctamente la formación de las distintas superficies que forman la figura corpórea de la cúpula del hemisférico, se debe acudir de nuevo a los alzados frontales del edificio y distinguir los ángulos que forman las distintas fases de la cubierta en referencia al círculo principal.

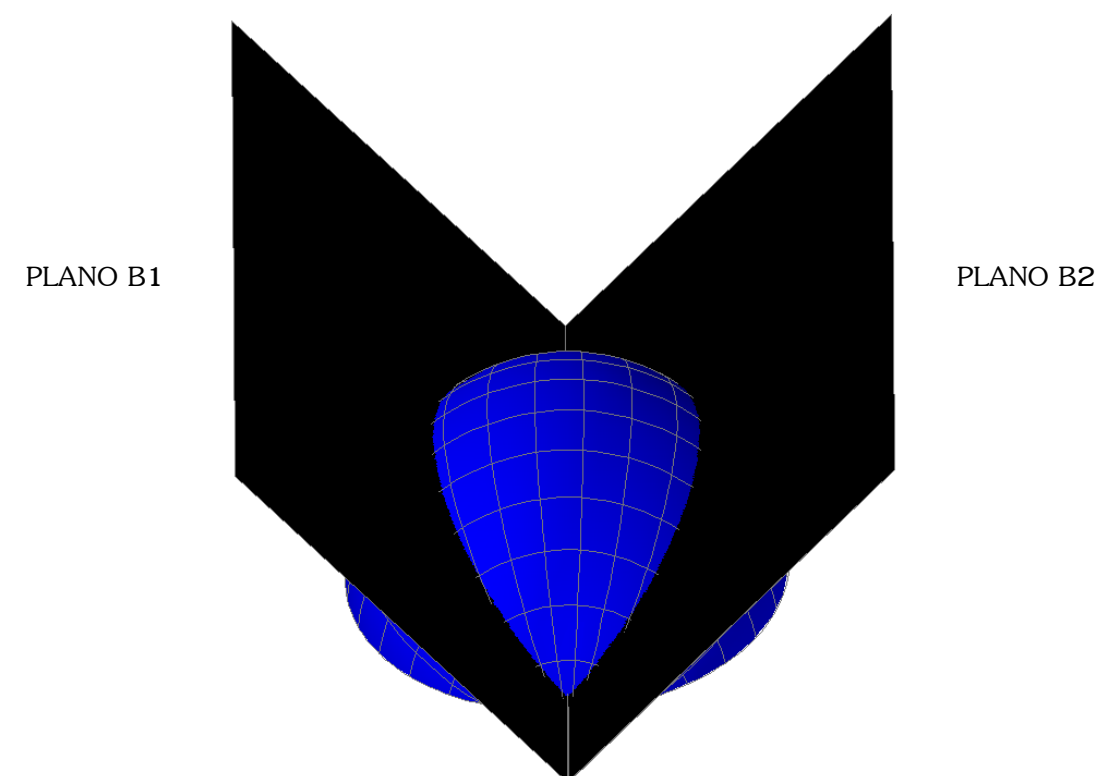
La estructura que confiere la superficie completamente opaca de la cumbre del hemisférico, la cornea del ojo, viene de un ángulo de  $43^\circ$  que parte del eje vertical, trazado desde el centro del elipsoide, aunque el vértice se localiza a una altura de  $5,32$  m desde el centro del círculo, o lo que es lo mismo  $1,47$  m por encima de la superficie. Este ángulo forma la cubierta lisa metálica.

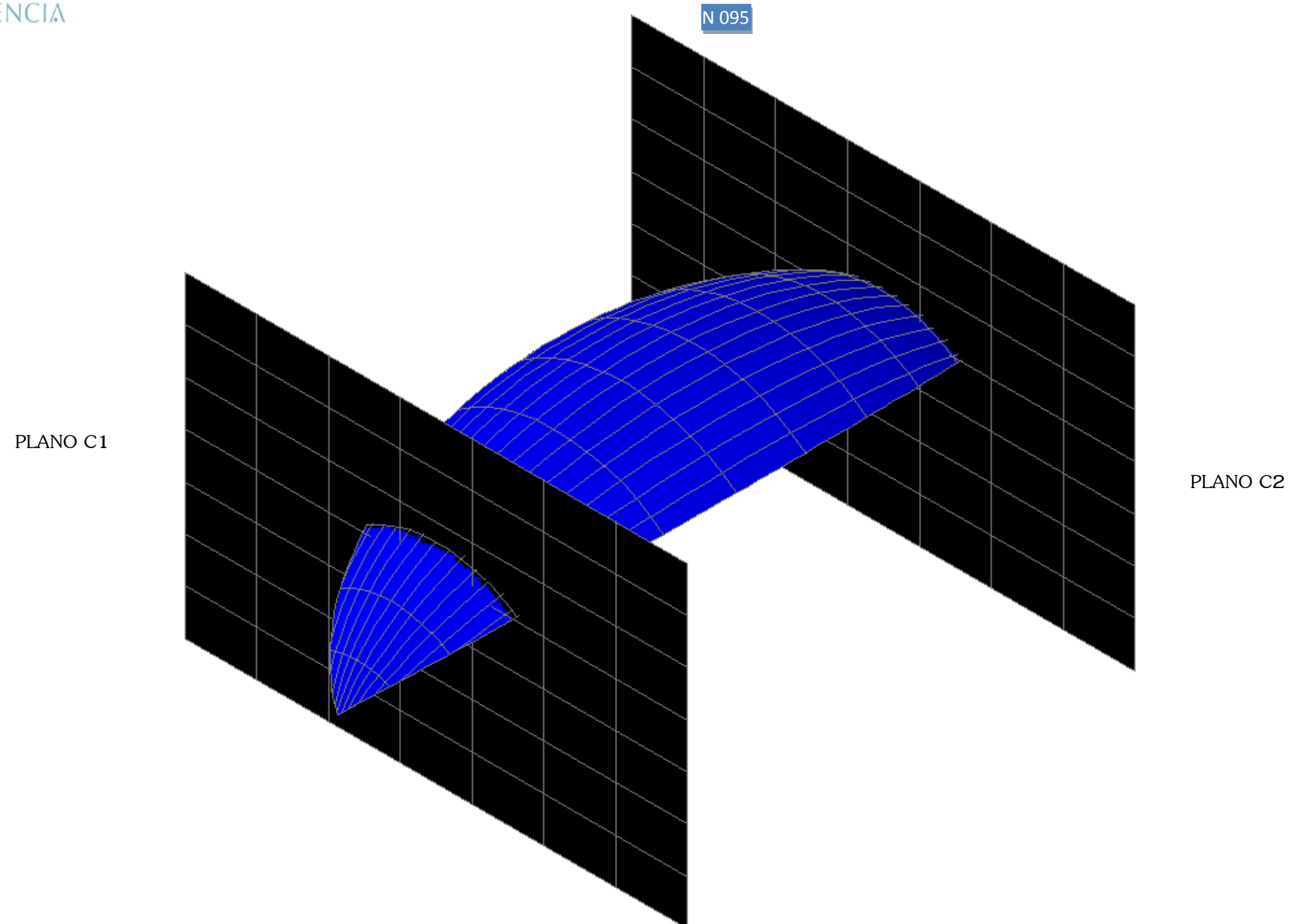
Una vez hallado el ángulo se pasa a su intersección de un plano que contenga la inclinación de ese ángulo ( $43^\circ$ ) y una recta paralela al eje de simetría longitudinal (plano B1 y B2), como se aprecia en la figura dichos planos cortan a la figura de revolución creando dos arcos rebajados que delimitan el espacio superficial de la cúpula opaca y dan inicio a las cristalerías fijas que nacen del arco rebajado que se ha creado de la intersección de estas figuras.

N 093



N 094





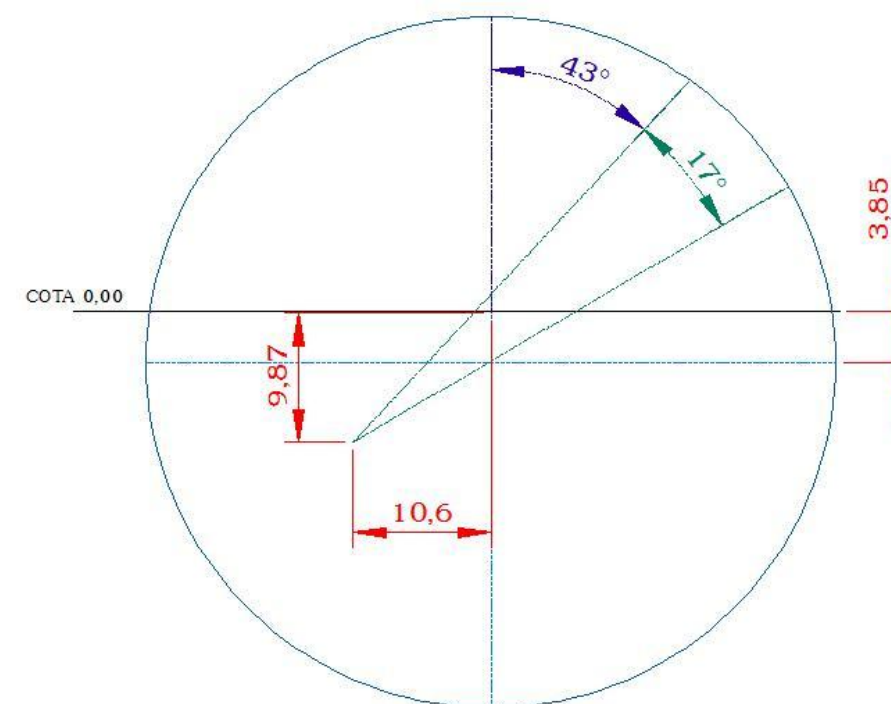
Para la formación de la zona donde se ubicará el trípode de estructura mixta, utilizamos dos planos ( plano C1 y plano C2 ) que son perpendiculares al plano base, situados a 14 m de los extremos del vértice y que tienen la misma dirección que la parte del trípode en contacto con las cristalerías, dichos planos cortan a la superficie de revolución generando el resultado final de la parte opaca de la cúpula.

Volviendo al alzado circular , podemos ver el ángulo de la creación de la cristalería fija y sus marcos, a diferencia del ángulo de la cúpula este no parte de la vertical del eje del círculo si no que está desfasado a los laterales, partiendo de la distancia del centro del círculo a la superficie de **3,85m**, y tomando este punto como referencia, el vértice del nuevo ángulo se encuentra a **9,87 m** por debajo del punto de referencia y desfasado en horizontal con respecto a este **10,60 m**, generando un ángulo de **17°**.

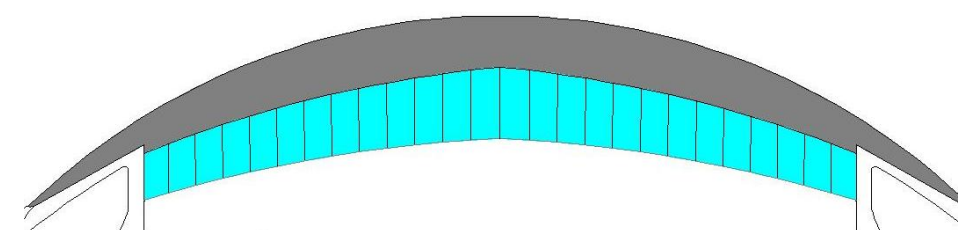
El lateral que está formado por montantes de acero y cristalería, venía montado de fábrica y las dimensiones de cada módulo son únicas, esto conlleva a la dificultad de realización por parte de los artesanos dedicados a esta tarea y el cuidado meticuloso del transporte a obra para que no se produzca la rotura de estos materiales tan frágiles.

Observando el alzado lateral adjunto se puede apreciar el constante cambio de las dimensiones de los bloques de esta estructura que confieren un tamaño único a cada cristal y montante, además a diferencia de la cúpula, tanto las montantes como las cristaleras son planas, no poseen directriz curva, con lo que siguen formando un círculo en cuanto al alzado frontal pero circunscritos en este.

N 096



N 097

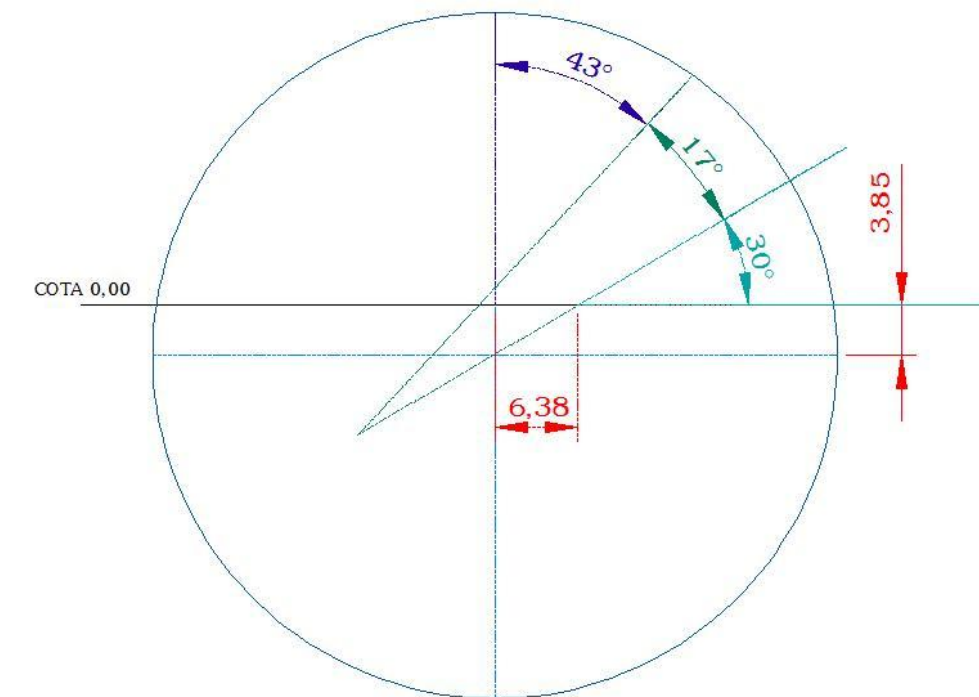


Para completar los  $90^\circ$  de la mitad del semicírculo quedan  $30^\circ$ , este ángulo será destinado a la estructura móvil de las cancelas, el vértice de este ángulo parte desde la línea de la superficie, a  $3,85$  m del centro del círculo, y a una distancia horizontal de la vertical del círculo de  $6,38$  m, si trazamos la bisectriz de dicho ángulo ( $15^\circ$ ) se crean las dos superficies de apertura de las cristaleras.

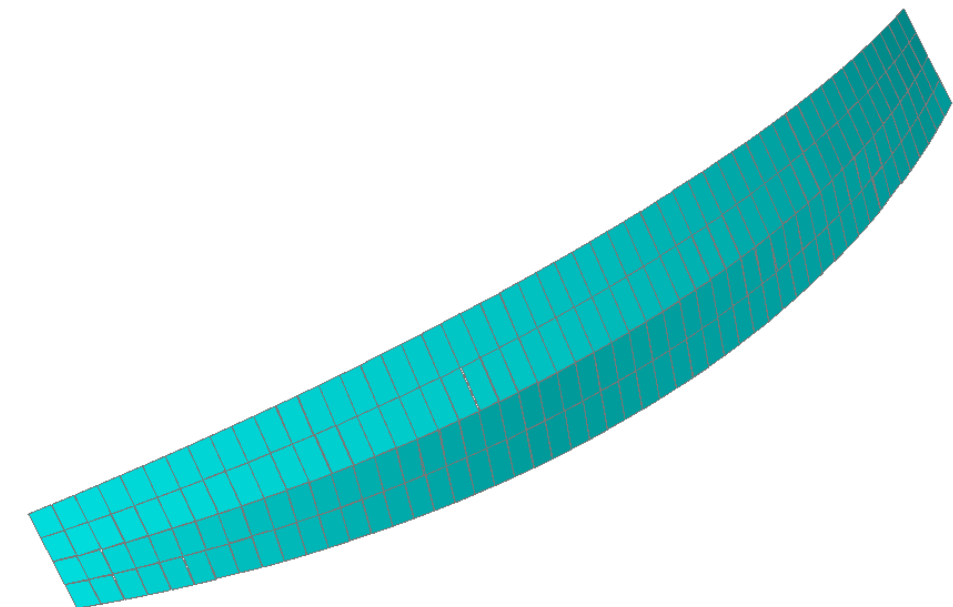
Al igual que la parte anterior, estas cancelas no son de directriz curva, por lo que también van circunscritas en la circunferencia virtual, a su vez, el mismo problema de la cristalería fija se plantea en este ámbito, las dimensiones de las  $52$  piezas de cristalería son únicas y diferentes de sus hermanas, con la correspondiente dificultad de elaboración y transporte

En el alzado lateral se puede apreciar que desde este punto de vista la dirección de los vidrios es perpendicular a la superficie. En posición de apertura completa, y gracias a complicado sistema de compases, cilindros hidráulicos y articulaciones de rótulas las cristaleras completamente abatidas describen un arco a modo de pestañas del ojo y párpado, pierden la directriz recta observada anteriormente gracias a las articulaciones esféricas que además de la plegabilidad permiten el giro de las distintas piezas.

N 098



N 099







# 6. ESTRUCTURA

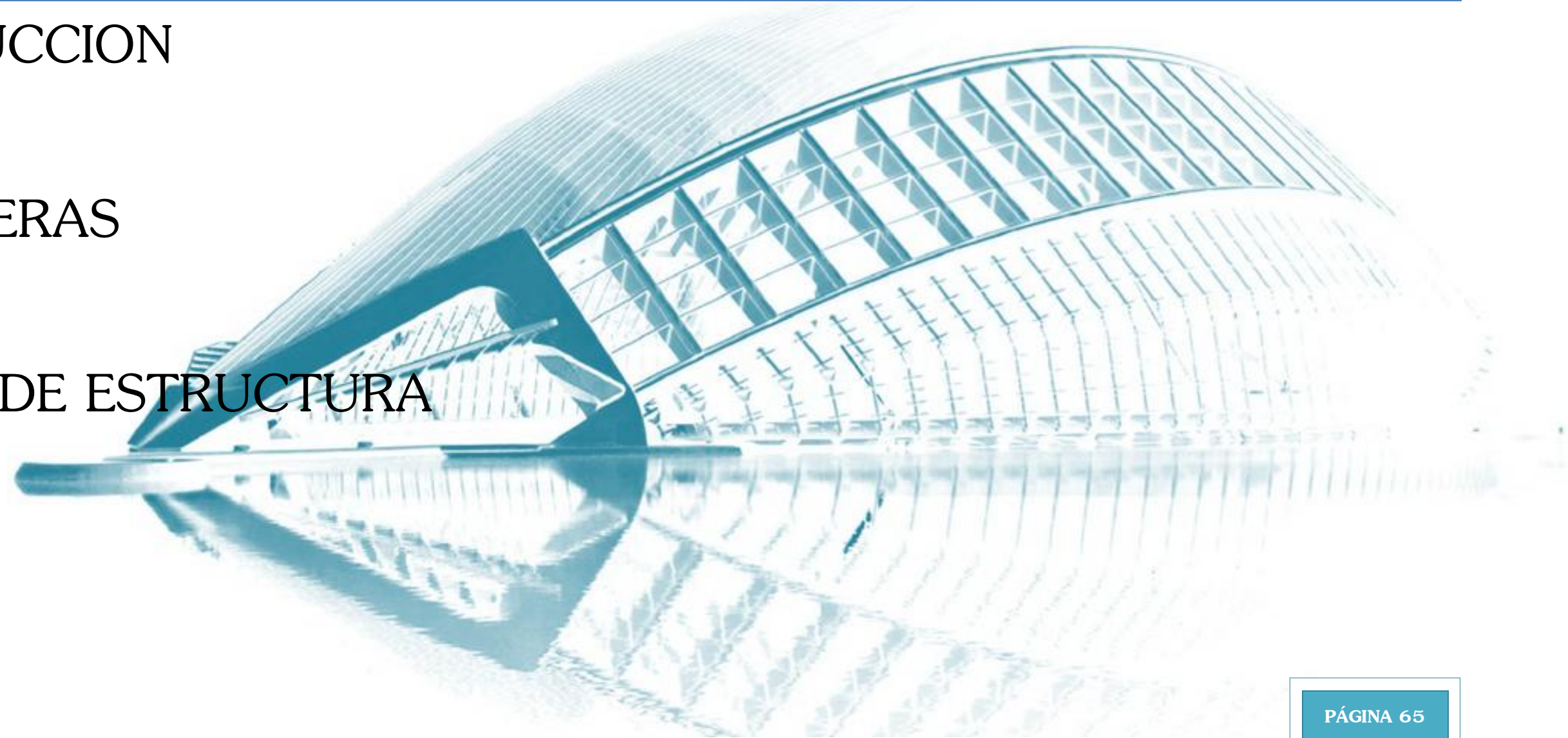
6.1. INTRODUCCION

6.2. CÚPULA

6.3. CRISTALERAS

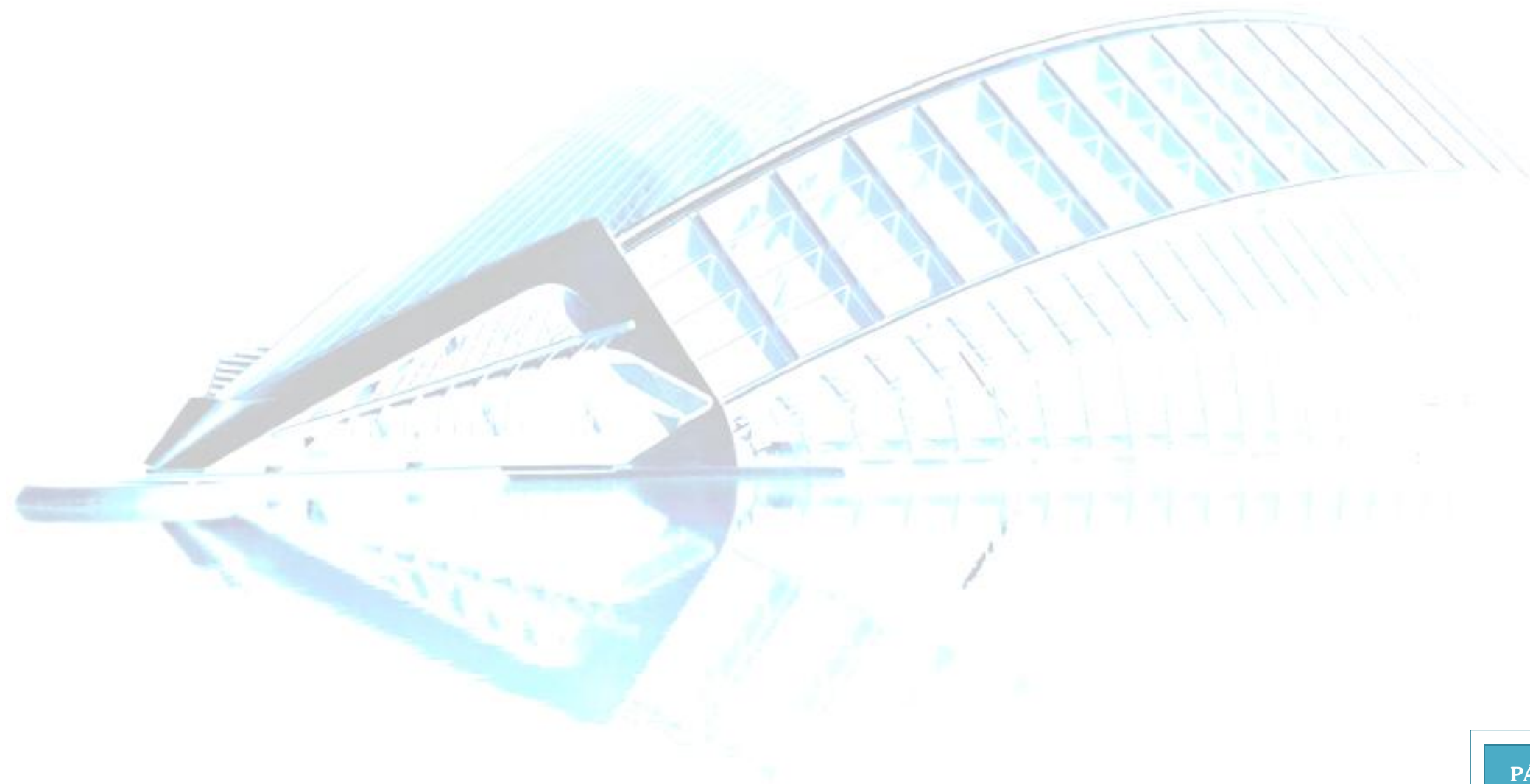
6.4. TRÍPODE

6.5. PLANOS DE ESTRUCTURA



# 6.1. INTRODUCCION

---



## 6. ESTRUCTURA:

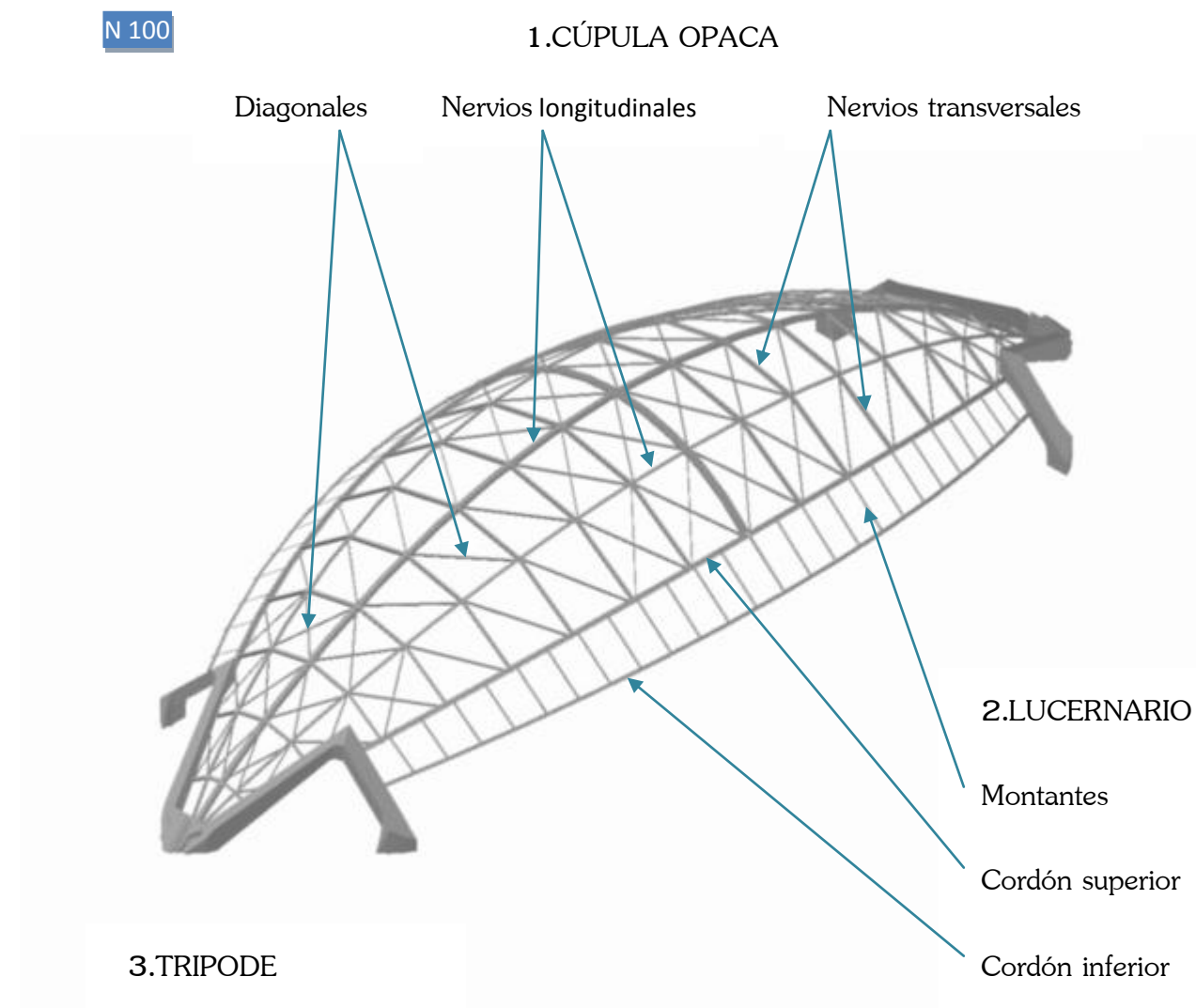
### 6.1. INTRODUCCION:

Realizando el análisis estructural de la cubierta del Hemisferic tuve la oportunidad de hablar con Víctor Martínez Segovia, calculista estructural de la obra de L'Hemisferic.

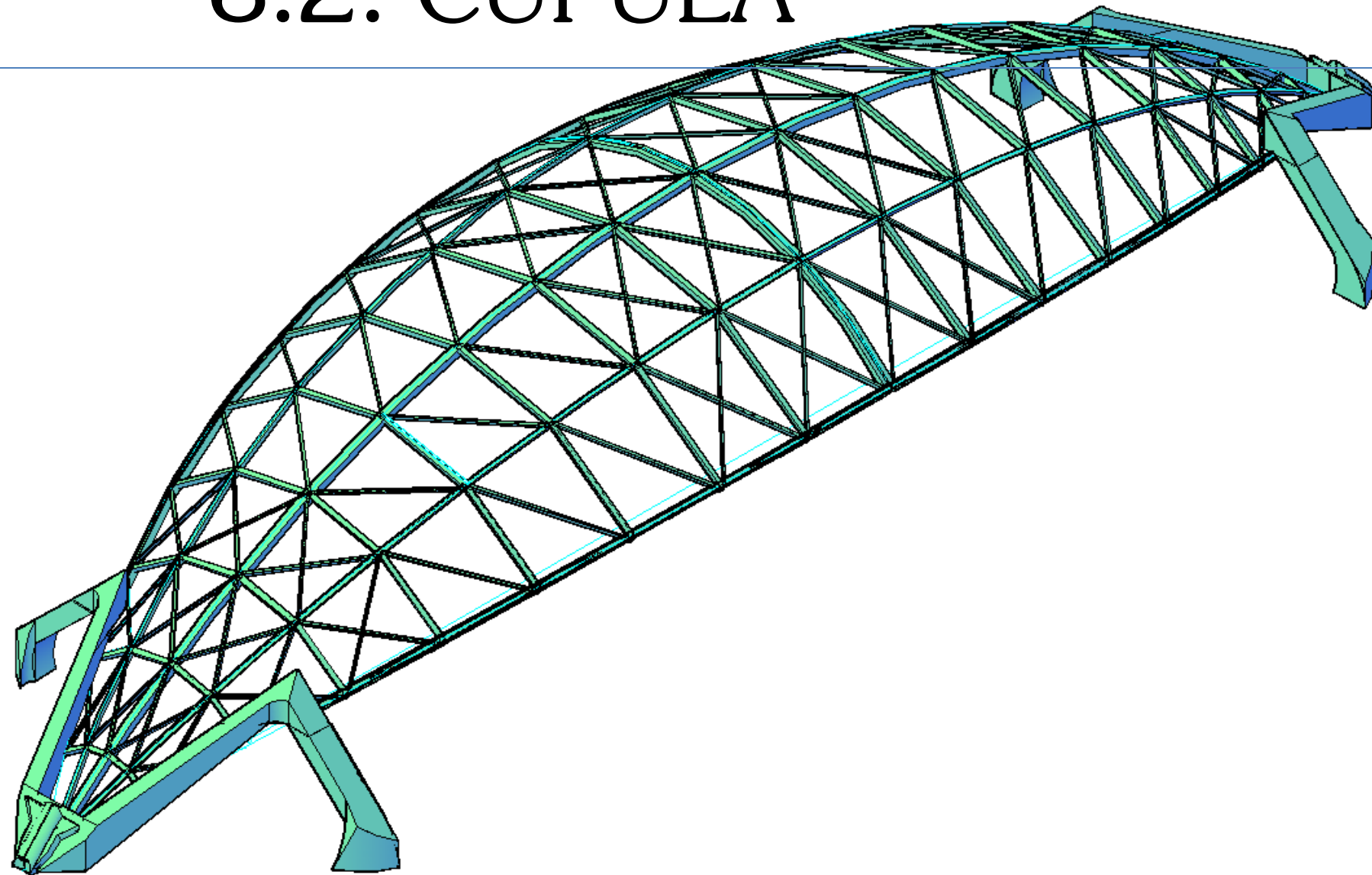
Los cálculos estructurales se hicieron principalmente a mano, según me comentó, repasando una y otra vez para confirmar su correcta realización, aunque tuvieron el apoyo de un programa informático llamado "COSMOS", que les proporcionaba información numérica entre nudo y nudo, pero no aportaba información gráfica, ni datos a nivel global de la estructura, por lo que el cálculo se realizó manualmente.

En el proyecto básico los nervios principales de la estructura, según Calatrava estaban planteados con hormigón armado, pero dada la complejidad que esto conllevaba al ponerlo en obra ( encofrados, puesta en obra ), se desechó y se recurrió al acero que no necesitaba de encofrados, en gran parte se tuvo esta idea a causa de que el hemisferic ( cúpula de proyección) ya estaría realizada en esa fase de obra y entorpecería los trabajos.

Se pueden diferenciar tres partes básicas de estructura dentro de la cubierta exterior, la primera de ellas es la cúpula opaca, la segunda, las cristaleras fijas inmediatas a la cúpula, y la última de ellas, los trípodos o vértices de la estructura.



## 6.2. CÚPULA



## 6. ESTRUCTURA:

### 6.2. CÚPULA:

La parte de la cúpula que se estudia ahora es la parte de la cobertura opaca del edificio, en el cálculo según Martínez Segovia, se introdujo como una estructura espacial, en la que no solo los nervios principales son fundamentales, sino que todo el complejo trabaja al unísono para crear una especie de malla que transmita todos los esfuerzos a los trípodas, los elementos de cubrición de la cúpula no se tuvieron en cuenta ya que comparados con los estructurales son muy livianos. Esta estructura tiene tres elementos fundamentales:

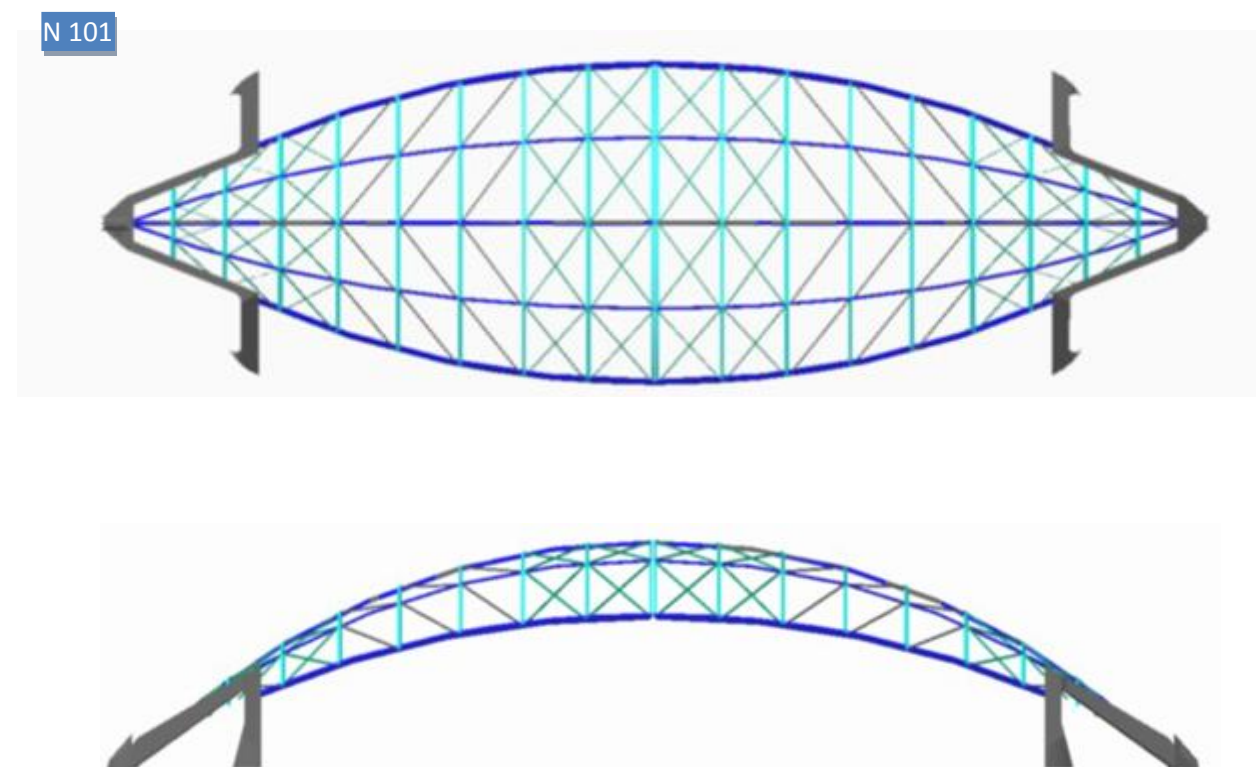
1. **Nervios longitudinales:** en un principio se plantearon de hormigón, pero por lo ya mencionado anteriormente se recurrió al acero, son vigas cajón, con forma de arco rebajado, elaboradas a partir de perfiles laminados. Son continuos de vértice a vértice.
2. **Nervios transversales:** al igual que sus homónimos se realizaron al final de acero, son perfiles laminados, que discurren transversalmente entre los nervios longitudinales, y a su vez son cortados por estos, la unión se produce mediante soldadura.
3. **Diagonales/Cruces de San Andrés:** rellenan los huecos creados por los dos nervios anteriores, son perfiles laminados soldados. Las Cruces de San Andrés están dispuestas en sitios clave, como el extremo de unión con los trípodas y la cumbre de la cúpula, las diagonales rellenan el resto de la estructura. La misión que tienen estos elementos es arriostrar frente a esfuerzos horizontales.

Estas estructuras espaciales constituyen una óptima solución para cubrir grandes luces, porque a pesar de ser resistentes por el uso de elementos de acero, son ligeras.

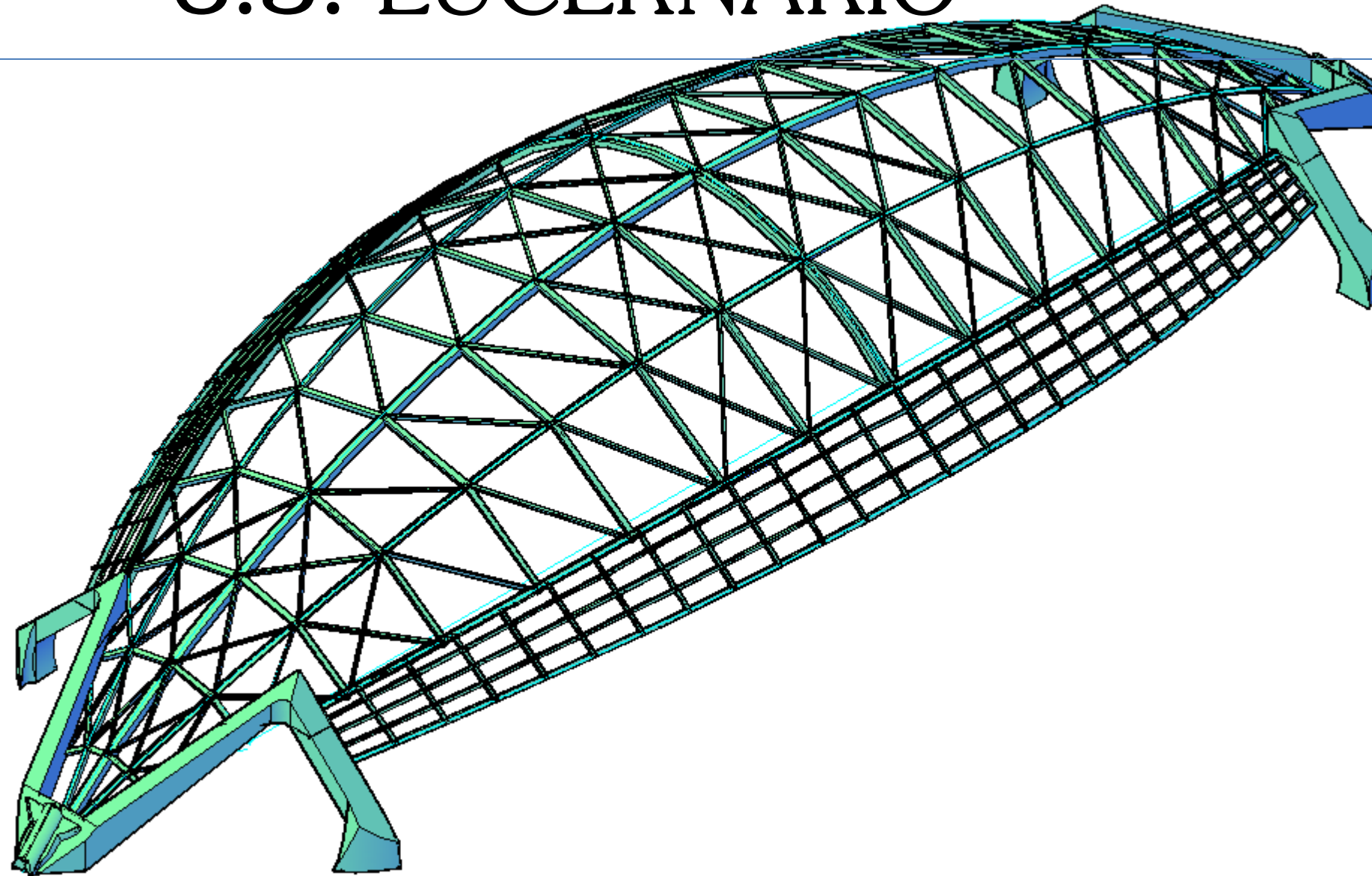
Estas formas constructivas, poseen una conexión y disposición que permite una adecuada distribución de las cargas exteriores (peso propio, cerramientos, sobrecargas útiles o accidentales, viento, etc.) y las correspondientes reacciones de apoyo.

El triángulo constituye la génesis de este sistema, es a través de las triangulaciones que se logra obtener las formas básicas. Todos los elementos son prefabricados en taller.

La liviandad de la estructura (basada en la mayor resistencia del acero y de la buena distribución de los esfuerzos) permite salvar grandes luces sin apoyos intermedios.



## 6.3. LUCERNARIO



## 6. ESTRUCTURA:

### 6.3. LUCERNARIO:

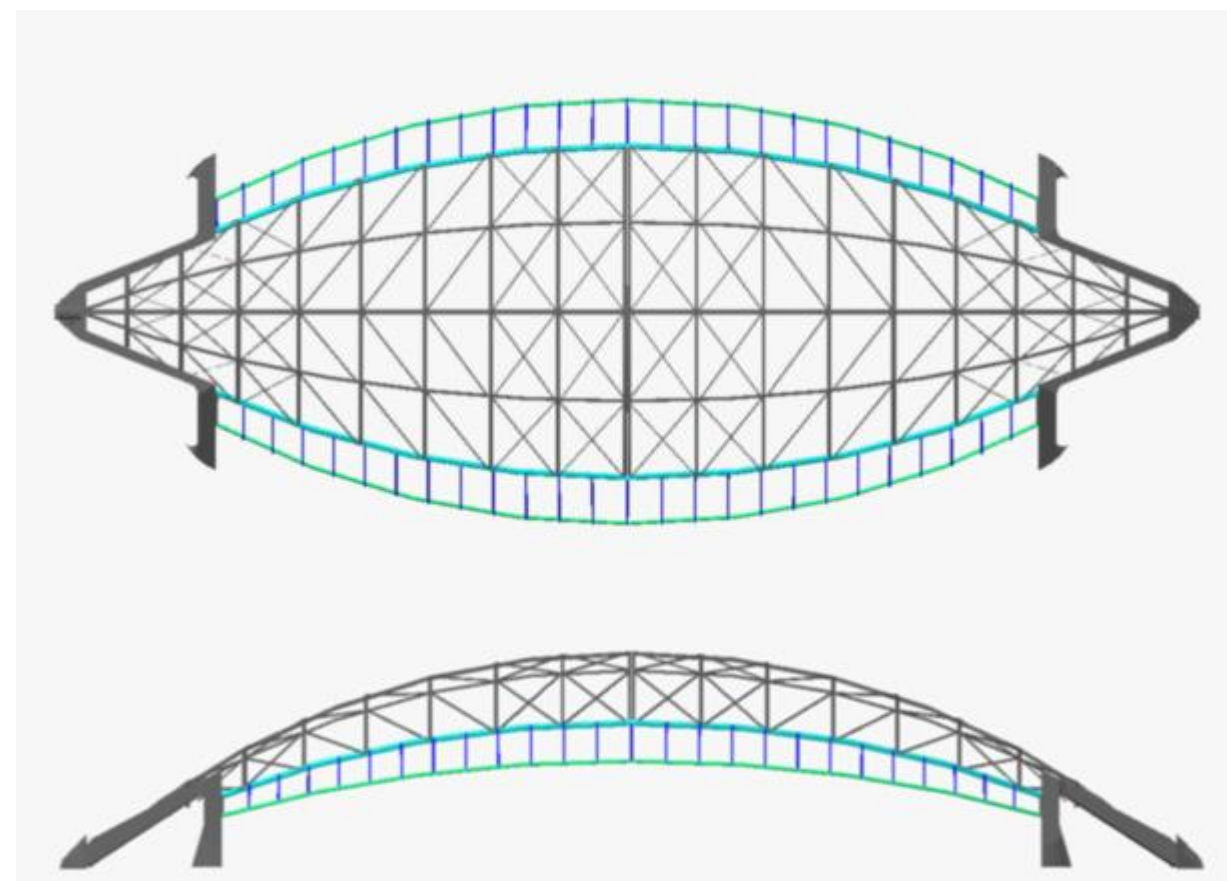
La parte de la cúpula que se estudia ahora es la comprendida desde el nervio exterior de la anterior, hasta el siguiente nervio en el que acaba el acristalamiento fijo de la cobertura. Este tramo de ventanales se introdujo en el cálculo como una estructura tipo Vierendel escalonada, como en los elementos anteriores se calculó manualmente con el apoyo del programa “COSMOS”, para el cálculo de este elemento se desprecian los vidrios así como los cinco travesaños que soportan cada cristal, es decir se tuvieron en cuenta las montantes, la viga de borde superior, y la viga de borde inferior.

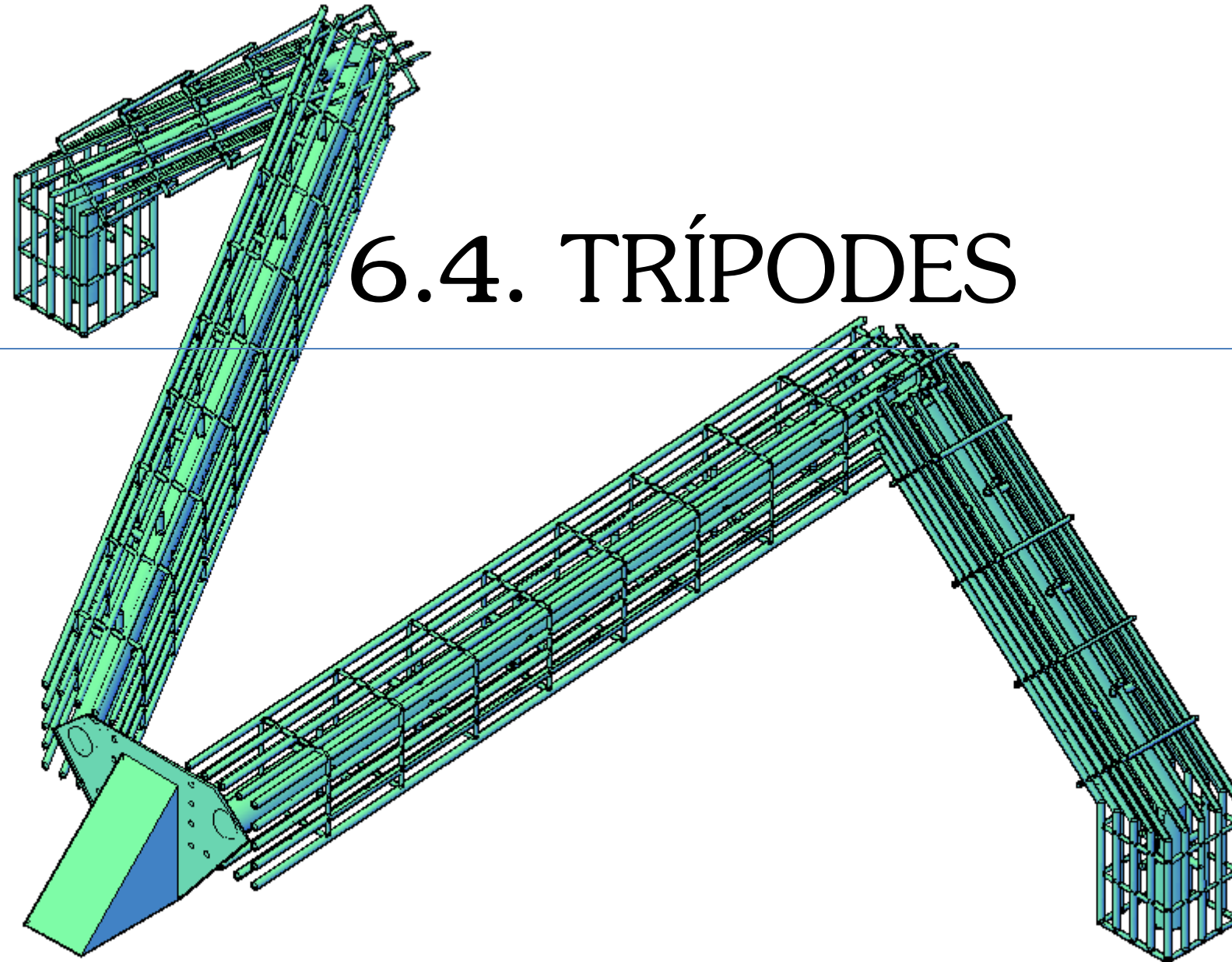
1. **Montantes:** compuestos por perfiles metálicos, soldados al cordón superior y al inferior,
2. **Viga de borde superior:** viga de cajón de arco rebajado, forma parte también de la cobertura opaca anterior, elaborada con perfiles metálicos laminados.
3. **Viga de borde inferior:** viga cajón de arco rebajado, elaborada con perfiles metálicos laminados, se encuentra en el comienzo de la cancela, es la más fuerte de estas vigas ya que soporta todo el peso y los esfuerzos que la cancela móvil crea al producirse la apertura de ésta, en su unión con el trípode se encuentran los rigidizadores más complejos de la estructura.

Hablando ya más específicamente una viga vierendel es una estructura hiperestática diseñada para grandes luces, tienen poco peso y son estables frente a las fuerzas horizontales, trabajan a compresión y a tracción pura y en ellas se produce una repartición de cargas, en vez de en los apoyos.

Están compuestas de barras horizontales que conforman un cordón superior y otro inferior, estas barras están unidas por otras transversales y a la intersección de las barras horizontales con las transversales se le llama nudo, los cuales son rígidos.

N 102





## 6.4. TRÍPODES



## 6. ESTRUCTURA:

### 6.4. TRÍPODES:

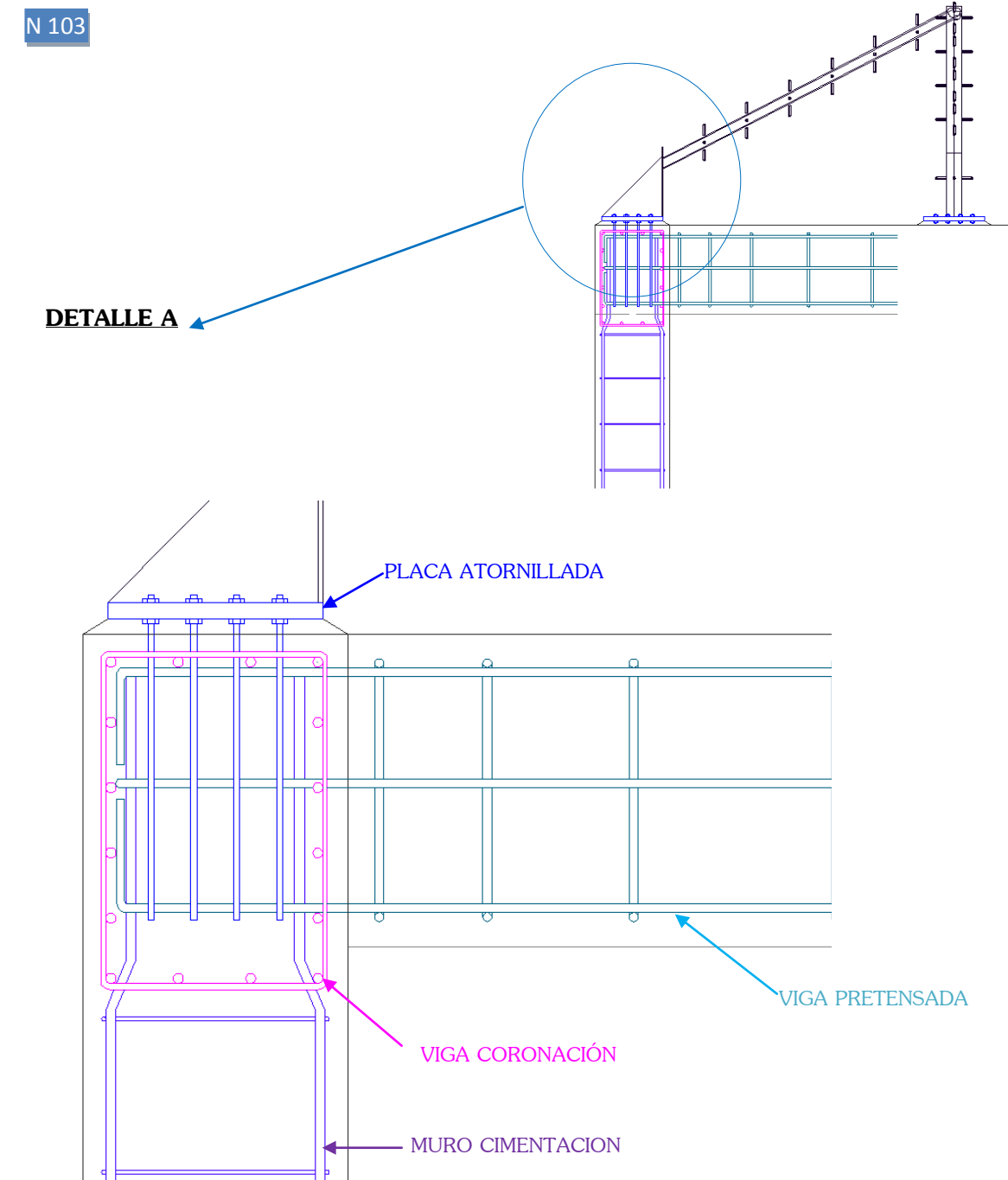
En los vértices de la estructura, en los extremos, se encuentran los trípodos. Dos elementos previstos en el proyecto básico como elementos de hormigón armado, y modificados posteriormente a una estructura mixta (acero y hormigón), que se calculó manualmente, está compuesta básicamente por tres partes fundamentales.

1. Unos tubos metálicos en forma de “M” que unidos en su parte central a la cimentación en los que se unen los nervios longitudinales de la cobertura, mediante soldadura. Además disponen de unos conectores a en su longitud para mejorar su adherencia con el posterior hormigonado.
2. Armaduras y estribos que dan forma a lo que se configurará como el trípode de entrada, todo ello cubierto por una malla llamada nervometal que hacía la función de encofrado perdido y de evitar juntas de hormigonado así como la aparición de fisuras.
3. Hormigón, que se realizó mediante tolva en la unión con la cimentación, y gunitado para el exterior.

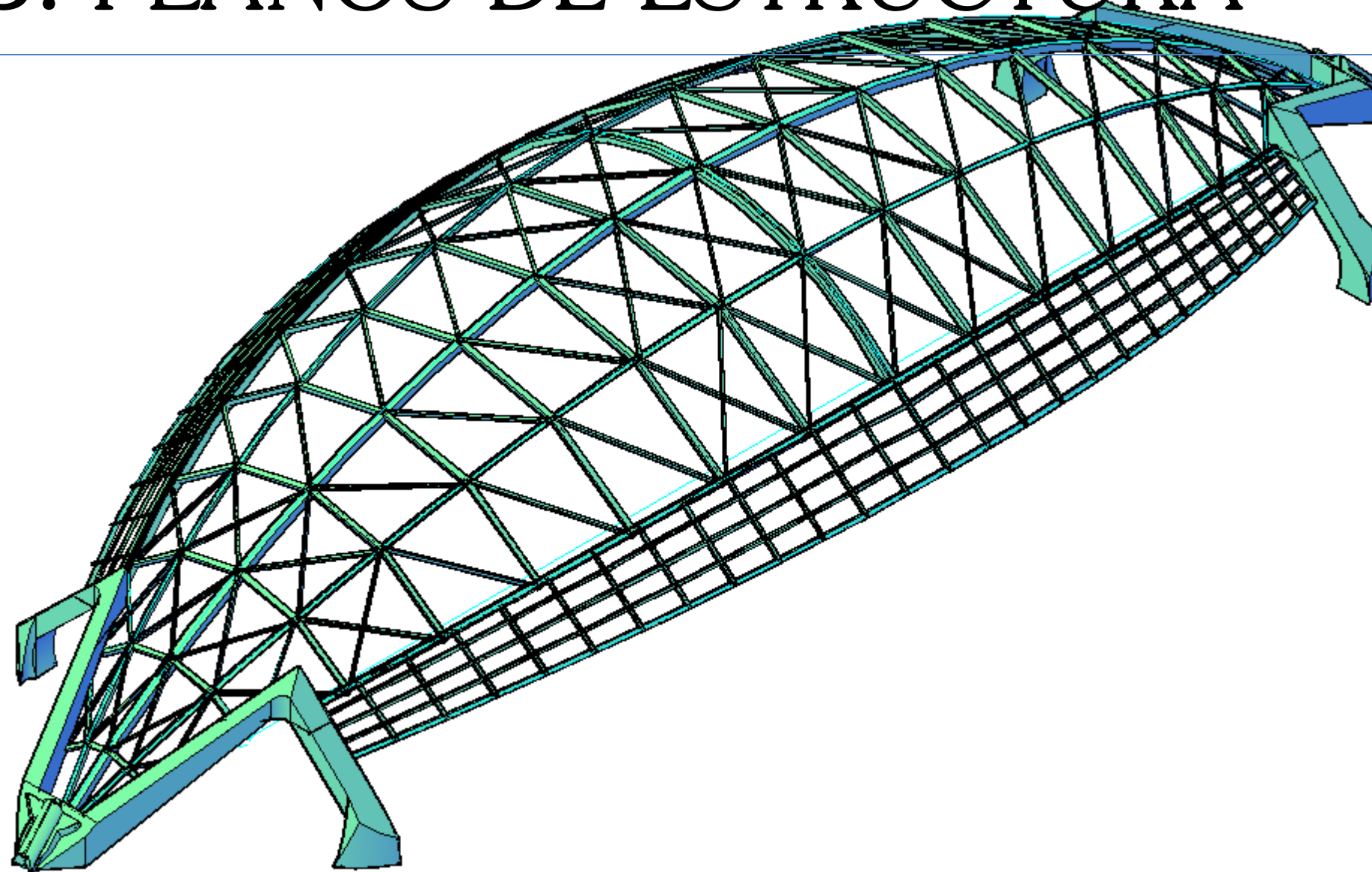
La cimentación ya estaba realizada para una estructura de hormigón armado así que se había dejado la armadura de espera para el trípode, por lo que se optó por la solución de colocar una placa de anclaje, fijada mediante taladros al hormigón, en dicha placa posteriormente se soldó el arranque de los arcos rebajados que nacen desde el apoyo central del trípode, los apoyos exteriores del trípode parten de los muros perimetrales de la cimentación del hemisferic a diferencia del central.

Los trípodos alcanzan una sección muy gruesa debido a los esfuerzos que transmiten al muro perimetral de la cimentación, por debajo del nivel del estanque, están enlaza-

dos entre sí por una viga pretensada, que recorre de trípode a trípode y el pretensado hace que la sección de la viga trabaje completamente arriostando los trípodos.

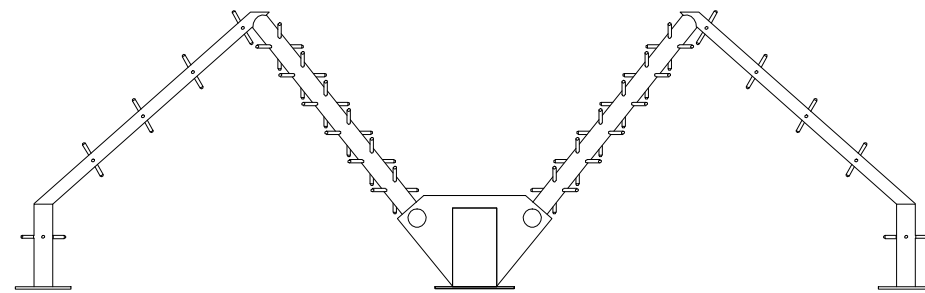


## 6.5. PLANOS DE ESTRUCTURA

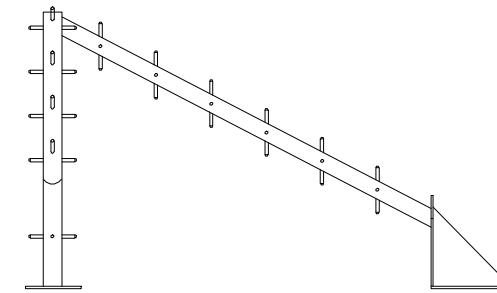


PLANO 12

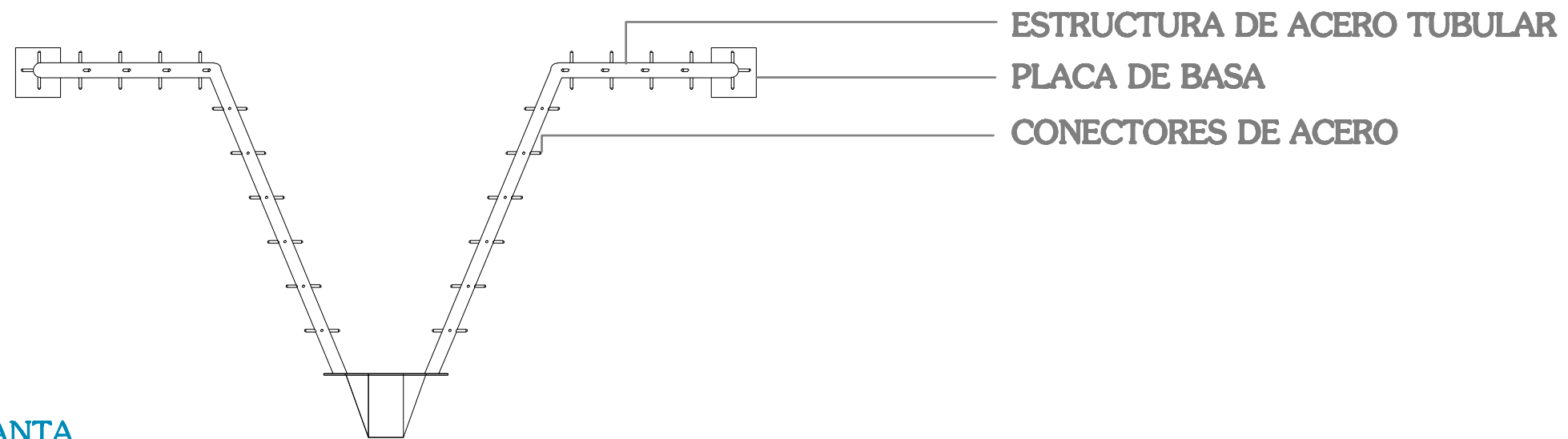
Tripode fase estructura de acero y conectores



ALZADO

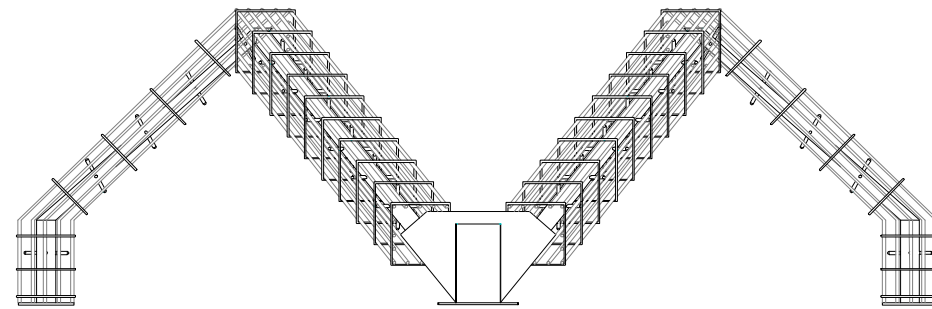


PERFIL

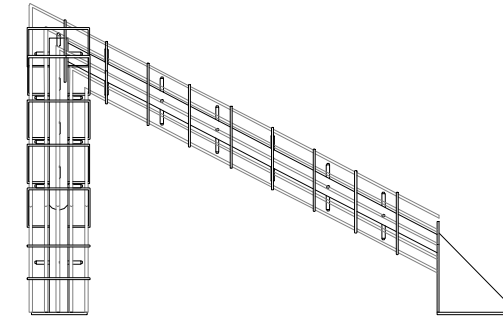


PLANTA

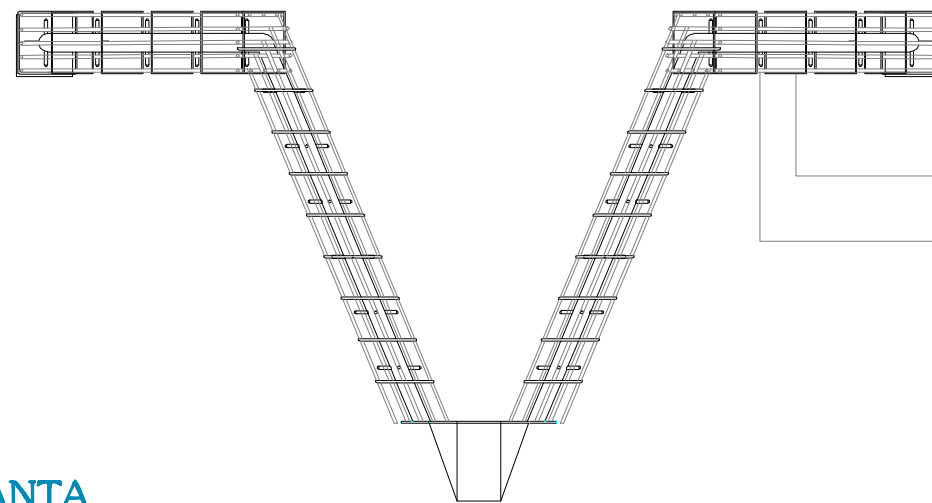
**PLANO 13**      **Tripode fase colocacion armado**



**ALZADO**



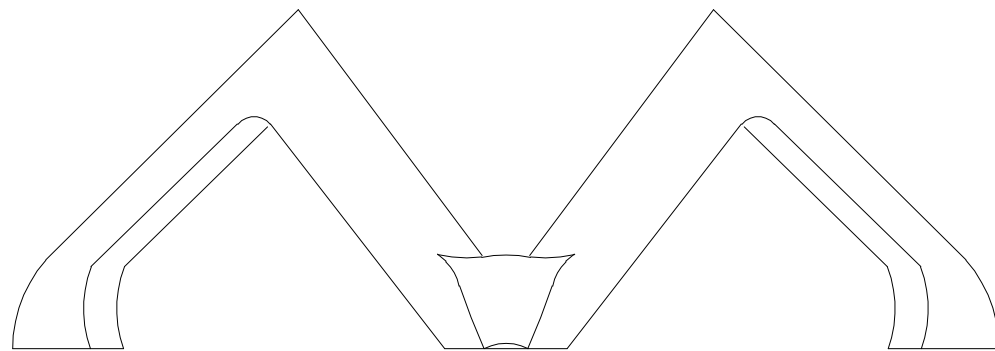
**PERFIL**



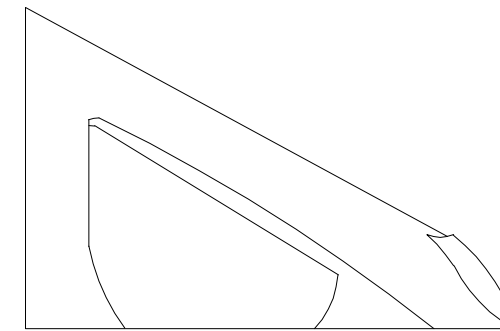
**PLANTA**

ESTRIBOS  
BARRAS CORRUGADAS

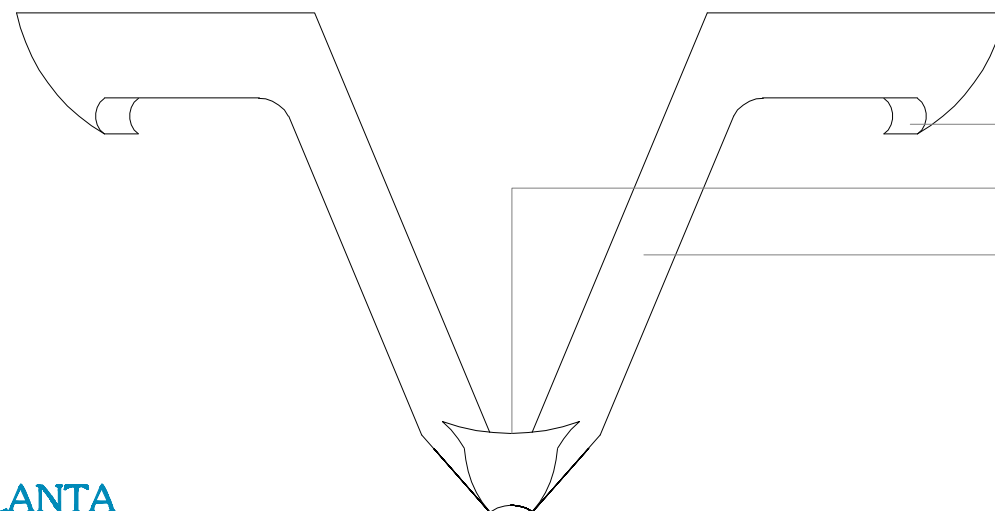
PLANO 14 Tripode fase hormigonado



ALZADO



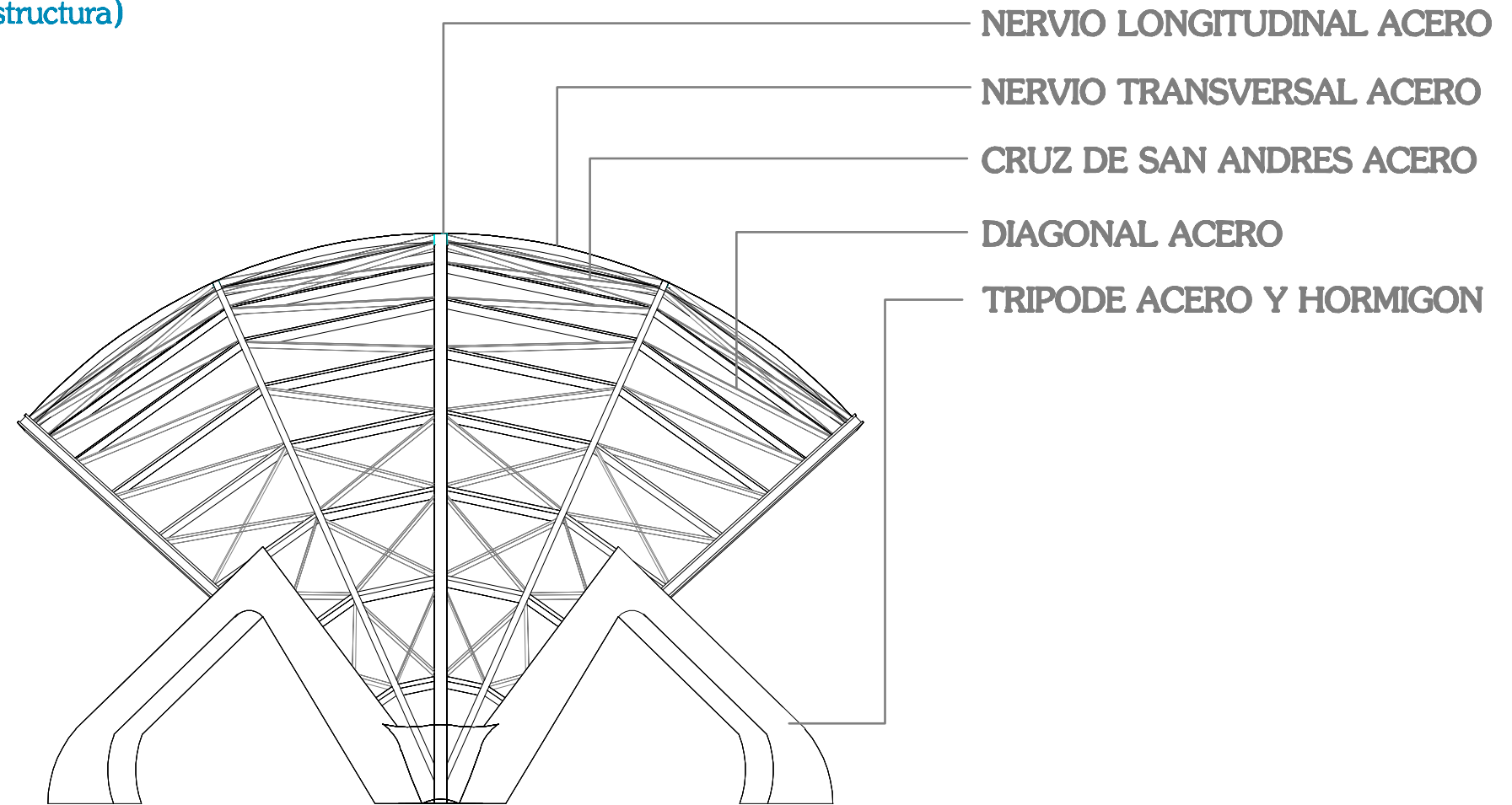
PERFIL



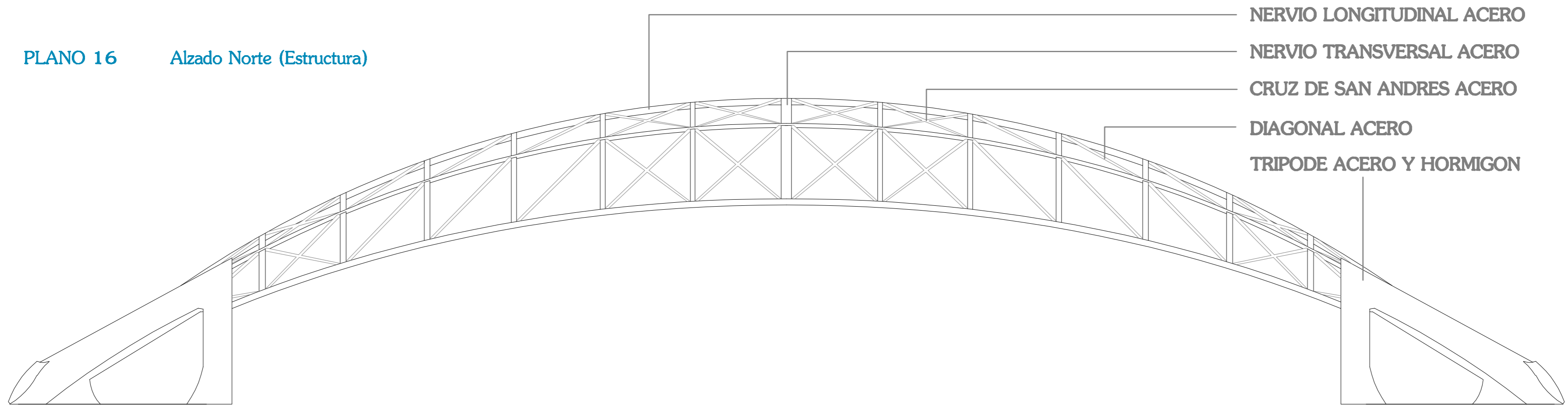
PLANTA

- HORMIGONADO GUNITADO
- HORMIGONADO POR TOLVA
- ESTUCO BLANCO

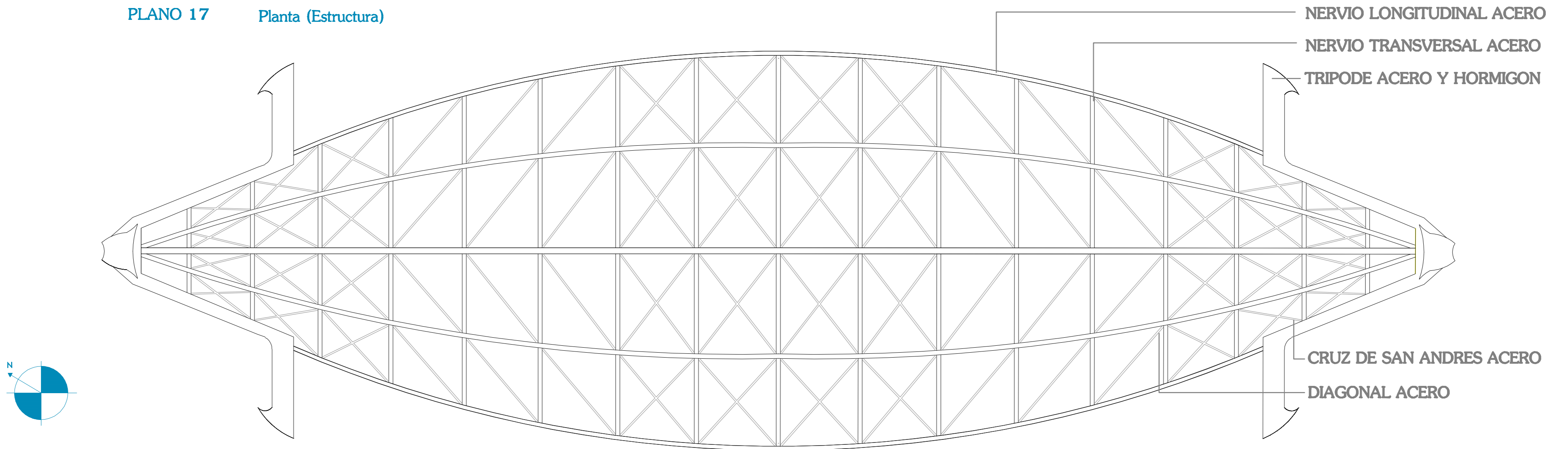
PLANO 15 Alzado Este (Estructura)



PLANO 16 Alzado Norte (Estructura)



PLANO 17 Planta (Estructura)





# 7. CONSTRUCCIÓN

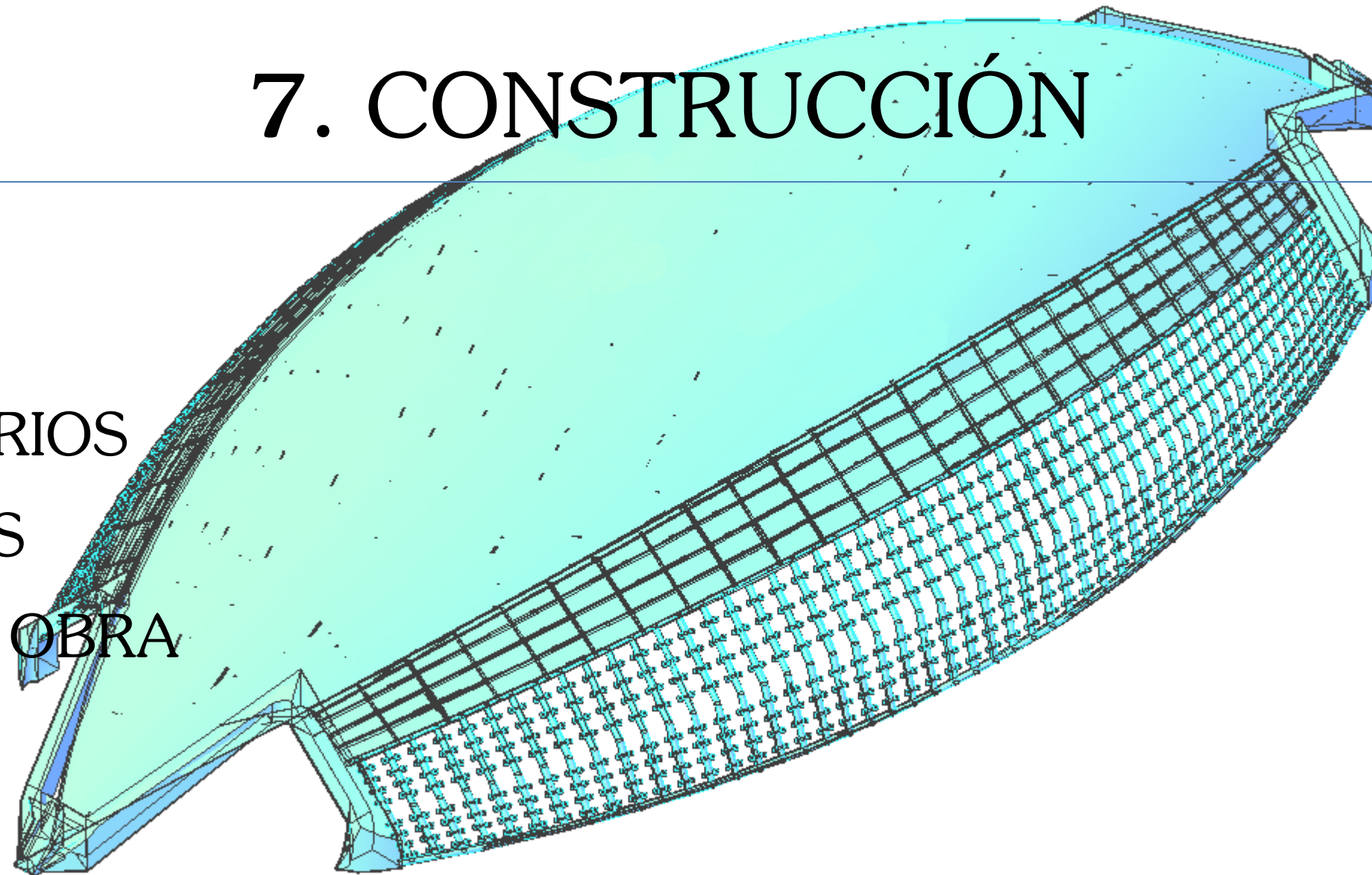
7.1. TRÍPODES

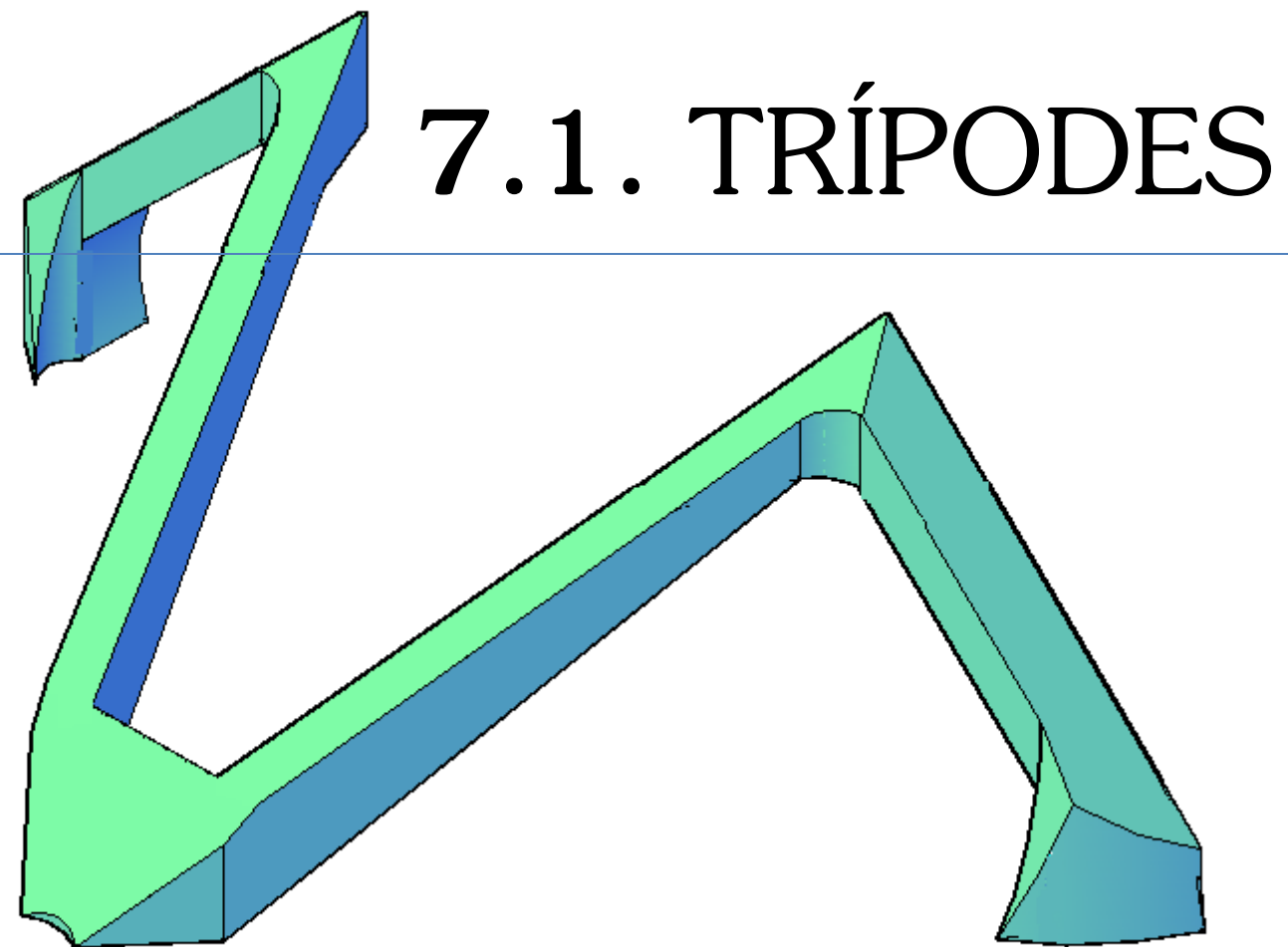
7.2. CÚPULA

7.3. LUCERNARIOS

7.4. CANCELAS

7.5. FASES DE OBRA





## 7.CONSTRUCCIÓN:

### 7.1. TRÍPODES:

Los cinco arcos rebajados que conforman la estructura están apoyados en unos elementos en forma de trípodés, es decir en tres puntos, uno central y dos exteriores.

En un primer planteamiento los trípodés iban a ser realizados de hormigón armado pero dada la complejidad de la obra y su correspondiente encofrado se rechazó la propuesta. Esto trajo consigo la correspondiente solución en la cimentación que ya estaba realizada para una estructura de hormigón armado y adaptarla a la nueva solución consistente en estructura mixta de hormigón y acero.

La cimentación es un muro que arranca desde la losa del hemisférico, se había dejado la armadura de espera para el trípode, así que se colocó una placa de anclaje fijada mediante taladros al hormigón, en dicha placa posteriormente se soldó el arranque de los arcos rebajados que nacen desde el apoyo central del trípode, los apoyos exteriores del trípode parten de los muros perimetrales de la cimentación del hemisférico a diferencia del central.

El arco central es de sección de viga cajón constante en toda su longitud desde el inicio en el este hasta el final en el oeste, sin embargo el arco lateral inmediato al central (por cada lado del eje de simetría longitudinal) comienza con sección circular para tomar forma de viga cajón a partir de su encuentro con el apoyo exterior.



Los trabajos de soldadura eran estrictamente controlados por un técnico cualificado ya que era uno de los puntos determinantes de la estructura, haciendo que el edificio completo trabaje adecuadamente y de manera uniforme, en todo el edificio cada elemento tiene su función dadas las dimensiones de la obra.

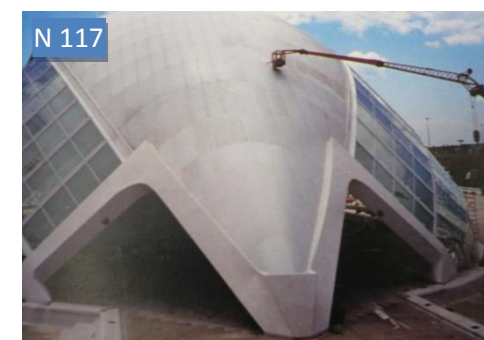
Toda la estructura que conforma la ejecución del trípode produce un reparto de todas las cargas de compresión que transmite la cubierta al trípode, y a su vez este a la cimentación y ésta al terreno.

Los tubos de sección circular y las piezas de acero llevan unos conectores tipo Nilson o Studs para una correcta adherencia con el posterior hormigonado, estos conectores se unen a las piezas de acero con una descarga eléctrica.

Para dar forma a las aristas vivas que configuran la forma final del trípode se unen mediante soldadura las armaduras que darán un acabado de sección cuadrada a la estructura del trípode. Una vez armado se cubrió todo con una malla llamada nervometal que hacía la función de encofrado perdido y de evitar juntas de hormigonado así como la aparición de fisuras.

El hormigonado del apoyo central del trípode se realizó mediante Tolva y el de los exteriores mediante gunitado, dejando la superficie con textura rugosa para la ejecución del posterior estucado, se niveló con hormigón toda la superficie del trípode y se colocaron unas maestras siguiendo el canto de la estructura para acabar aplicando el estuco, elaborado a base de cemento blanco y cal cocida con leña, una cal que da mejores resultados en cuanto acabados y durabilidad que la cal elaborada con gas.

La formación del toro se realizó con el mismo acabado que el trípode, usando una moldura o para pastas untado de resina para su formación con hormigón, y una vez fraguado la realización de su correspondiente acabado pulido de color blanco.



## 7.2. CÚPULA OPACA



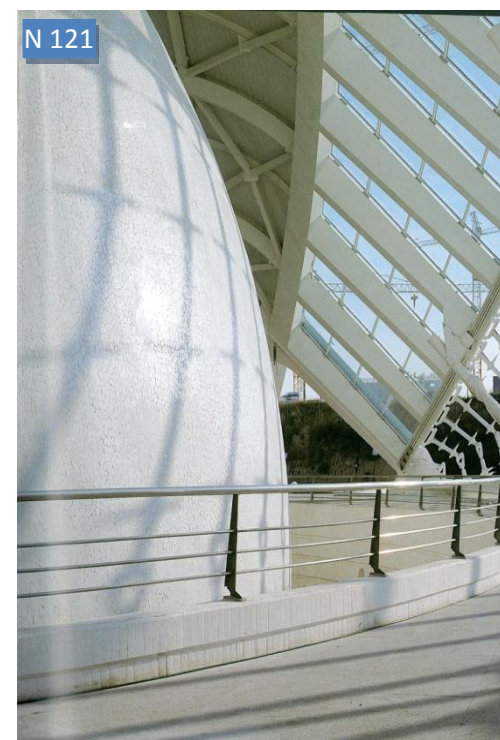
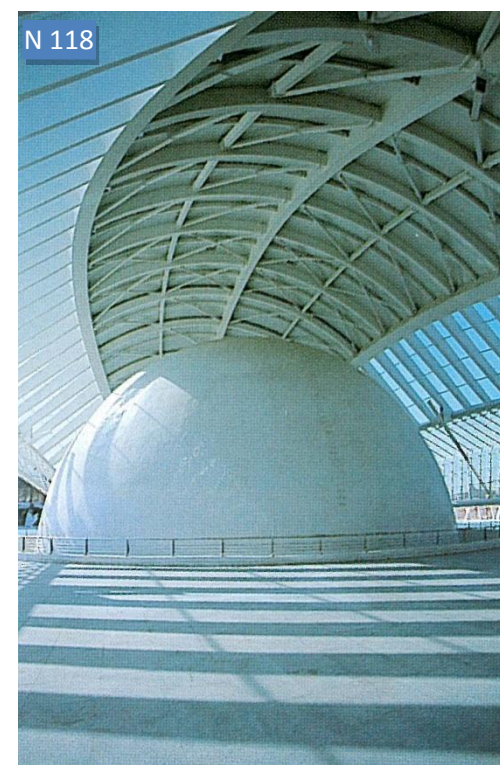
## 7.CONSTRUCCIÓN:

### 7.2. CÚPULA METÁLICA:

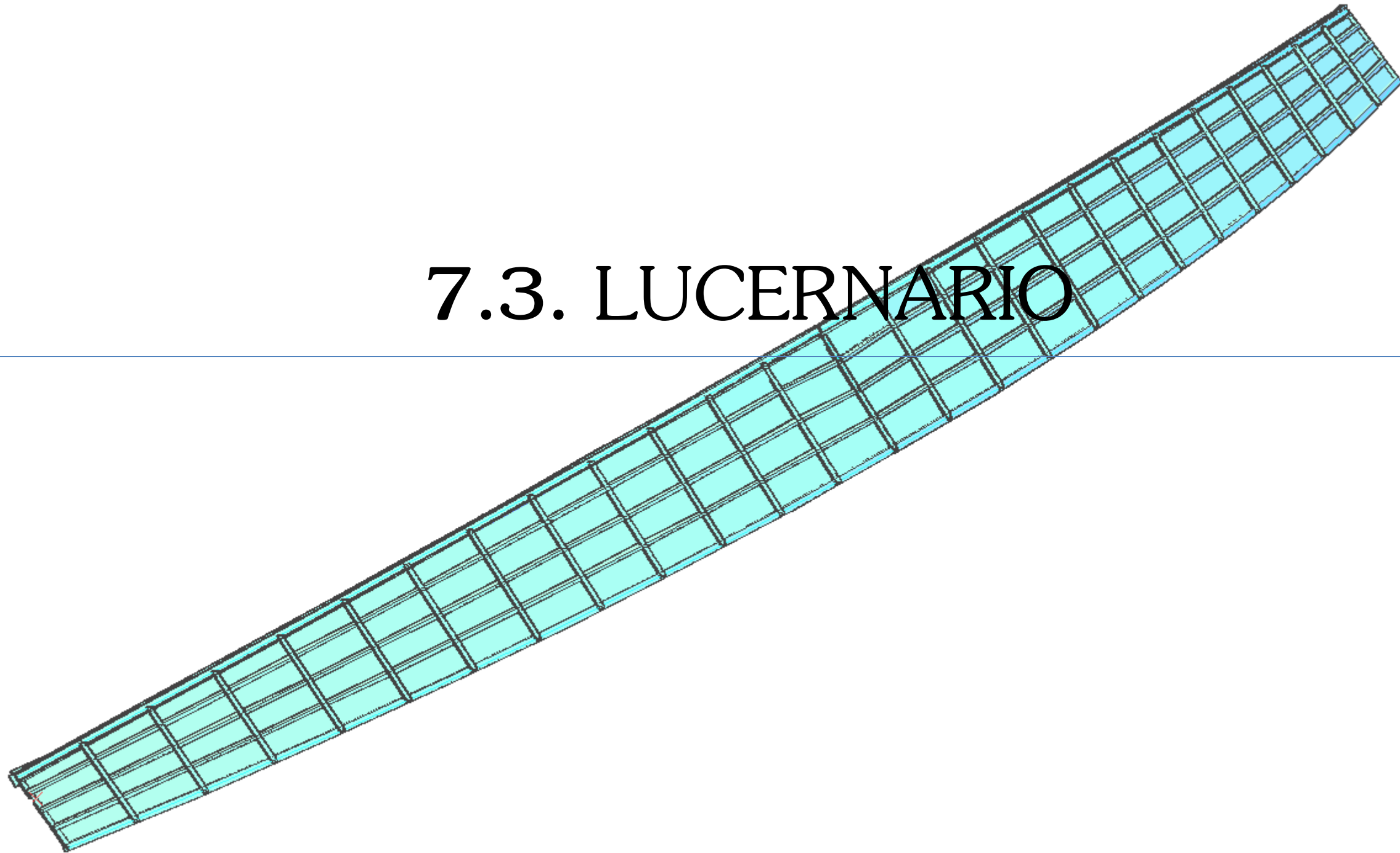
La primera fase de la cubierta se realizó una vez la estructura metálica tubular del trípode estaba ejecutada, con la ayuda de grúas se elevaron los cinco nervios principales de perfiles laminados (arcos rebajados tipo cajón) y se soldaron a dicha estructura del trípode, posteriormente se soldaron los meridianos transversales y las cruces de San Andrés así como las diagonales.

La siguiente fase fue colocar las armaduras del trípode y a su vez ejecución de los elementos de relleno de la cubierta opaca que está compuesta por paneles de tipo sandwich de 40 mm. de espesor, de chapa metálica galvanizada prelacada con poliuretano, atornilladas a la estructura y ensambladas entre sí.

Posteriormente toda la cubrición fue impermeabilizada y revestida por laminas metálicas de poco espesor



## 7.3. LUCERNARIO



## 7.CONSTRUCCIÓN:

### 7.3. LUCERNARIO:

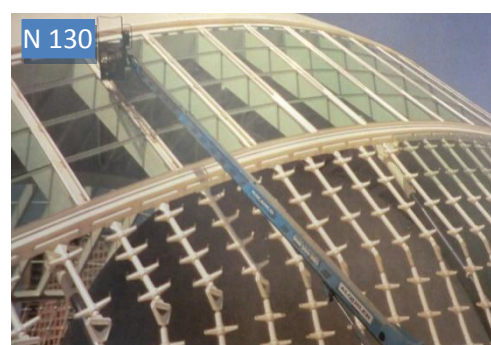
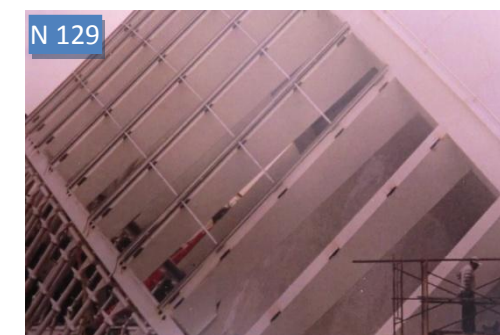
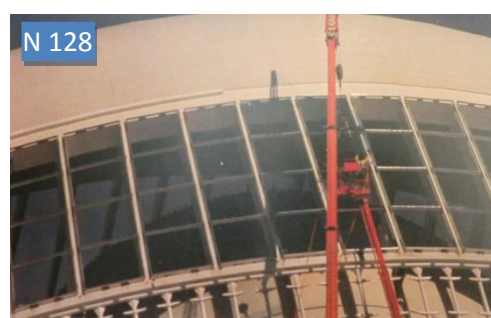
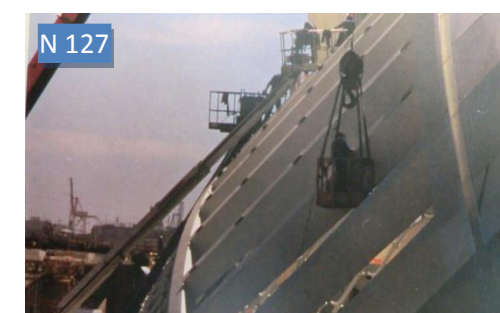
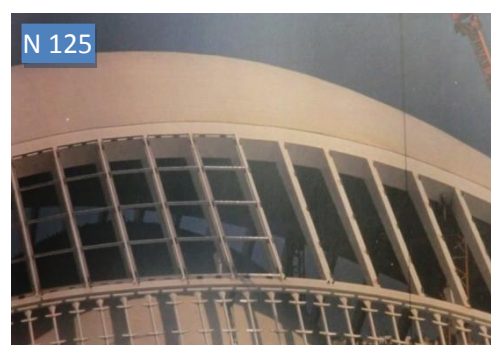
El lucernario es la parte de la estructura del hemisférico que nace desde el final de la parte opaca de la cúpula y finaliza en el inicio del sistema de cancelas, está compuesto por entramados de perfiles metálicos y mayormente de laminas vidriadas, 26 superficies acristaladas por cada fachada (norte y sur), la dificultad que presenta esta cubierta es que cada una de las cristalerías tiene dimensiones únicas respecto al resto, ninguna es igual, esto viene por la complejidad de la forma, que es curva tanto longitudinal como transversalmente.

Las partes metálicas son carpinterías de aluminio con embellecedores del mismo material de 1.5 mm de espesor y color blanco, las cuales se trasladaron a obra ya montadas de fábrica con sus dos montantes y sus cinco travesaños por módulo.

El acoplamiento de la carpintería a los arcos rebajados se realizó mediante un anclaje a 14 tubos de hierro galvanizado cuyas dimensiones eran 60 x 40 mm que fueron soldados a los arcos superior e inferior de las vidrieras, a su vez fueron soldados a estos anclajes perfiles en U de 45 x 45 mm, éstos ya venían atornillados a montantes y travesaños de la carpintería desde fábrica. Para el proceso de montaje de todo el conjunto de elementos citados se soldó en el arco inferior un angular provisional que permitía apoyar el marco mientras se soldaban los perfiles U con los tubos de hierro galvanizado.

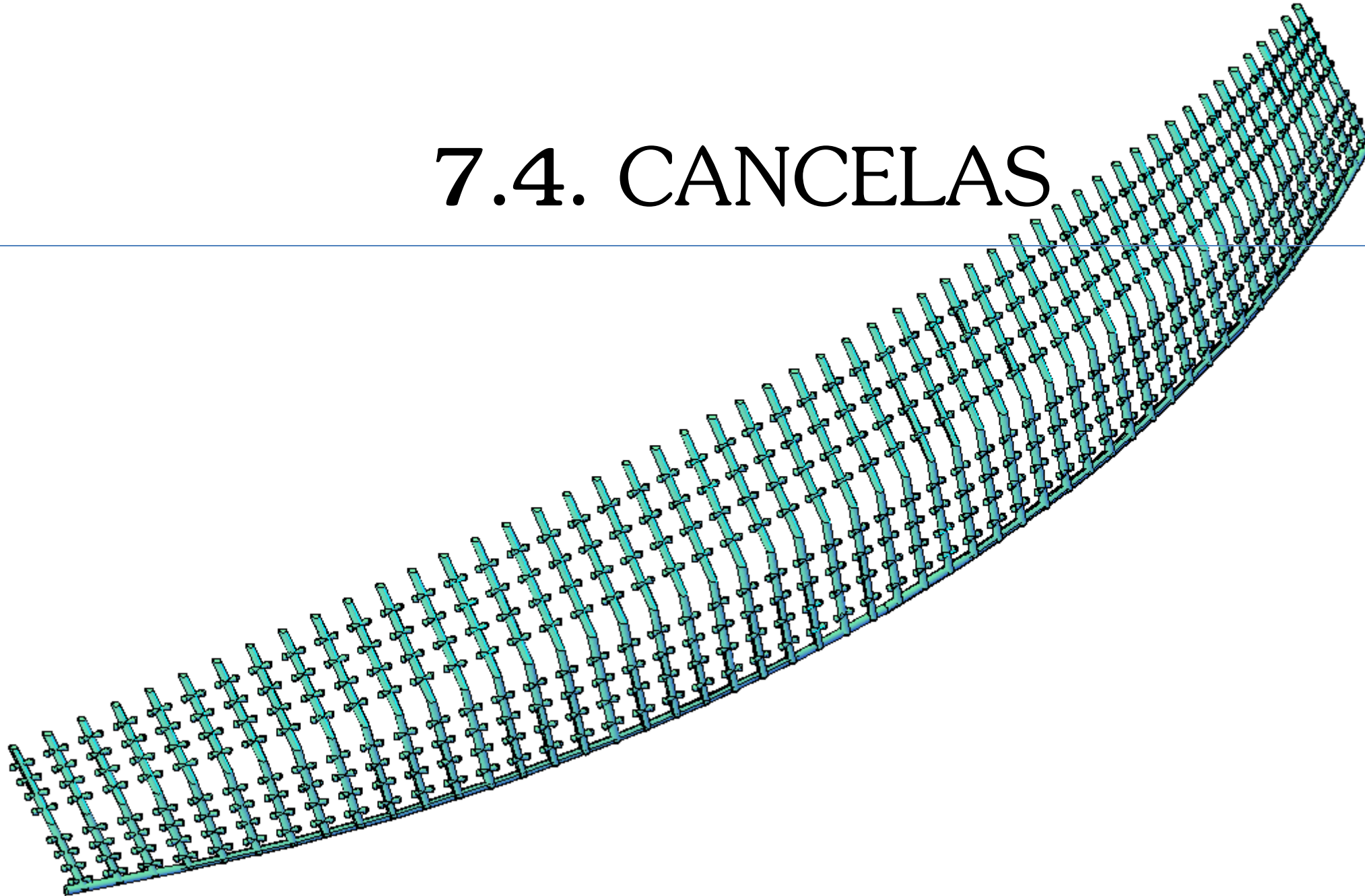
La cristalería estaba formada por dos vidrios laminados de (10 + 10)mm, transparentes, que fueron colocados una vez toda la estructura estaba fijada, y terminado con la colocación de los embellecedores de aluminio blanco mediante remachado.

El equipo de obra utilizado para esta fase de la obra en cuanto a maquinaria se refiere estaba compuesto por dos grúas telescópicas, una hacía la función de plataforma de trabajo para los operarios que se dedicaban al montaje y colocación de los elementos y la otra para el izado de los materiales.





## 7.4. CANCELAS



## 7.CONSTRUCCIÓN:

### 7.4. CANCELAS:

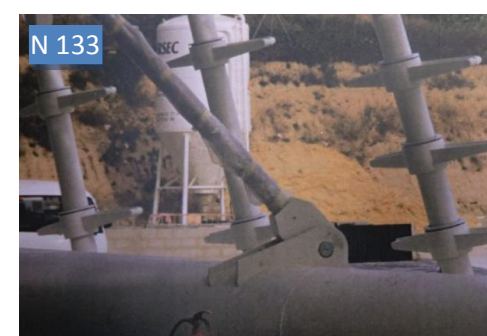
En posición cerrada, la disposición de los compases soportes de las cristalerías forman dos partes ovoidales, dando forma al globo ocular del ojo y permitiendo ver el Domo , en su posición abierta la elevación de los compases articulados conforman las pestañas del ojo dejando al descubierto el núcleo del hemisférico .

Partimos de un arco de sección circular que es paralelo a la lámina de agua, este perfil tubular “flota sobre el estanque” y está articulado en sus extremos permitiendo una apertura máxima de  $40^\circ$ , de este arco tubular nacen los 52 compases que están unidos mediante una articulación esférica, una rótula, y al arco superior mediante bisagras de articulación simple. La articulación mediana de los compases está constituida por una horquilla soportada por dos ejes libres internos a los tubos produciendo una acción de rótula y permitiendo que la parte inferior de la cancela se pliegue hacia el interior de la cúpula en su máxima apertura. La elevación de todo el sistema de elementos se produce gracias a los cinco cilindros hidráulicos telescópicos que están unidos a la estructura de acero de la cúpula mediante pivotes rotulados, y inferiormente al arco tubular mediante rodamientos de rótulas.

Los cojinetes del arco tubular permiten la articulación de éste en sus extremidades, sobre dos ejes soldados y reforzados por un cajón y una placa de unión, los cojinetes son dos y son estancos, están formados por dos rodamientos de rótulas y fijados sobre la chapa base que está sólidamente ligada al suelo.

El arco inmediatamente superior a la cancela, está construido con tubos de acero curvados y unidos por soldadura, en sus extremidades la unión con los cojinetes de articulación se asegura mediante cartelas de distribución de esfuerzos y cajones de unión.

En su parte inferior, el arco aloja a las cincuenta y dos horquillas que sirven de apoyo a los elementos de soporte de los compases.



En éste mismo arco también se encuentra la unión de los cilindros hidráulicos telescópicos de elevación de las cancelas, más bien dicho una parte de la unión, la que no está en la estructura de la cúpula, se trata de cinco horquillas sobredimensionadas que fijan la parte inferior de los cilindros telescópicos al arco. Si la cancela se encuentra en posición cerrada, este arco se apoya en unos soportes metálicos que están revestidos de hormigón, estos están en la misma posición que las horquillas.

Los compases se distribuyen a lo largo de la cancela lateral del edificio, se trata de cincuenta y dos piezas que establecerán la sujeción del acristalamiento. Cada compás está formado por un tubo portor superior fijado a la estructura superior del arco rebajado mediante una horquilla articulada, y fijado a la parte inferior del arco tubular mediante uniones rotuladas por medio de un segundo tubo. Estos tubos soportan a su vez unos brazos fundidos de aluminio, dispuestos perpendicularmente a la línea longitudinal del tubo, que sirven de base a la sujeción de los vidrios.

El tubo portor superior de las vidrieras tiene un eje de articulación ortogonal fijado mediante chapas de unión con la finalidad de soportar los esfuerzos de flexión lateral producidos por la apertura y el cierre de la cancela. La horquilla a su vez tiene un taladro en su centro que tiene la función de recuperar los esfuerzos producidos por cizalladura por el peso de los compases mientras dura el montaje de estos. Cuatro tuercas autoblocantes y tornillería hacen las veces de fijación al arco superior. Un ligero margen de ajuste en el diámetro de los taladros de la horquilla, permite que se posicione correctamente el compás antes de que se aprieten las tuercas, para garantizar la protección contra la corrosión de este clima de ambiente marino se recurre a espárragos de acero inoxidable, roscados y soldados sobre el mismo arco. El eje de acero del compás es de acero inoxidable y tiene un diámetro de **30 mm**, bloqueado en su posición y fijado a la oreja de horquilla todo ello mediante un tornillo. La bisagra del tubo se articula sobre un eje de acero inoxidable mediante dos anillos de plástico.

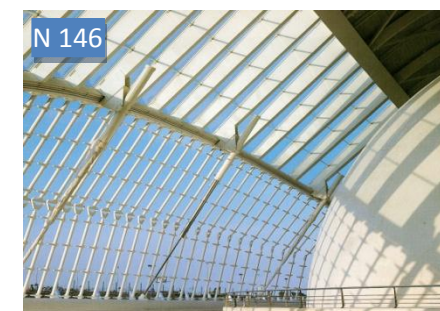
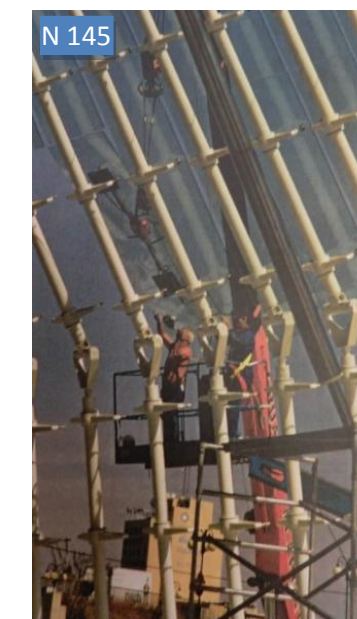
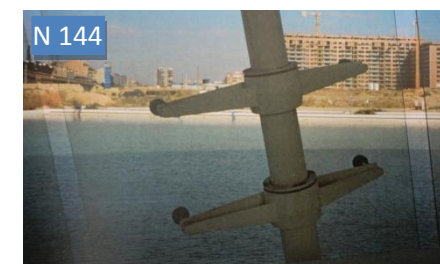


La unión del tubo superior portor y el inferior se resuelve mediante una rótula, ya que la posición impuesta por el tubo inferior mientras la apertura se produce, no permite la utilización de una rótula clásica pues no tendría un rendimiento deseado en este tipo de rotación. Por lo tanto se opta por una horquilla con un eje de acero inoxidable instalada sobre unos anillos de plástico (similares a la articulación superior del tubo portor) que están alojados en el interior de los tubos, para un correcto funcionamiento de la articulación. En cada uno de estos dos tubos la articulación de la horquilla se realiza mediante un eje libre, concéntrico al tubo y oculto, en el interior de los mismos tubos.

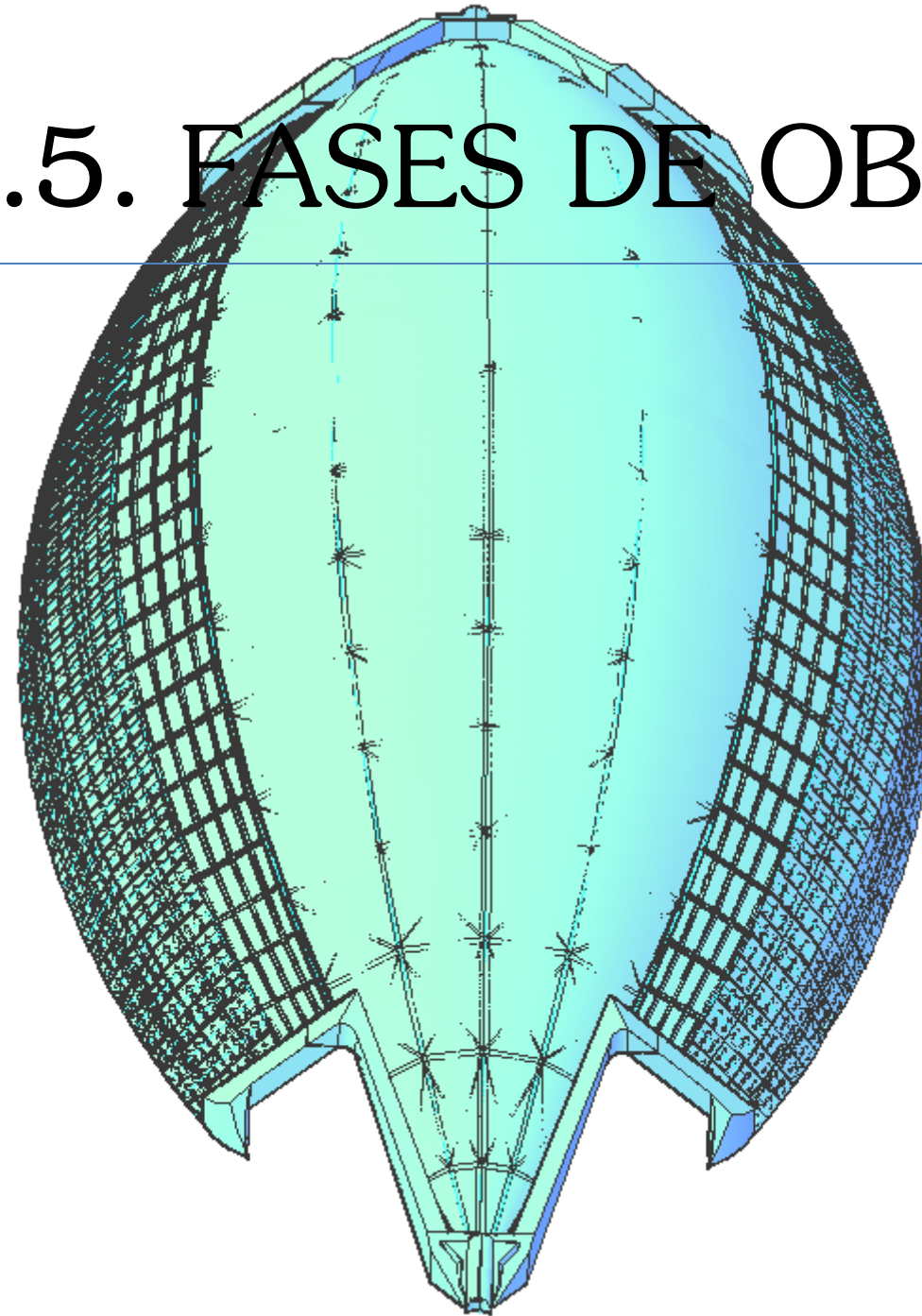
La unión del tubo inferior al arco tubular se ejecuta mediante una rótula esférica ya que es imprescindible mantener el acristalamiento paralelo al arco portor durante la apertura para que no se produzcan daños en los vidrios, los ejes libres de la junta de cardán permiten la articulación del tubo respecto al arco portante, dejando libre el movimiento lateral pedido para el seguimiento del tubo superior. La horquilla soporte, solidaria con el arco, contiene un dado de acero que está fijado por otra horquilla la cual está posicionada perpendicularmente y unida por soldadura a la parte inferior del tubo del compás. De nuevo existen unos ejes de acero inoxidable que giran sobre unos anillos de plástico conforme se ha explicado en las otras dos articulaciones.

Los brazos fundidos de aluminio para la fijación de los vidrios aseguran la colocación del cristal con el tubo del compás. Debido a razones de estética, peso y resistencia a la corrosión de este ambiente valenciano han sido contruidos de aluminio fundido en molde de arena. La fijación de las piezas de aluminio a los compases se ejecuta mediante el apriete de una pinza cónica, la cual está formada por tres piezas de fundición en zamak, éstas permiten que se ajuste la posición en la longitud del tubo portor ya sea inferior o superior (es el mismo sistema para ambos) y aseguran un ajuste simultáneo en la rotación, algo muy importante para la alineación correcta del acristala-

miento. Un espárrago roscado de acero inoxidable permite el ajuste en altura y sujeta el vidrio cuando la rotula se acciona gracias a dos tuercas, junto a dos arandelas de caucho que amortiguan la fricción que producen otras dos arandelas de acero inoxidable sobre las anteriores tuercas.

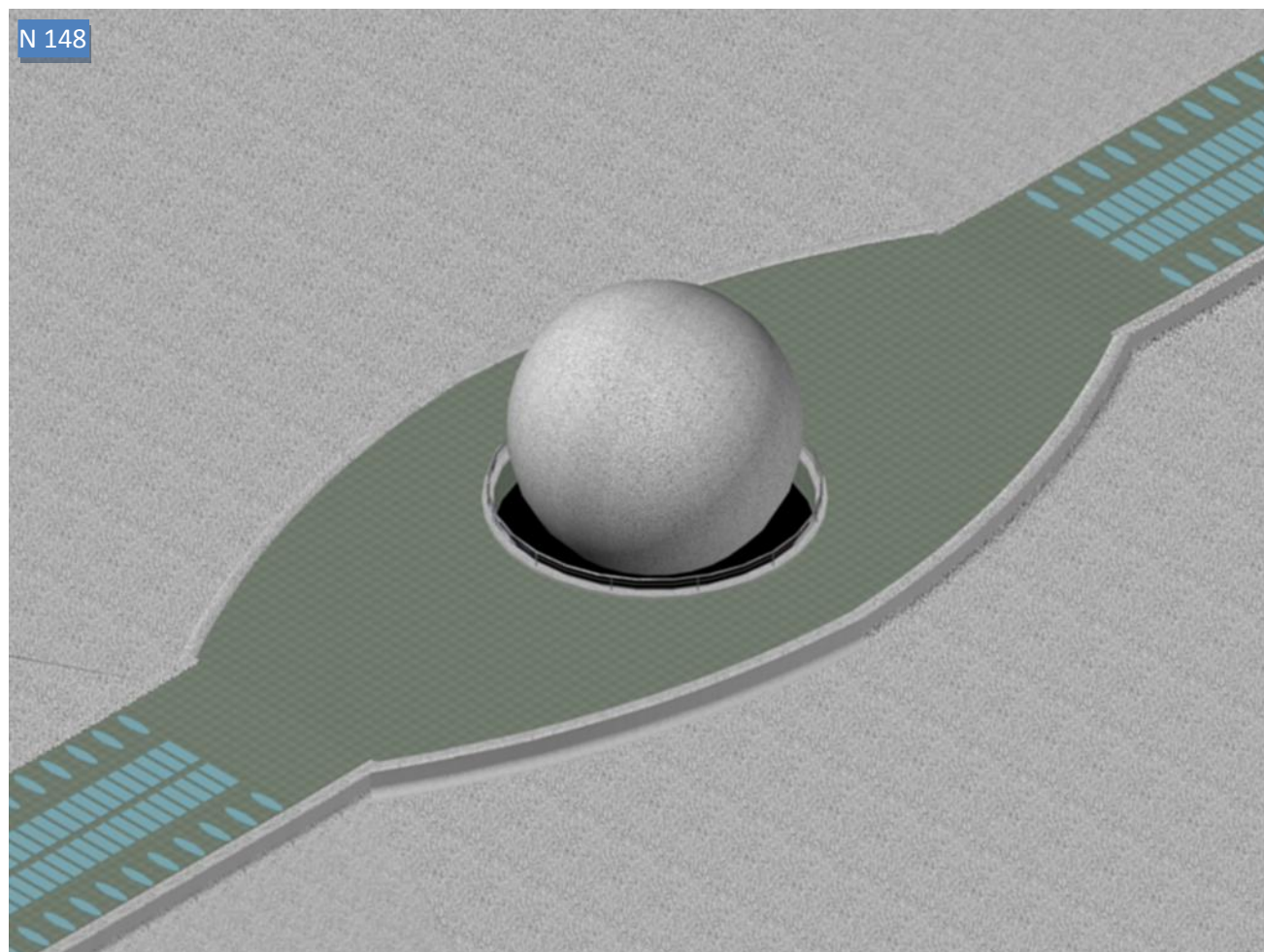


## 7.5. FASES DE OBRA



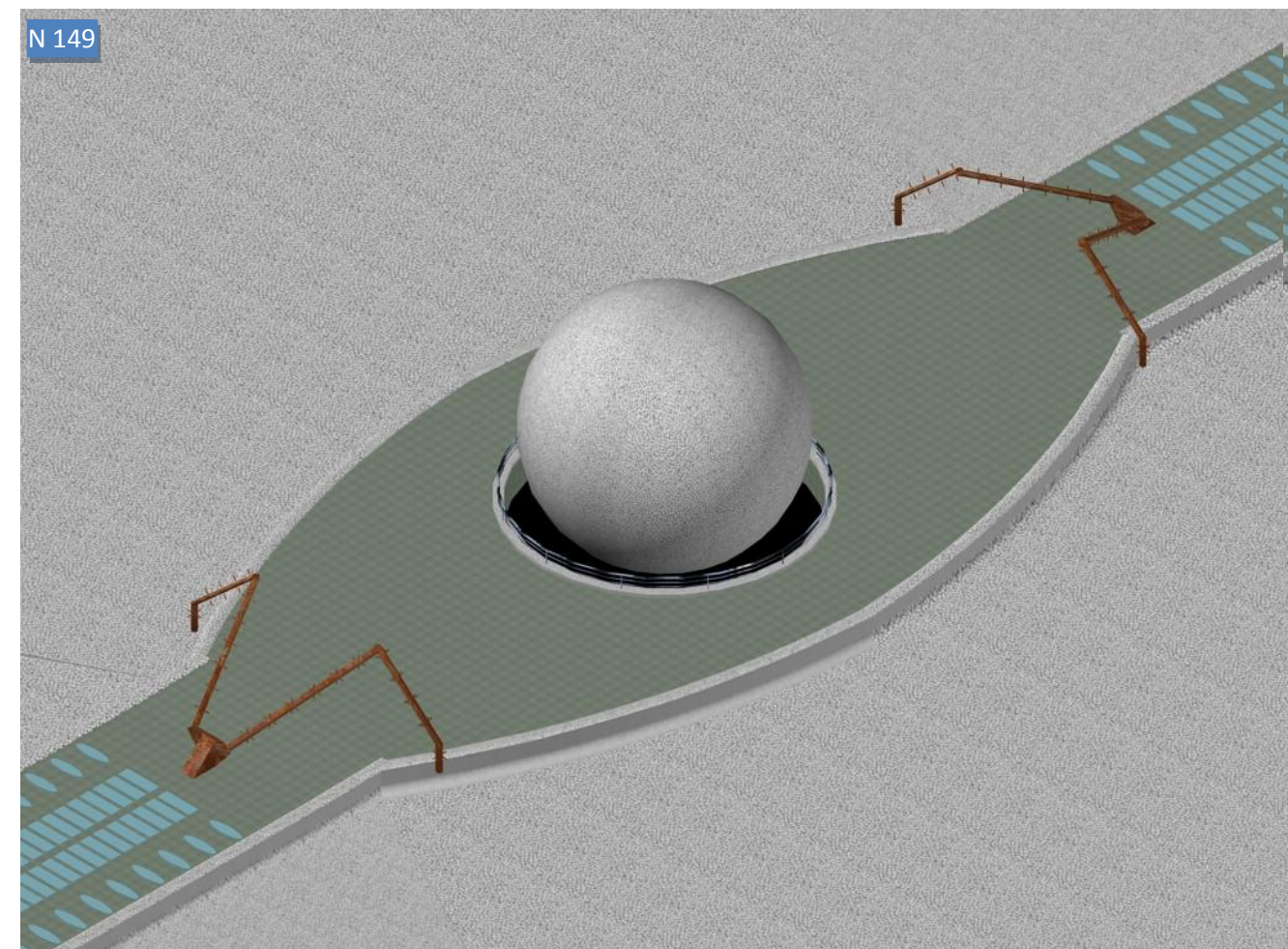
## 7.CONSTRUCCIÓN:

### 7.5. FASES DE OBRA:



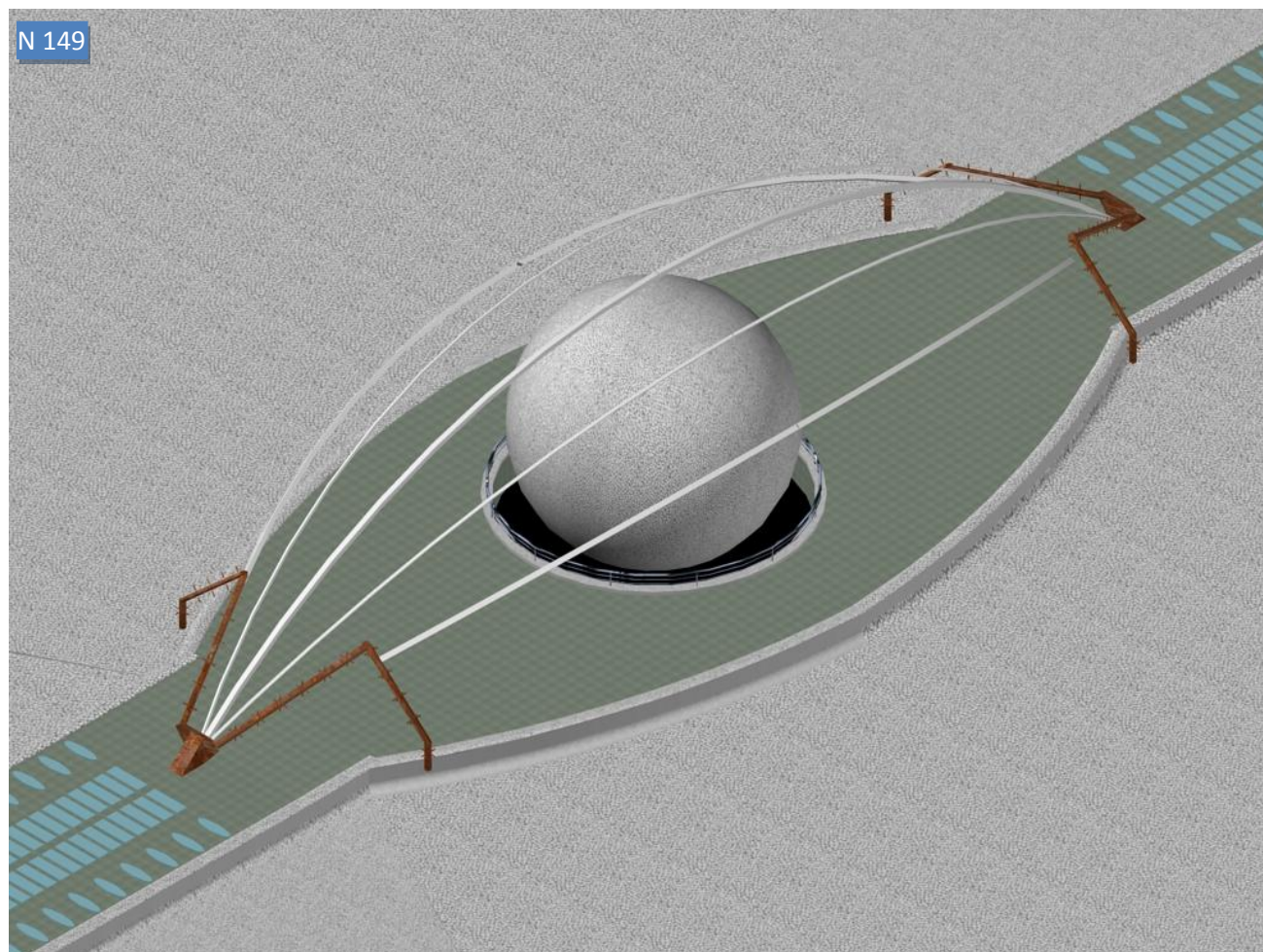
#### FASE 0:

Con la cimentación del edificio terminada y el DOME o Hemisferic acabado comienzan los trabajos para la realización de la cubierta de L'Hemisferic.



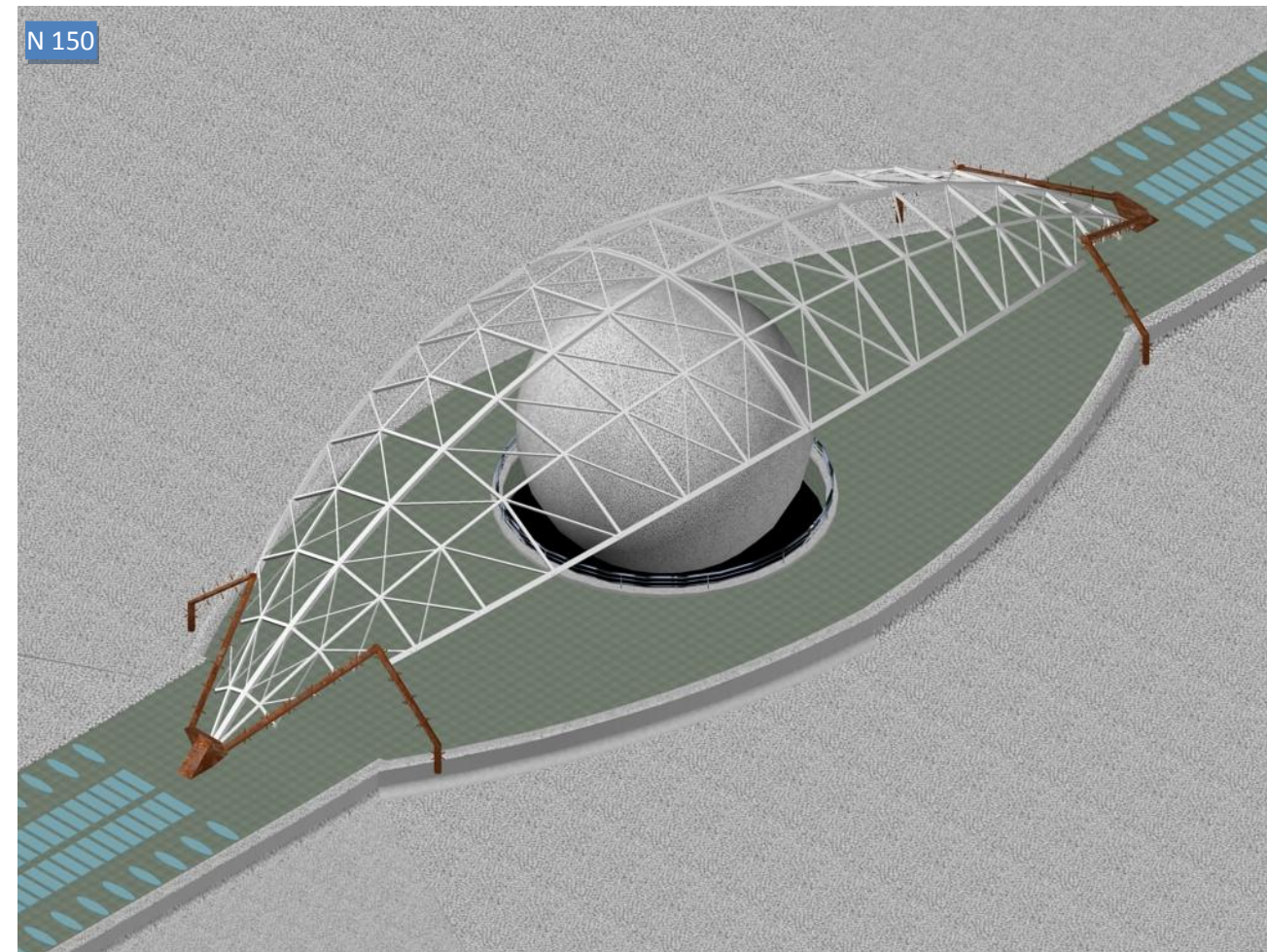
#### FASE 1:

Se establecen las bases con taladros unidas a las esperas de los muros pantalla para la ejecución de los trípodes, a continuación se colocarán los perfiles tubulares de acero. Una vez realizado se soldarán los conectores a la perfileria tubular apoyándose en andamios.



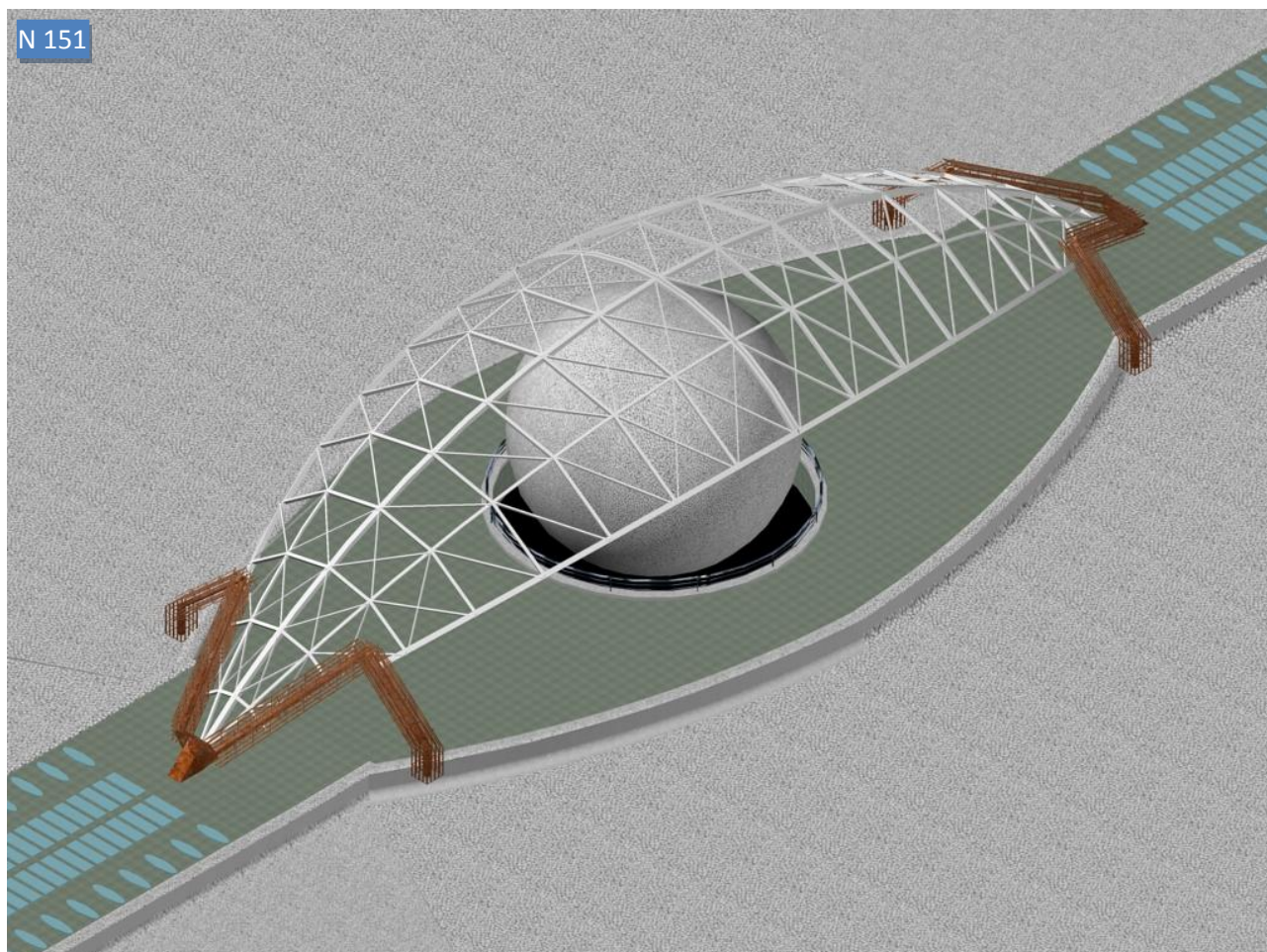
### FASE 2:

Con la ayuda de grúas se suspenderán los nervios longitudinales de acero y se soldarán al perfil tubular del trípode poniendo especial cuidado en dichas uniones.



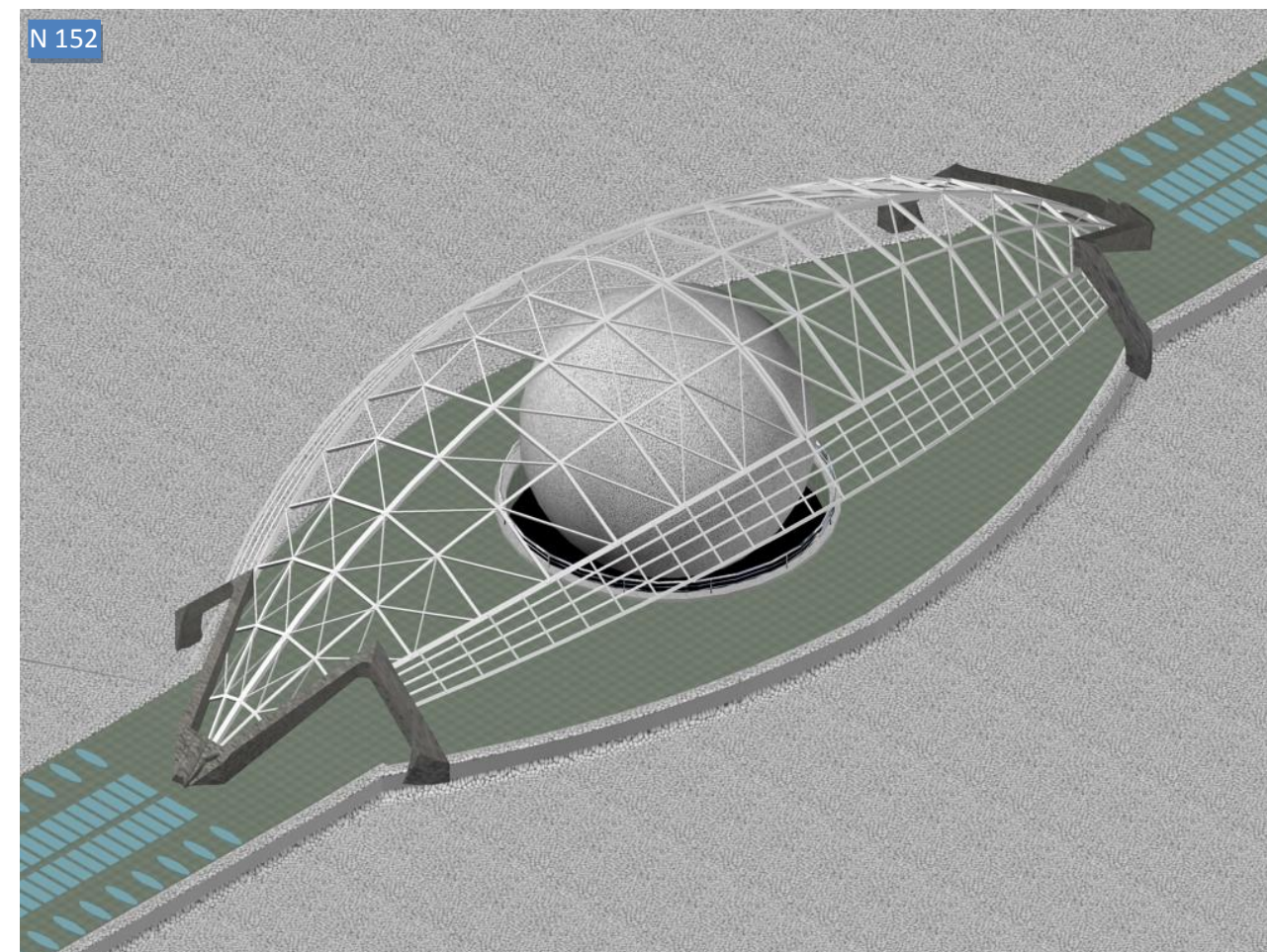
### FASE 3:

Con la ayuda de grúas se suspenderán los nervios transversales de acero, así como las diagonales y las cruces de San Andrés y se soldarán al perfil tubular del trípode poniendo especial cuidado en dichas uniones.



#### FASE 4:

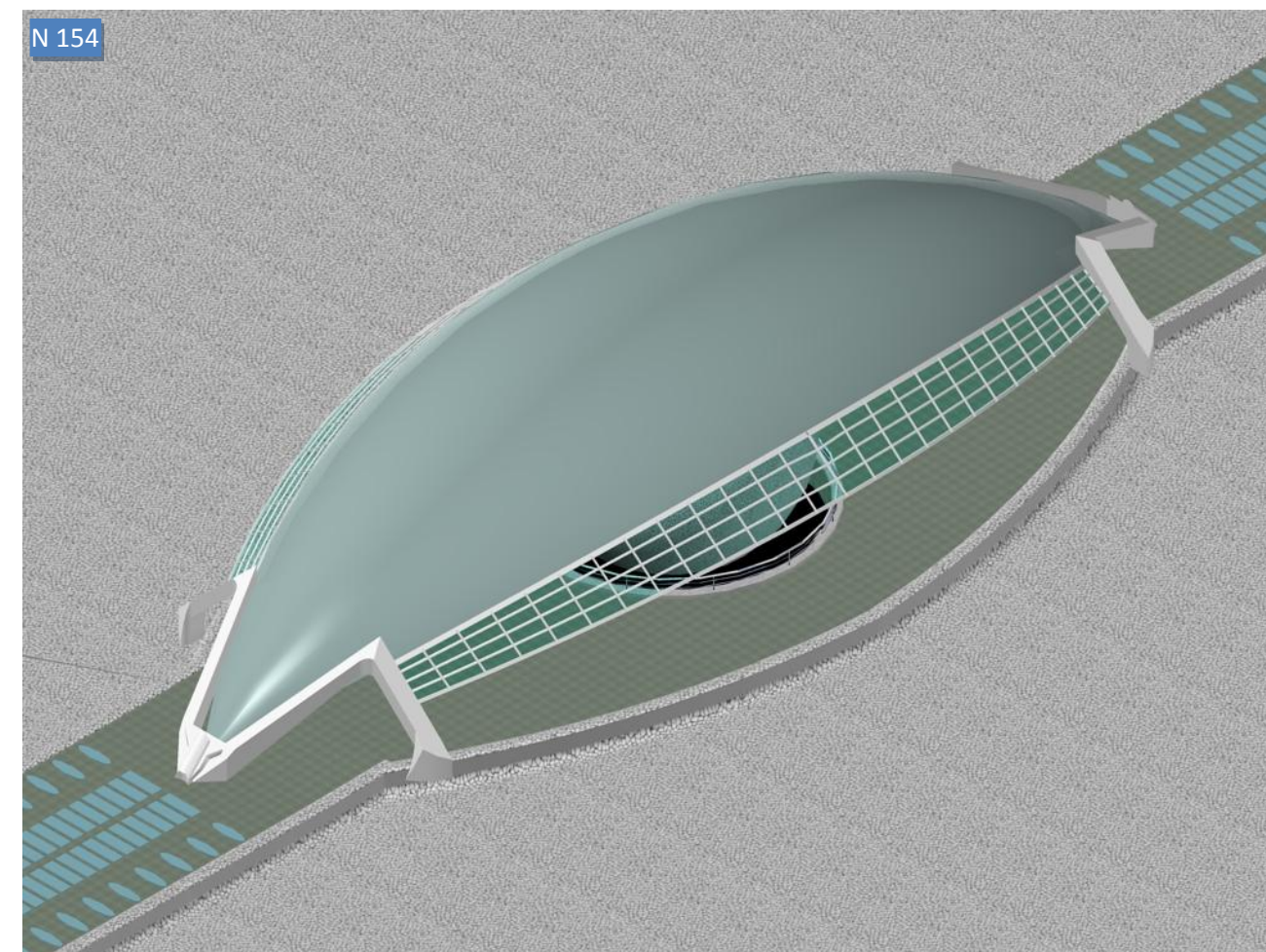
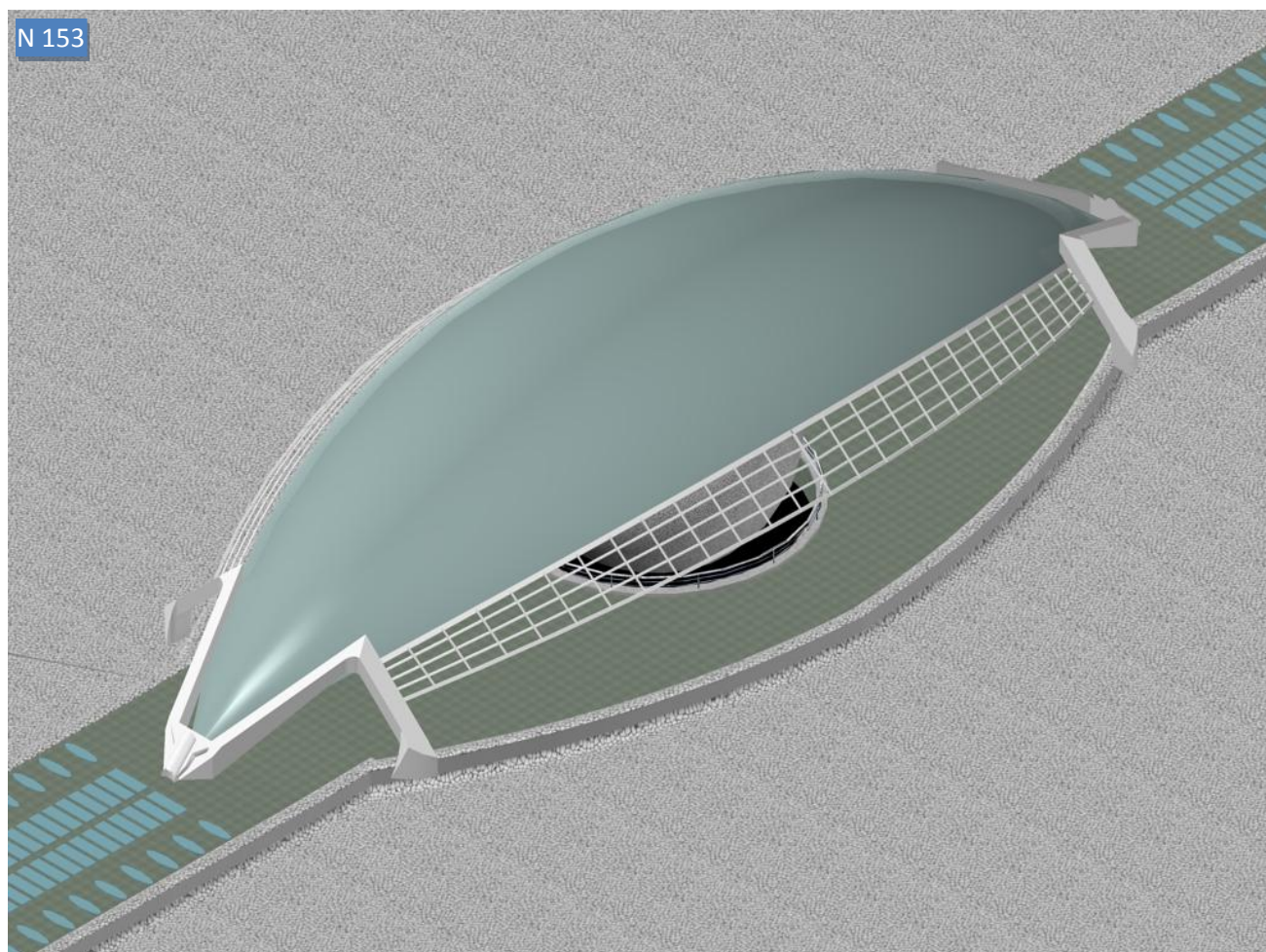
Colocación de las barras corrugadas del trípode, así como de sus correspondientes estribos y del mallazo de nervometal que actuará de encofrado perdido con la ayuda de andamiaje.



#### FASE 5:

Hormigonado del trípode, la parte central mediante tolva y la parte exterior gunitada. Colocación de la perfilera de que soportará los marcos de las cristalerías del lucernario.





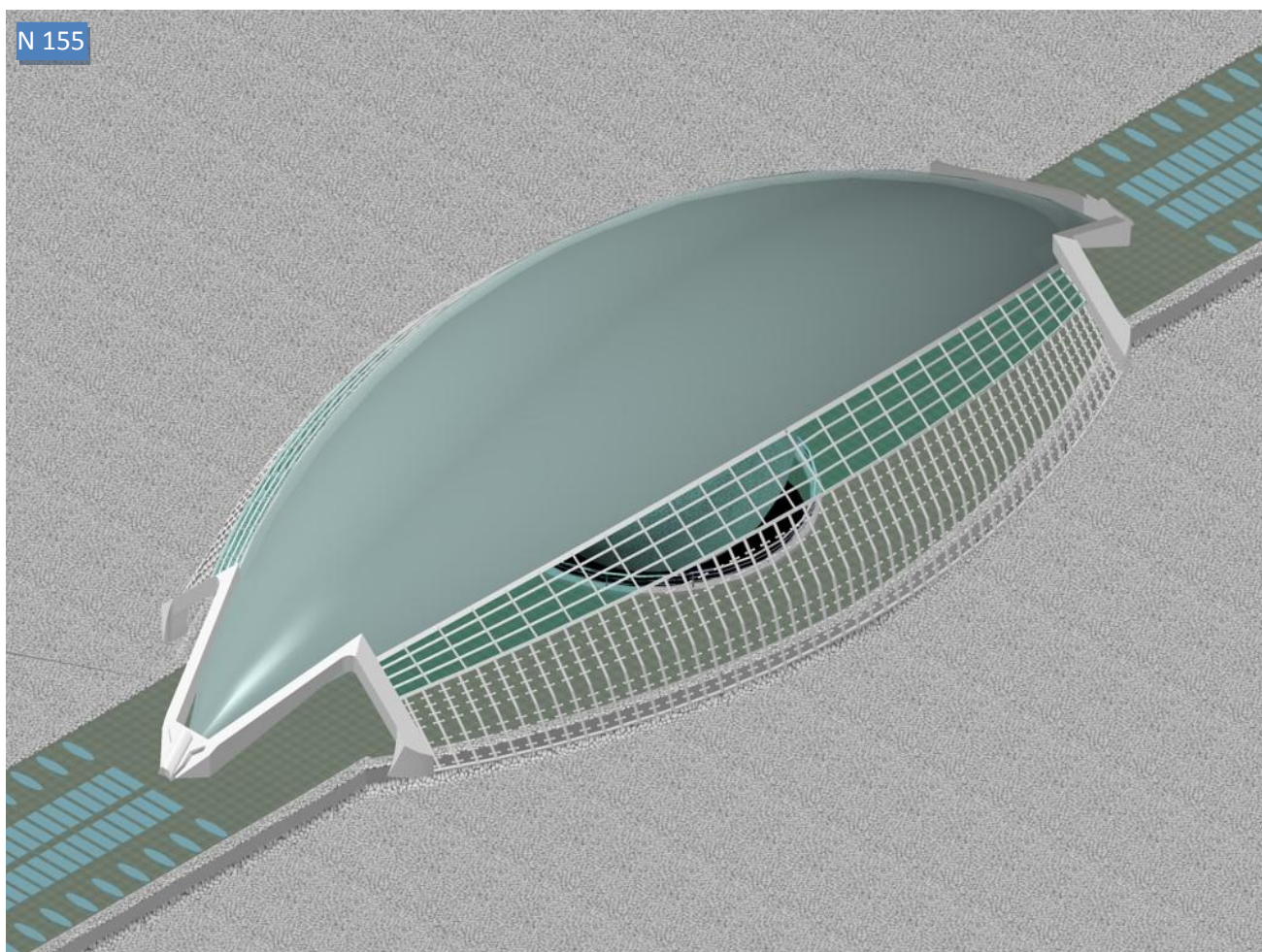
#### FASE 6:

Colocación de los paneles de chapa con aislamiento sobre la estructura espacial, imprimación impermeable en toda la cobertura de la cubierta, y colocación del material de revestimiento metálico.

Realización del acabado del trípode de color blanco pulido a base de un estucado.

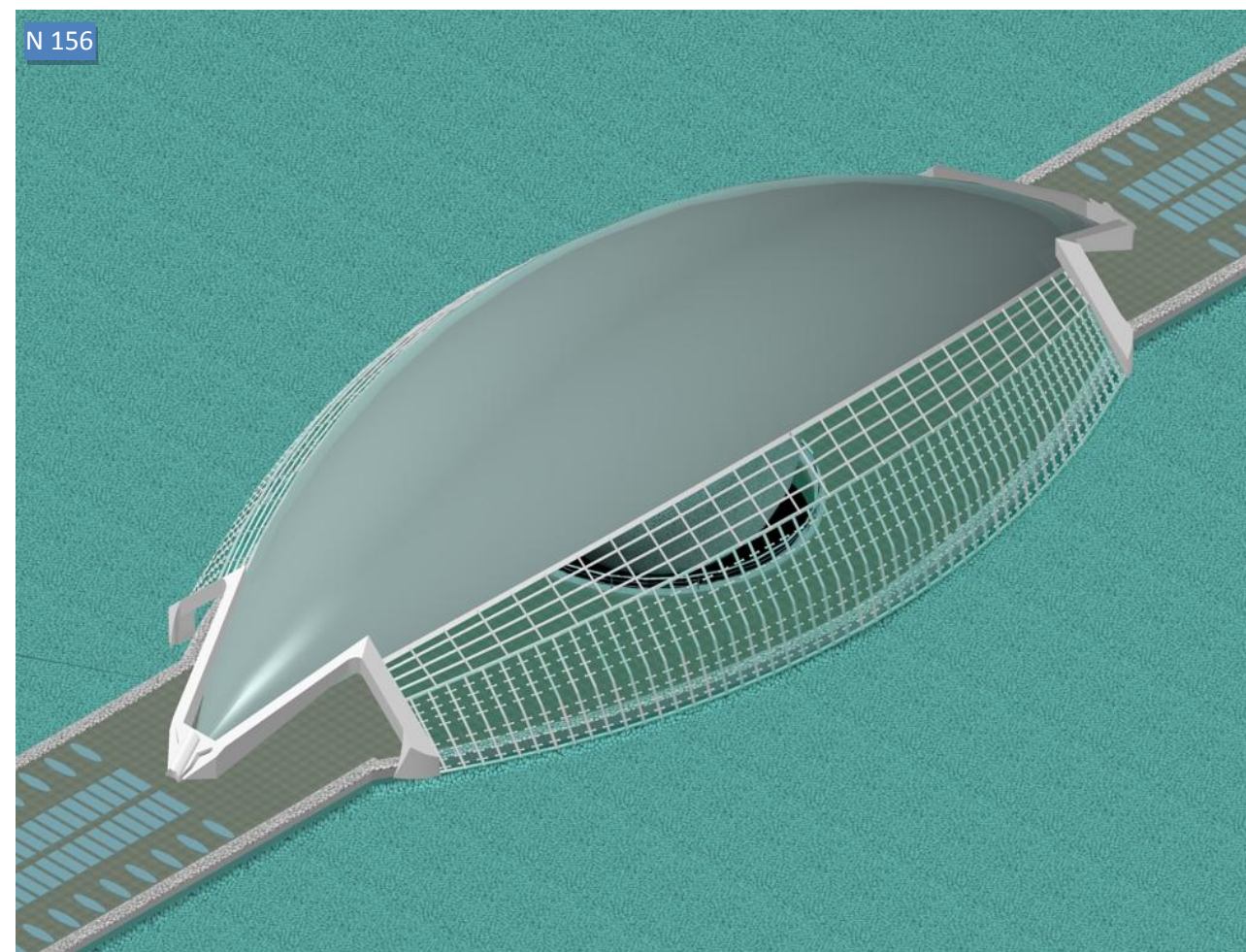
#### FASE 7:

Fijación de los marcos de la cristalería de los lucernarios, colocación de junquillos, sellado y embellecedores.



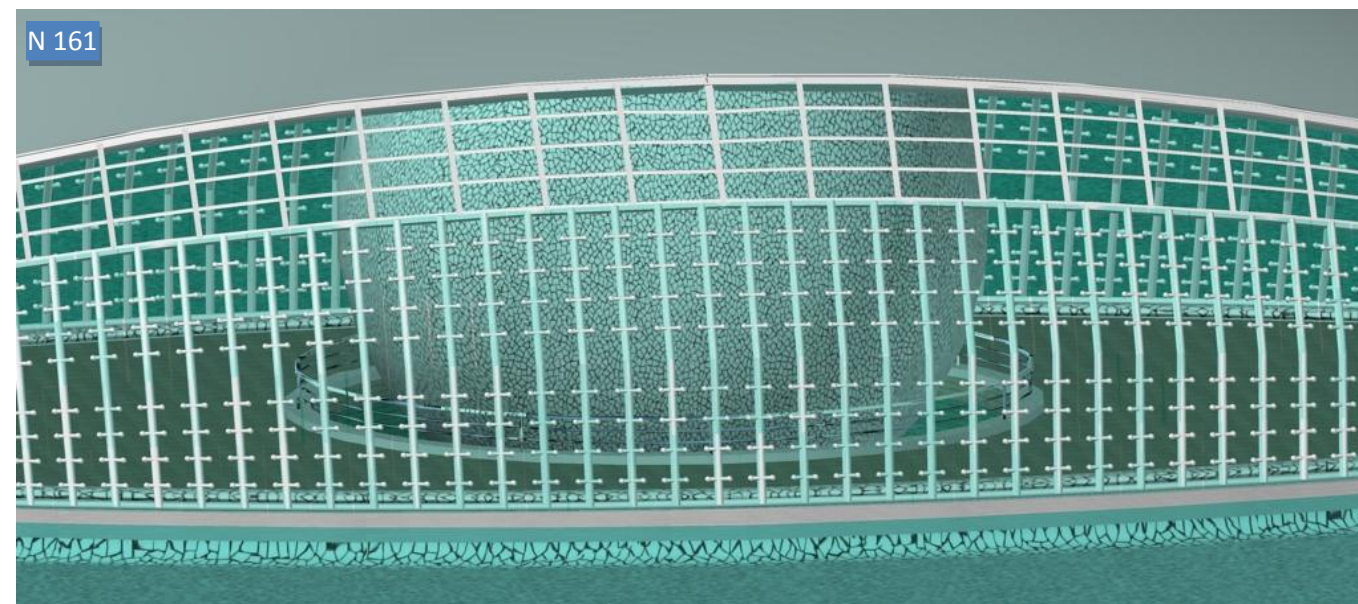
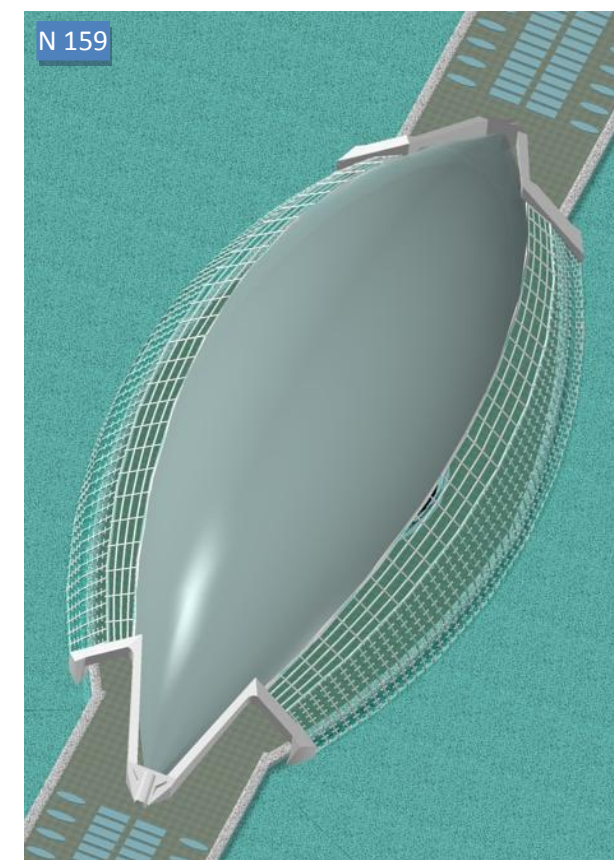
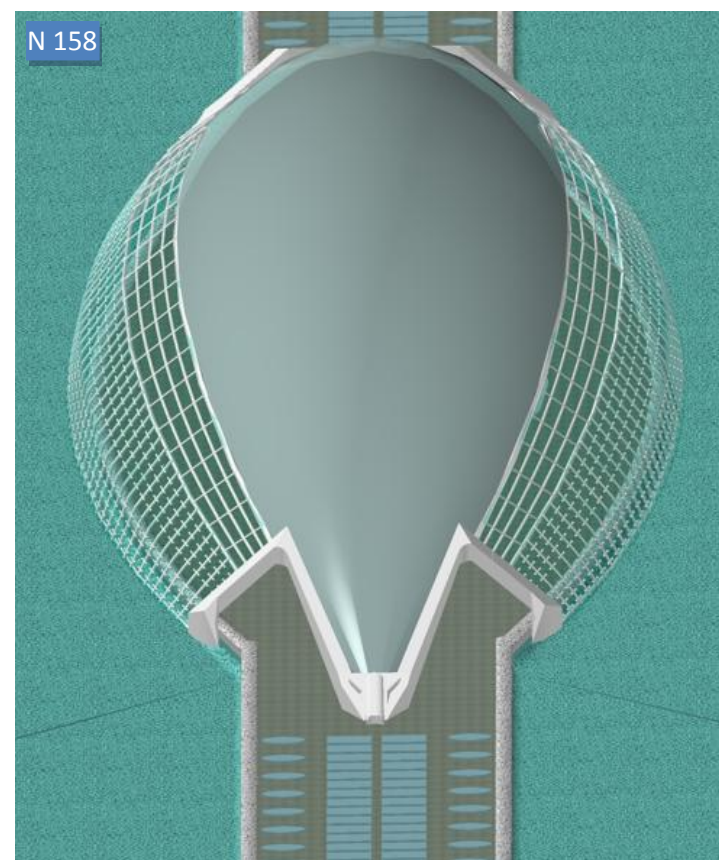
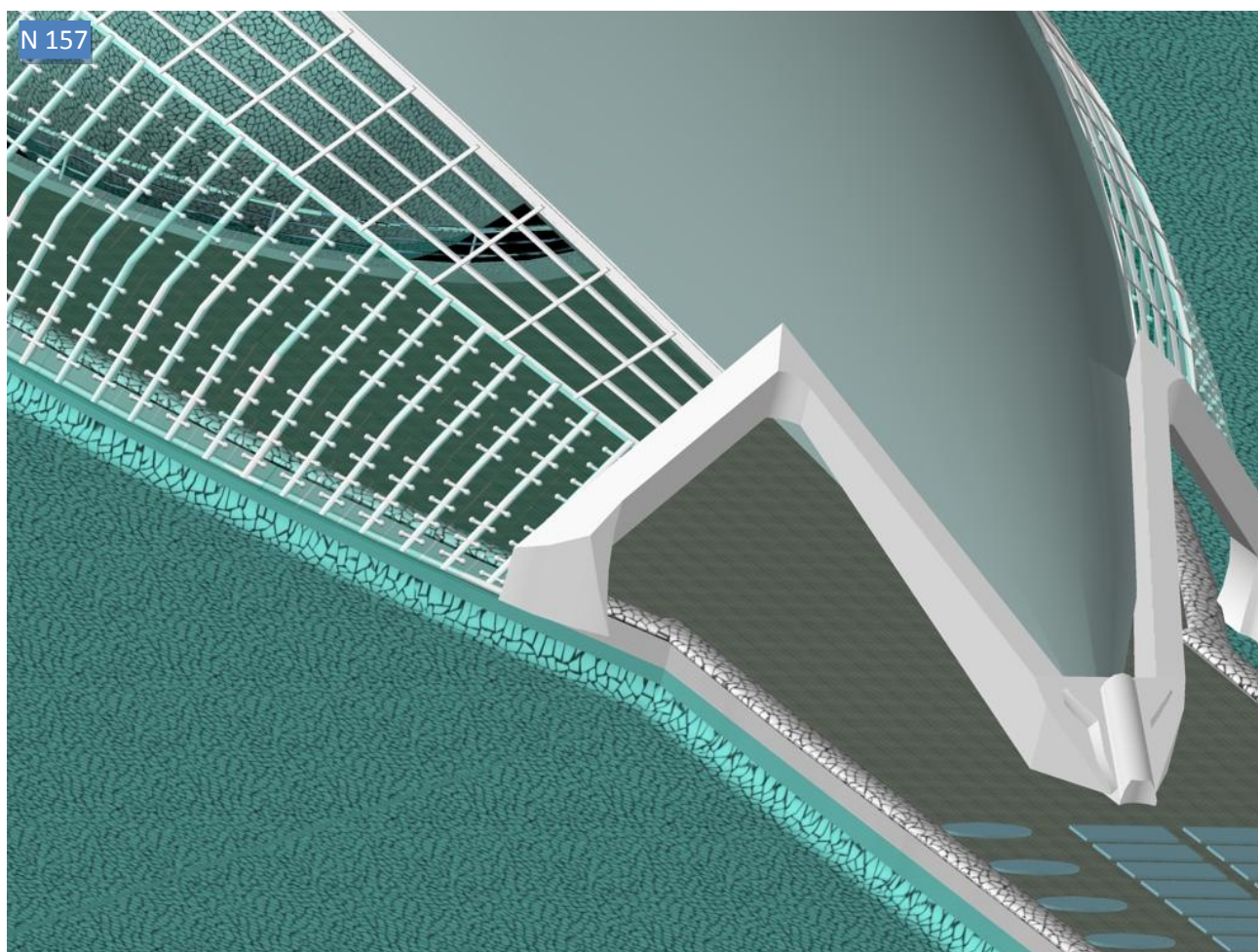
#### FASE 8:

Colocación de los sistemas de barras y compases que supondrán el sistema de apertura de las cancelas: cilindros hidráulicos de apertura, compases, barras longitudinales, barras traveseras, tubo perimetral de acero y articulaciones.



#### FASE 9:

Acristalamiento de las cancelas fijando las láminas vidriadas a los compases, realización de todo el espacio exterior y creación de la balsa de agua artificial.





# 8. CONCLUSIÓN

## 8. CONCLUSIÓN:

Una vez realizado el estudio completo del edificio he logrado una opinión mas clara ante diversos aspectos de l'Hemisferic.

Ante las estructuras de Santiago Calatrava estamos siempre ante un debate entre funcionalidad y carácter constructivo.

Uno de los aspectos que más me ha gustado de la estructura es que no está calculada para repartir las cargas mediante arcos transversales, un sistema muy utilizado para grandes luces como esta, sino que está confeccionado de tal manera que la estructura espacial reparte las cargas a los apoyos, los trípodes, me parece una solución muy interesante, eficaz e innovadora, dejando un gran espacio interior prácticamente diáfano, además de que hay que tener en cuenta que toda la estructura estaba proyectada inicialmente con hormigón armado, se acabó apostando por el acero un material lleno de posibilidades ante estructuras de este tipo según mi opinión personal; Pero el desarrollo de los trípodes me parece demasiado complicado, en cuanto a las armaduras que se colocaron en ellos, dificultan mucho el correcto hormigonado en una geometría tan abstracta como son los apoyos del trípode.

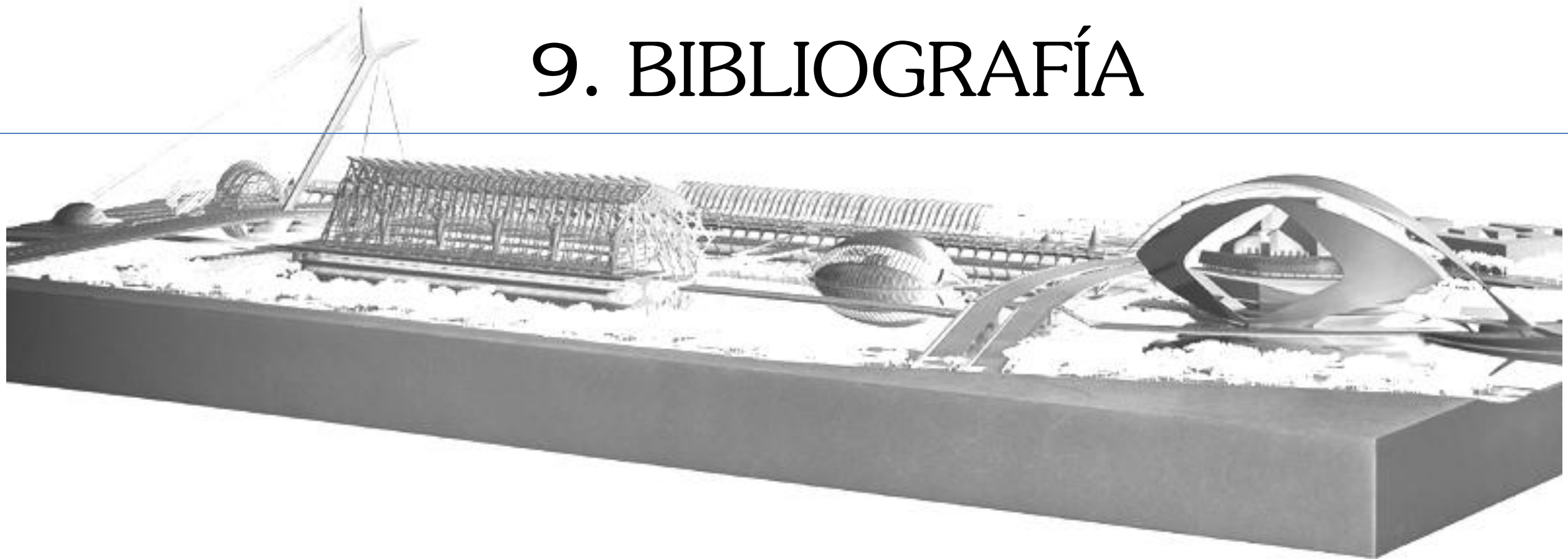
En cuanto a las cristalerías fijas y las móviles, me gusta la claridad que proporciona al edificio con las inmensas entradas de luz laterales, pero en cuanto a las dimensiones de los elementos que las forman, parece una complicación tanto para el artesano que realiza las piezas como el elevado coste del transporte a obra de los elementos producidos en fábrica, esto repercute directamente en la economía de la obra.

Las cancelas me parece algo fundamental en el conjunto del edificio, y no podría eliminarse de este proyecto, es lo que caracteriza principalmente al edificio, tal y como estaban dispuestas en el proyecto básico (situadas en la cumbre) no lograban transmitir la simbología de ojo con claridad.

Por otro lado la idea de crear la imagen virtual del ojo humano reflejado en la balsa de agua así como las similitudes de la estructura de la cúpula con las distintas partes del ojo humano me parece una idea muy original.

Para finalizar comentaré que ha sido un proyecto muy interesante, en el que he aprendido muchos aspectos de diseño desconocidos para mi, y ampliado mis conocimientos constructivos relacionados con edificios de estas magnitudes, gracias a una búsqueda minuciosa de información a causa de la falta de datos sobre estas estructuras y por la negativa de la mayoría de las empresas a proporcionarnos informes en los que basarnos.

## 9. BIBLIOGRAFÍA



## 9.1 BIBLIOGRAFÍA ESCRITA

- Arvinius Förlag : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
  - información de diseño y geometría
- Michael Levin : *Santiago Calatrava The Artworks*
  - información de diseño y geometría
- Liane Lefaivre & Alexander Tzonis: *Santiago Calatrava's Creative Process Vol 1*
  - información de diseño y geometría
- Liane Lefaivre & Alexander Tzonis : *Santiago Calatrava's Creative Process Vol 2*
  - información de diseño y geometría
- Domínguez Martínez, Fernando: *L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T*
  - información de construcción y fotografías de obra

## 9.2 BIBLIOGRAFÍA PERSONAL CONSULTADO

- Martínez Segovia Fernández Pallás y asociados (calculista estructural L'hemisferic)

Personal consultado:

- Víctor Martínez Segovia : información estructural y constructiva
- Carmen López : información estructural y constructiva.

## 9.3 BIBLIOGRAFÍA FOTOGRÁFICA

- N 001 [http://www.100destinos.com/costa\\_levantina1.htm](http://www.100destinos.com/costa_levantina1.htm)
- N 002 <http://www.urbevalencia.es/ciudad-de-las-ciencias-y-de-las-artes/>
- N 003 <http://www.lovevalencia.com/oceanografic.html>
- N 004 <http://cac.es/prensa/noticia/?contentId=113088>
- N 005 <http://www.calatrava.com>
- N 006 <http://www.calatrava.com>
- N 007 <http://www.cac.es/actosyeventos/contenido/edificios/hemisferic/>
- N 008 [http://www.cac.es/images\\_cac/cac/servicios/cac\\_hemisferic.pdf](http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf)
- N 009 fotografía propia
- N 010 <http://www.calatrava.com>
- N 011 [http://www.cac.es/images\\_cac/cac/servicios/cac\\_hemisferic.pdf](http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf)
- N 012 Michael Levin: *Santiago Calatrava The Artworks*
- N 013 <http://www.calatrava.com>
- N 014 <http://www.calatrava.com>
- N 015 <http://www.calatrava.com>
- N 016 <http://www.calatrava.com>
- N 017 [http://www.fototravel.net/gallery/Espana\\_Valencia\\_verde/image/80/](http://www.fototravel.net/gallery/Espana_Valencia_verde/image/80/)
- N 018 fotografía propia
- N 019 fotografía propia
- N 020 fotografía propia
- N 021 <http://www.viajesconmitia.com/2011/01/17/santiago-calatrava/>
- N 022 [http://www.edingaps.com/obras\\_realizadas/palacio-de-las-artes-reina-sofia-valencia](http://www.edingaps.com/obras_realizadas/palacio-de-las-artes-reina-sofia-valencia)
- N 023 <http://arquitectura-h.com.ar/articulos/santiago-calatrava/art72.aspx>
- N 024 <http://www.arteespana.com/santiagocalatrava.htm>
- N 025 <http://www.actualidadviajes.com/2009/11/25/chicago-la-ciudad-del-viento-iin-2/>
- N 026 <http://www.arteespana.com/santiagocalatrava>
- N 027 <http://www.arteespana.com/santiagocalatrava.htm>
- N 028 <http://www.arteespana.com/santiagocalatrava.htm>
- N 029 <http://www.arqhys.com/articulos/Estacion-stadelhofen.html>
- N 030 <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=24507262>
- N 031 <http://www.20minutos.es/imagen/867919/>
- N 032 <http://blog.touristeye.es/post/818688887/lhemisferic-de-valencia>
- N 033 fotografía de Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados
- N 034 [http://www.cac.es/actosyeventos/contenido/derechos/interiores.jsp?lang=en\\_EN](http://www.cac.es/actosyeventos/contenido/derechos/interiores.jsp?lang=en_EN)
- N 035 [http://www.cac.es/actosyeventos/contenido/derechos/interiores.jsp?lang=en\\_EN](http://www.cac.es/actosyeventos/contenido/derechos/interiores.jsp?lang=en_EN)
- N 036 <http://uninstante.iespana.es/Hemisferic.jpg>
- N 037 [http://www.screen.turisvalencia.com/MuestraHTML.aspx?nombrefichero=cac\\_hemisferic\\_screen\\_2.html&elemento=Descubre1302](http://www.screen.turisvalencia.com/MuestraHTML.aspx?nombrefichero=cac_hemisferic_screen_2.html&elemento=Descubre1302)
- N 038 [http://www.cac.es/actosyeventos/contenido/derechos/interiores.jsp?lang=en\\_EN](http://www.cac.es/actosyeventos/contenido/derechos/interiores.jsp?lang=en_EN)
- N 039 <http://leadershiparchitecture.com/?p=154>
- N 040 <http://quierounafoto.blogspot.com/2009/09/la-ciudad-de-las-artes-y-las-ciencias.html>
- N 041 <http://neoarquitecturas.blogspot.com/2011/01/ciudad-de-las-artes-y-las-ciencias.html>
- N 042 <http://www.calatrava.com>
- N 043 <http://www.panoramio.com/photo/8737144>
- N 044 <http://valencia.turnalista.com/cultura/1%C2%B4hemisferic/>
- N 045 <http://espaiobertsocialista.wordpress.com/2007/11/13/>
- N 046 [http://www.cac.es/images\\_cac/cac/servicios/cac\\_hemisferic.pdf](http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf)
- N 047 [http://www.valencia.es/ayuntamiento/infocidad\\_accesible.nsf/vDocumentosWebListado/](http://www.valencia.es/ayuntamiento/infocidad_accesible.nsf/vDocumentosWebListado/)
- N 048 [http://www.cac.es/actosyeventos/contenido/derechos/interiores.jsp?lang=en\\_EN](http://www.cac.es/actosyeventos/contenido/derechos/interiores.jsp?lang=en_EN)
- N 049 <http://horoscopodelamalasuerte.blogspot.com/2010/12/el-hemisferic-de-valencia.html>
- N 050 [http://www.cac.es/actosyeventos/contenido/derechos/interiores.jsp?lang=en\\_EN](http://www.cac.es/actosyeventos/contenido/derechos/interiores.jsp?lang=en_EN)
- N 051 <http://www.digital-photography-school.com/travel-photography-subjects-water>
- N 052 <http://www.valenciafotografica.com/lhemisferic/>
- N 053 [http://www.federicoabad.com/index\\_archivos/imgpg/img37.htm](http://www.federicoabad.com/index_archivos/imgpg/img37.htm)
- N 054 [http://www.fototravel.net/gallery/Espana\\_Valencia\\_verde/image/81/](http://www.fototravel.net/gallery/Espana_Valencia_verde/image/81/)
- N 055 <http://www.vivirvalencia.com/blog/2011/05/el-global-champions-tour-vuelve-a-valencia/>
- N 056 [http://www.arac.es/experiencia\\_organizacion\\_de\\_eventos.html](http://www.arac.es/experiencia_organizacion_de_eventos.html)
- N 057 Lefaivre, L / Tzonis, A : *Santiago Calatrava's Creative Process Vol 2 Sketchbooks*
- N 058 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 059 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 060 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 061 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 062 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 063 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 064 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 065 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 066 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 067 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 068 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 069 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 070 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 071 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*
- N 072 Förlag, A. : *Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989*



N 073	Michael Levin: <i>Santiago Calatrava The Artworks</i>	N 099	Imagen propia	N 119	fotografía de Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados
N 074	Förlag, A. : <i>Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989</i>	N 100	Imagen propia	N 120	<a href="http://scalatrava.blogspot.com/2009/11/proceso-construtivo-do-hemisferic.html">http://scalatrava.blogspot.com/2009/11/proceso-construtivo-do-hemisferic.html</a>
N 075	dibujo lineal anónimo	N 101	Imagen propia	N 121	fotografía de Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados
N 076	Michael Levin: <i>Santiago Calatrava The Artworks</i>	N 102	Imagen propia	N 122	fotografía de Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados
N 077	<a href="http://www.calatrava.com">http://www.calatrava.com</a>	N 103	Imagen propia	N 123	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 078	<a href="http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf">http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf</a>	N 104	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 124	<a href="http://scalatrava.blogspot.com/2009/11/proceso-construtivo-do-hemisferic.html">http://scalatrava.blogspot.com/2009/11/proceso-construtivo-do-hemisferic.html</a>
N 079	<a href="http://www.lasprovincias.es/valencia/noticias/200711/20/Media/hemisferic--390x180.jpg">http://www.lasprovincias.es/valencia/noticias/200711/20/Media/hemisferic--390x180.jpg</a>	N 105	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 125	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 080	<a href="http://www.panoramio.com/user/425782/tags/ciudad%20de%20las%200artes%20y%20las%20ciencias">http://www.panoramio.com/user/425782/tags/ciudad%20de%20las%200artes%20y%20las%20ciencias</a>	N 106	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 126	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 081	<a href="http://www.calatrava.com">http://www.calatrava.com</a>	N 107	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 127	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 082	<a href="http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/alperex/teoria/cap_01a-conceptos_geometricos/06b-solido-cu_red.htm">http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/alperex/teoria/cap_01a-conceptos_geometricos/06b-solido-cu_red.htm</a>	N 108	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 128	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 083	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide">http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide</a>	N 109	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 129	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 084	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide">http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide</a>	N 110	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 130	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 085	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide">http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide</a>	N 111	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 131	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 086	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide">http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide</a>	N 112	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 132	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 087	Michael Levin: <i>Santiago Calatrava The Artworks</i>	N 113	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 133	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 088	Imagen propia	N 114	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 134	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 089	Imagen propia	N 115	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 135	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>
N 090	Imagen propia	N 116	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>		
N 091	Imagen propia	N 117	Dominguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>		
N 092	Imagen propia	N 118	fotografía de Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados		
N 093	Imagen propia				
N 094	Imagen propia				
N 095	Imagen propia				
N 096	Imagen propia				
N 097	Imagen propia				
N 098	Imagen propia				

N 136	Domínguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 154	Imagen propia	PORTADA 4.3	Förlag, A. : <i>Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989</i>
N 137	Domínguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 155	Imagen propia	PORTADA 5	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide">http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide</a>
N 138	Domínguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 156	Imagen propia	PORTADA 5.1	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide">http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide</a>
N 139	Domínguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 157	Imagen propia	PORTADA 5.2	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide">http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide</a>
N 140	Domínguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 158	Imagen propia	PORTADA 5.3	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide">http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide</a>
N 141	Domínguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 159	Imagen propia	PORTADA 5.4	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide">http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide</a>
N 142	Domínguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 160	Imagen propia	PORTADA 6	<a href="http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf">http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf</a>
N 143	Domínguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	N 161	Imagen propia	PORTADA 6.1	<a href="http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf">http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf</a>
N 144	Domínguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	PORTADA PPAL	<a href="http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf">http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf</a>	PORTADA 6.2	Imagen propia
N 145	Domínguez Martínez,F: <i>L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas H-PFC-4861T</i>	PORTADA 1	<a href="http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf">http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf</a>	PORTADA 6.3	Imagen propia
N 146	fotografía de Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados	PORTADA 1.1	<a href="http://www.re-moto.com/photos.php?lang=esp&amp;img=5860">http://www.re-moto.com/photos.php?lang=esp&amp;img=5860</a>	PORTADA 6.4	Imagen propia
N 147	fotografía de Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados	PORTADA 1.2	<a href="http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf">http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf</a>	PORTADA 6.5	Imagen propia
N 148	Imagen propia	PORTADA 1.3	<a href="http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf">http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf</a>	PORTADA 7	Imagen propia
N 149	Imagen propia	PORTADA 1.4	<a href="http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf">http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf</a>	PORTADA 7.1	Imagen propia
N 150	Imagen propia	PORTADA 2	<a href="http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf">http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf</a>	PORTADA 7.2	Imagen propia
N 151	Imagen propia	PORTADA 2.1	fotografía de Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados	PORTADA 7.3	Imagen propia
N 152	Imagen propia	PORTADA 2.2	fotografía de Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados	PORTADA 7.4	Imagen propia
N 153	Imagen propia	PORTADA 2.3	fotografía de Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados	PORTADA 7.5	Imagen propia
		PORTADA 2.4	fotografía de Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados	PORTADA 8	<a href="http://es.famoushostels.com/valencia-hostel/city-guide">http://es.famoushostels.com/valencia-hostel/city-guide</a>
		PORTADA 3	<a href="http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf">http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf</a>	PORTADA 9	<a href="http://www.skyscrapercity.com/showthread.php">http://www.skyscrapercity.com/showthread.php</a>
		PORTADA 4	<a href="http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf">http://www.cac.es/images_cac/cac/servicios/cac_hemisferic.pdf</a>		
		PORTADA 4.1	Förlag, A. : <i>Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989</i>		
		PORTADA 4.2	Förlag, A. : <i>Santiago Calatrava Architect's Studio-Sketchbook 1989</i>		