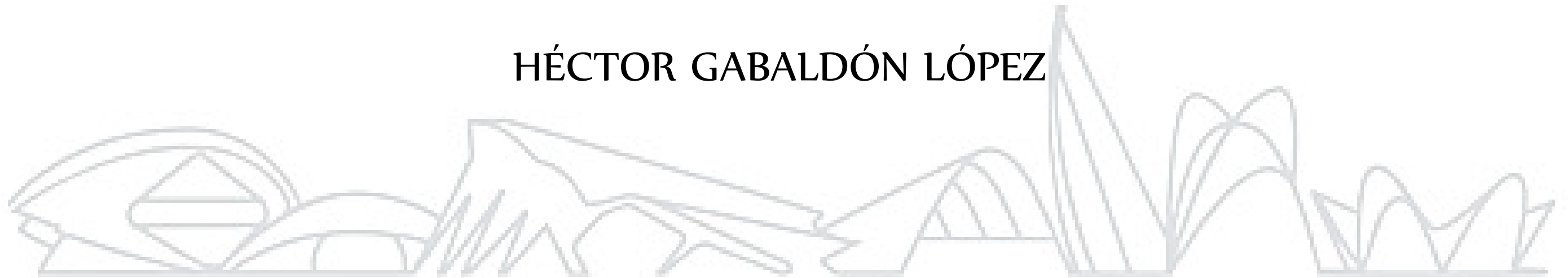


PROYECTO FIN DE GRADO SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES

CURSO 2010-2011

HÉCTOR GABALDÓN LÓPEZ



PROFESORES:

RAFAEL J. LIGORIT TOMÁS

FRANCISCO J. SANCHIS SAMPEDRO



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ETS DE INGENIERÍA
DE EDIFICACIÓN

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS.	2-10
LA GRAN RIADA Y EL PLAN SUR.	11
DATOS GENERALES DEL ÁGORA.	12-16
EL AUTOR.	17-18

2. DISEÑO

.....	19-23
-------	-------

3. ANÁLISIS GEOMÉTRICO.

.....	24-42
-------	-------

4. ESTRUCTURA

ANÁLISIS ESTRUCTURAL.	43-45
ESTRUCTURA FIJA DEL ÁGORA.	46-64
ESTRUCTURA MÓVIL DEL ÁGORA.	65-72

5. CONSTRUCCIÓN

SECUENCIA DEL PROCESO DE MONTAJE.	73-74
PROCESO DE MONTAJE DEL ÁGORA.	75-93

6. BIBLIOGRAFÍA

.....	94-95
-------	-------

7. ANEXOS

.....	96-105
-------	--------

1. INTRODUCCIÓN



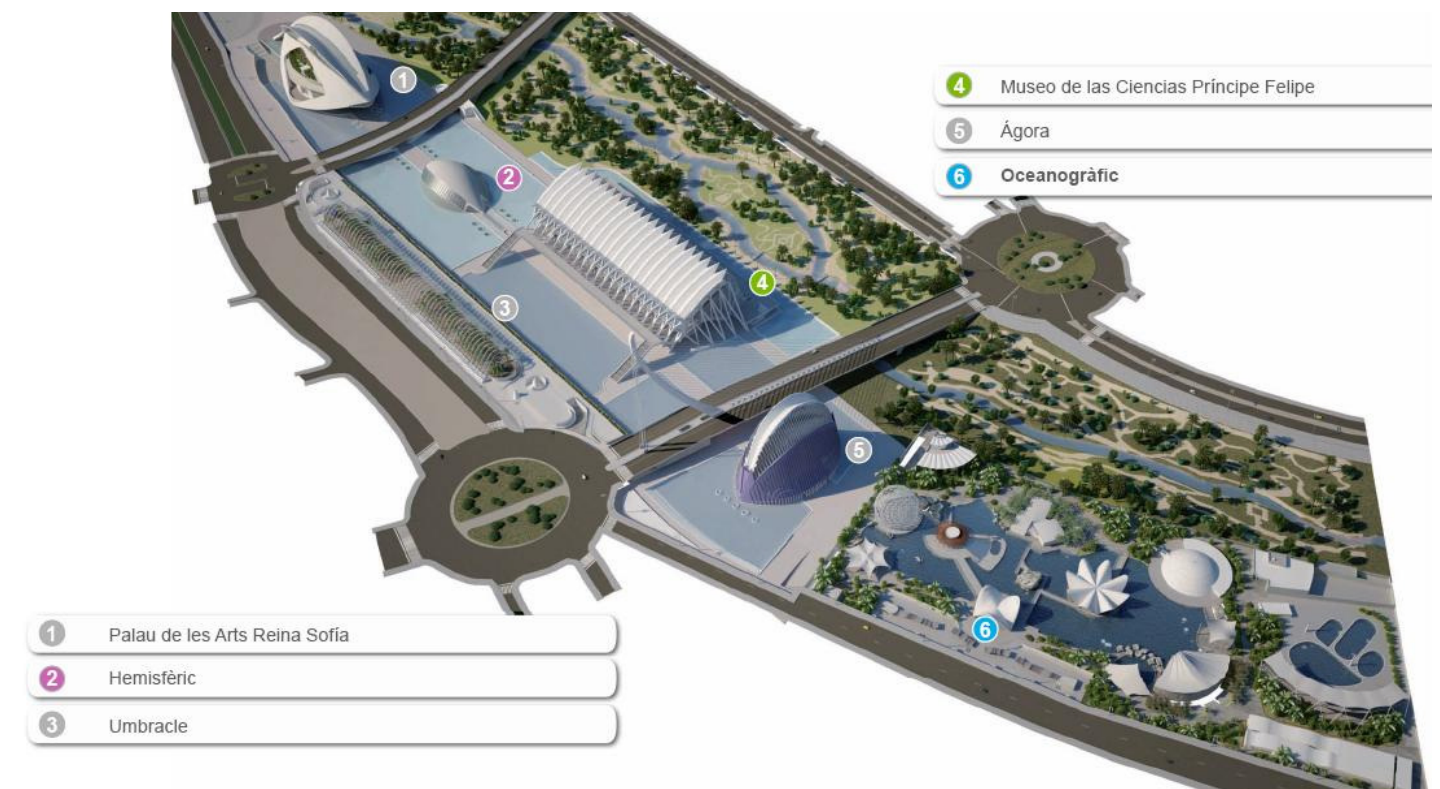
LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS

La Ciudad de las Artes y las Ciencias es un conjunto único dedicado a la divulgación científica y cultural, que está integrado por seis grandes elementos: el Hemisfèric (cine IMAX y proyecciones digitales), el Umbracle (mirador ajardinado y aparcamiento), el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe (innovador centro de ciencia interactiva), el Oceanográfico (el mayor acuario de Europa con más de 500 especies marinas), el Palau de les Arts Reina Sofia (dedicado a la programación operística), y el Àgora, que dota al complejo de un espacio multifuncional.

A lo largo de un eje de casi dos kilómetros, en el antiguo cauce del río Turia, este complejo impulsado por la Generalitat Valenciana sorprende por su arquitectura - obra de Santiago Calatrava y Félix Candela - y por su inmensa capacidad para divertir y estimular las mentes de sus visitantes que, recorriendo sus edificios, conocen diferentes aspectos relacionados con la ciencia, la tecnología, la naturaleza o el arte.

El papel relevante de la arquitectura en la Ciudad de las Artes y las Ciencias ha sido posible gracias al trabajo de dos arquitectos españoles de prestigio internacional, que han aportado aquí lo mejor de su obra: Santiago Calatrava, con el Palau de les Arts Reina Sofia, el Hemisfèric, el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe, el Umbracle y el Àgora, y Félix Candela, con las singulares cubiertas de los edificios principales del Oceanográfico. Un conjunto arquitectónico de excepcional belleza, que armoniza el continente con el contenido. Una ciudad donde conviven el mar y la luz del Mediterráneo de manera sorprendente. Se ha constituido como uno de los mayores focos de difusión cultural.

Para desarrollar con éxito esta labor social, se intenta mantener una amplia oferta de contenidos en torno a cuatro grandes áreas temáticas del conocimiento: cosmos, biosfera, ser humano y cultura. Se trata de participar, interactuar y sobre todo disfrutar con experiencias únicas, como dejarse envolver por espectaculares imágenes IMAX en una pantalla cóncava de 900 metros cuadrados, convertirse en astronauta y viajar hasta la Estación Espacial Internacional, descubrir y conocer a los dinosaurios del Triásico, Jurásico y Cretácico, participar en un experimento científico en directo, recorrer el río Nilo hasta sus fuentes o contemplar casi al alcance de la mano las numerosas hileras de dientes de varias especies de tiburón y aprender a valorar y conservar estos animales gravemente amenazados, entre otras muchas vivencias.



En conjunto, las proyecciones digitales y las películas en gran formato en el Hemisfèric, las exposiciones interactivas en el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe y las exhibiciones bioeducativas del Oceanográfico, conforman una gran oferta interrelacionada, que se complementa, con el único objetivo de satisfacer la curiosidad y las ganas de divertirse del visitante. La Ciudad de las Artes y las Ciencias une además la admirada tradición mediterránea del mar y la luz, de los colores azules y blancos, con una arquitectura vanguardista diseñada por Santiago Calatrava y Félix Candela. Sus audaces líneas identifican a la capital del Turia del siglo XXI; es la estampa futurista que simboliza a la nueva Valencia: una ciudad moderna dentro de la ciudad milenaria, donde millones de visitantes acuden cada año para disfrutar con la cultura, la naturaleza, el arte y la ciencia.



EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS

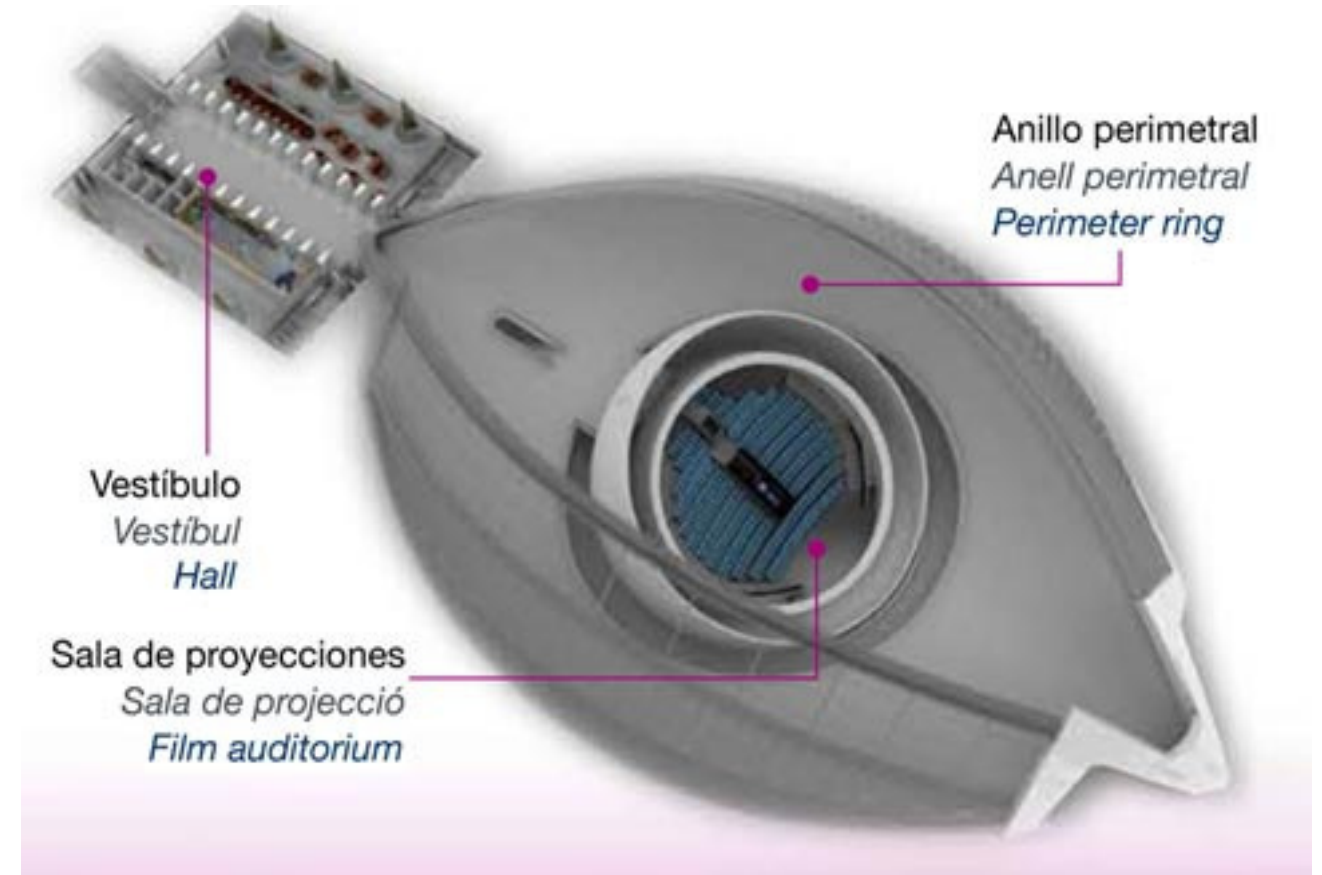
L'HEMISFERIC

L'Hemisfèric (El Hemisférico), es un cine IMAX y un planetario. Se inauguró en 1998 y fue diseñado por Santiago Calatrava.

Sobre su pantalla semi-esférica de 900 metros cuadrados, se alternan tres espectáculos audiovisuales distintos: fenómenos astronómicos en el planetario, películas en el cine IMAX, y proyecciones con láser.

En la foto, en primer plano, L'Hemisfèric, y al fondo, el Museo de las Ciencias.

L'Hemisfèric, representa un gran ojo humano abierto al mundo, "el ojo de la sabiduría". La pupila es, en realidad, una sala de proyecciones esférica polivalente que funciona como laserium, planetarium y cine IMAX.



EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS

L'OCEANOGRÀFIC

Junto a L'Hemisfèric se encuentra **L'Oceanogràfic**, (Oceanográfico) el mayor parque marino de Europa

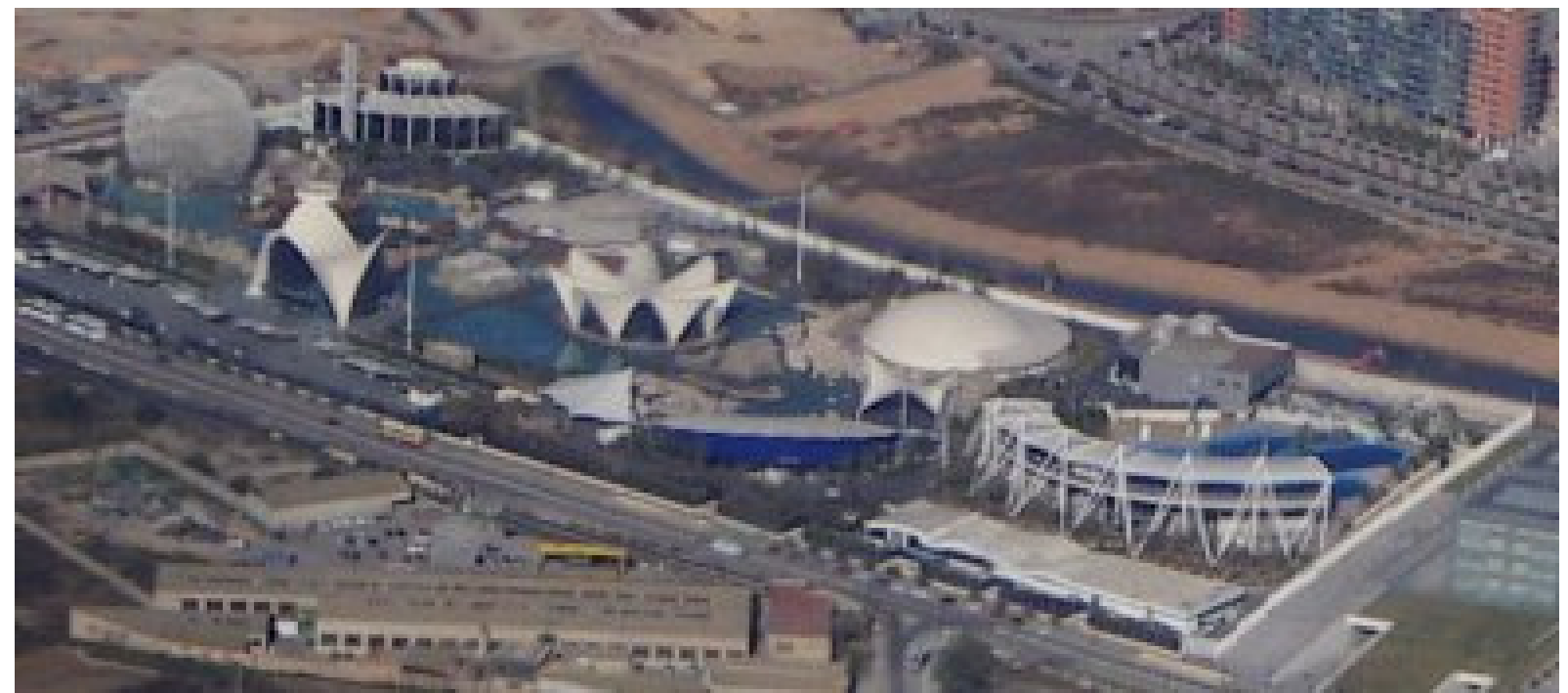
En su interior, se reproducen los principales ecosistemas marinos del mundo: Atlántico, Mediterráneo, Artico, Tropical.

Fue inaugurado en el año 2002 y tiene una superficie de 110.000 metros cuadrados. El volumen de agua de sus acuarios es de 42 millones de litros.

En sus acuarios viven 45.000 ejemplares de 500 especies diferentes, entre ellos, delfines, leones marinos, focas, tiburones...

El edificio fue diseñado por el arquitecto Félix Candela, y cuenta en su interior con un espectacular restaurante submarino.

Gracias al empleo de materiales acrílicos en lugar de vidrio, se han conseguido unas ventanas de exhibición espectaculares, así como dos túneles bajo el agua, de 30 y 70 metros de longitud.



EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS

L'UMBRACLE

El Umbracle es un mirador de más de 17.500 metros cuadrados con zona expositiva desde el que se puede contemplar la globalidad de edificios, estanques, paseos y zonas ajardinadas de la Ciudad de las Artes y las Ciencias.

Su interior está formado por un jardín y un paseo mirador concebido como "un balcón hacia el futuro".

Mide 320 metros de longitud, y tiene 55 arcos metálicos sobre los que crecen plantas trepadoras.

Además de las trepadoras, se han plantado más de 50 especies florales autóctonas de la Comunidad Valenciana.



EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS

MUSEO DE LAS CIENCIAS

Inaugurado a finales del 2000, el Museo de las Ciencias es un edificio espectacular de 40.000 metros cuadrados dedicados a acercar la ciencia a los visitantes.

El museo tiene como objetivo la divulgación de la ciencia y la tecnología, y para ello, anima a los visitantes a participar activamente en los experimentos.

Este edificio, construido por Santiago Calatrava, tiene una superficie aproximada de 40.000 metros cuadrados. Cuenta con tres plantas de 8000m², cada una.

Este museo se ha diseñado para albergar exposiciones temáticas relacionadas con la ciencia y la tecnología.



EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS

PALAU DE LES ARTS REINA SOFIA

Inaugurado en 2005, está rodeado por un entorno verde de 87.000 metros cuadrados de ajardinamiento y láminas de agua de más de 10.000 metros cuadrados con paseos circundantes. El Palau de les Arts cuenta con 4 grandes salas con distintas capacidades y funciones, tanto para la realización de importantes eventos como de actividades de perfeccionamiento y enseñanza.

La innovadora arquitectura de este edificio de 37.000 metros cuadrados y una altura de más de 70 metros, sorprende por su multiplicidad de ambientes. Cuenta con plataformas en voladizo a diferentes alturas con paseos y vegetación, a las que se accede mediante ascensores panorámicos y escaleras situadas en el interior de las carcasas metálicas que hay a ambos lados del edificio.

La forma global del edificio es lenticular desarrollándose bajo una gran sobrecubierta o pluma metálica, soportada mediante dos apoyos, uno extremo en su zona oeste y otro intermedio quedando la zona este de la cubierta totalmente en voladizo. El material por excelencia es el hormigón blanco ya que forma parte de los grandes soportes estructurales del edificio mientras que el “trencadís” es el segundo material de mayor uso que reviste las espectaculares “cáscaras” del Palacio.

La cubierta es la parte más representativa del conjunto, ya que además de su rigurosidad estructural y geométrica, contiene una gran carga de expresividad e intención plástica con 230 metros de longitud y más de 70 m. de altura mientras las dos “cáscaras”, están construidas en acero laminado. Las dimensiones envolventes máximas del edificio teniendo en cuenta las formas curvas que las conforman son 163 m. de longitud y 87 m. de ancho.



EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS

EL ÁGORA

El nuevo icono de la Ciudad de la Artes y las Ciencias es un espacio con una versatilidad que permite acoger eventos de diversa naturaleza. Un escenario multifuncional proyectado para la celebración de congresos, convenciones, conciertos o representaciones, con la posibilidad de transformarse en zona para exposiciones. Sede del Valencia Open 500 de tenis, una de las grandes citas deportivas internacionales, en noviembre de 2009 y 2010 este edificio ha acogido con éxito la celebración de los torneos.

Este edificio, al ser el de la superficie elegida para analizar se describirá con mayor profundidad más adelante.



EDIFICIO ÁGORA

ESCULTURA ELEGANTE CON UN APUNTALAMIENTO FLEXIBLE

El **Ágora** es una gran plaza cubierta diseñada por Santiago Calatrava situada en el complejo de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia, entre el puente de l'Assut de l'Or y l'Oceanogràfic. Actualmente se encuentra finalizando la construcción, aunque al estar provisionalmente finalizada (Noviembre de 2009) se celebró en su interior el nuevo Open 500 (ATP World Tour 500) de tenis de la Comunidad Valenciana. En los trabajos de adaptación del Ágora para la celebración del que fue su acto inaugural, el torneo de tenis, fueron varios los problemas encontrados que tuvieron que ser resueltos. Entre ellos destaca el rediseño de las gradas para espectadores. La forma de elipse que presenta la estructura del Ágora no permitía construirlas de una manera convencional. Con la pista en el centro, el espacio disponible era menor y se perdía un importante número de asientos, por lo que se varió el ángulo de inclinación de las gradas para elevarlo. Aunque se inauguró en noviembre de 2009 con el torneo de Tenis aun se realizarán trabajos durante más de 12 meses hasta estar todo el complejo finalizado, esto es debido a la compleja instalación de las "alas" en la parte superior del complejo. En estos momentos aun se estudia cómo se ejecutará dicha colocación.

De planta diáfana de aproximadamente 5000 m², tendrá una altura máxima de 85m, una longitud de unos 104m y una anchura de 60m. La estructura fija forma una cubierta metálica abovedada formada por 49 pórticos arriostrados longitudinalmente mediante parejas de arcos laterales y centrales. Dicha estructura metálica está recubierta con trencadís azul cobalto idéntico al que desplegó en el Palau de les Arts y en los respiraderos de l'Umbracle.

Su forma recuerda, según el propio Calatrava, a dos manos entrelazadas pues el Ágora constará en su parte superior de unas alas (los dedos en el símil de las manos) que permitirán filtrar la cantidad de luz que entrará en su interior gracias a su cubierta de vidrio con bisagras que regularía la cantidad de luz natural que penetrara en la sala contigua.



HISTORIA

A lo largo de la historia, la ciudad de Valencia ha sufrido varias inundaciones por el desbordamiento del río Turia, de las cuales la más grave fue la ocurrida el 14 de octubre de 1957, que causó más de 80 muertos, además de cuantiosos daños materiales.

El 13 de octubre de 1957 se dieron precipitaciones de más de 300 mm en buena parte de la cuenca (361 mm en Bejís, aunque esta población está ubicada en la cuenca del río Palancia, es decir, fuera del área drenada por el Turia), que continuaron el 14 con más de 100 mm. Se originaron dos ondas de crecida sobre Valencia, la primera de 2.700 m³/s y una velocidad media de 3,25 m/s; la segunda, más violenta, de 3.700 m³/s y 4,16 m/s, inundando la mayor parte de la capital valenciana.

Como dato curioso, la zona próxima a la Catedral quedó libre de las aguas, lo que demuestra lo acertado del emplazamiento original. Es posible que esta zona algo más elevada sea el motivo por el que el cauce del Turia formó una amplia curva a manera de semicírculo en torno a la ciudad, a la cual rodea hacia el norte, quedando esta zona de la Catedral en el centro. En cambio, la zona de la calle de las Barcas, cuyo nombre obedece a que constituyó un atracadero para las embarcaciones que remontaban el Turia en la antigüedad, no sólo se inundó sino que los colectores de drenaje actuaban como surtidores al quedar el nivel de las aguas del río por encima de la calle, agravando así los enormes daños ocasionados por la inundación.

CONSECUENCIAS

Tras esta riada se desvió el cauce del Turia al sur de Valencia, por el llamado Plan Sur, dotándolo de una capacidad que se calcula en 5.000 m³/s, además de otras obras menores de regulación del río.

Las alturas alcanzadas durante la riada en algunos lugares de la ciudad fueron muy variadas. Desde los 40 centímetros en la Avenida Reino de Valencia, pasando por los 80 centímetros en los Jardines del Real (Viveros), 2,25 metros en la Plaza de Tetuán, 2,70 metros en la Calle Pintor Sorolla, 3,20 metros en los Jardines del Parterre, 4 metros en la Calle de Las Rocas, hasta los 5,20 metros en la Calle Doctor Oloriz.

Las fuertes lluvias afectaron también a otras zonas de la provincia de Valencia. El barranco del Carraixet, con un cauce muy amplio cuando baja de la Sierra de Calderona y alcanza las tierras de llanura (casi 200 m de ancho entre Bétera y Moncada) también se desbordó y sus aguas se juntaron con las del Turia antes de llegar al mar, cerca de Alboraya.

Otro foco importante de precipitaciones fue la cuenca del Palancia, que alcanzó el récord histórico de 900 m³/s y se desbordó en Sagunto.

Tras la riada, ante la tardanza de las ayudas por parte del gobierno, el alcalde de Valencia, Tomás Trénor Azcárraga, se enfrentó a Francisco Franco el cual le destituyó, pero el alcalde logró su objetivo ya que a partir de sus críticas se agilizó la ayuda a la ciudad y el proyecto del Plan Sur.

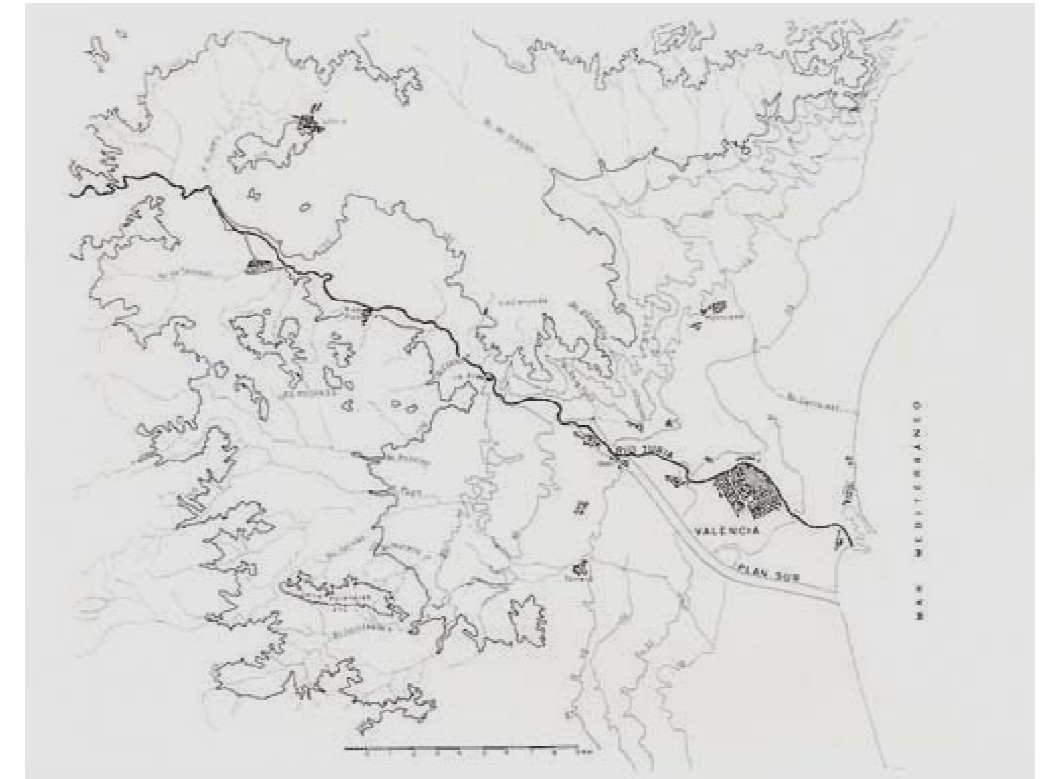


EL PLAN SUR

Ante el escenario provocado por la riada quedó claro que había que tomar alguna medida preventiva para evitar que se repitiera la situación en el futuro. En 1946 el Ingeniero de Caminos Eustaquio Berriochoa propuso un plan para resolver el problema de los más de 300 pasos a nivel de Valencia. Su solución consistía en desviar el Turia por el sur y colocar las vías en paralelo al nuevo cauce, lo que supondría rediseñar toda el área metropolitana y establecer por el sur una doble barrera de vías y agua. En aquel momento su propuesta fue desestimada por considerarse excesiva y grandilocuente, pero había llegado el momento de reconsiderarla. Los encargados de preparar el proyecto fueron el Arquitecto Fernando Martínez García-Ordóñez y el ingeniero de Caminos Claudio Gómez Perreta.

El primer borrador del proyecto estuvo listo en enero de 1958, cuando fue presentado al Ministro de Vivienda. Incluía el desvío del río, la presa de Villamarchante, la reorganización ferroviaria y la recuperación de suelo con un presupuesto estimado de 5.000 millones de pesetas. Y entonces el proyecto pareció guardarse en un cajón.

En junio de 1958 un nuevo temporal provocó una riada en el Marítimo y otros barrios de la ciudad. Muchos colectores y acequias estaban aún cegados por toneladas de barro reseco. Esta situación provocó que el alcalde Tomás Trénor pronunciara un discurso muy crítico con el gobierno por su poca implicación. La difusión del discurso fue prohibida y tiempo más tarde el alcalde fue cesado y sustituido, pero tuvo su efecto. En julio Franco dio su aprobación al Plan Sur y el 28 de ese mes se aprobó por el Consejo de Ministros. Pero entonces vino un nuevo parón, hasta 1961 la Solución Sur no se convirtió en Ley aprobada por las Cortes Españolas. Y no fue hasta febrero de 1965 cuando comenzaron las obras. Con los años el Plan se había ido modificando, incluyendo una renovación de la red de alcantarillado y nuevos puentes sobre el nuevo cauce (por ejemplo, inicialmente estaba previsto que la carretera de Madrid y las vías de FEVE lo cruzaran en vado, con el caos que eso produciría en caso de riada). En 1969 terminó la construcción del nuevo cauce, pero toda la Solución Sur no acabó hasta 1972, con todos sus puentes, vías marginales y accesos ferroviarios. Y precisamente el 18 de junio de 1972, por primera vez una riada llenó el nuevo cauce de orilla a orilla.



Maqueta del Plan Sur



Obras del Plan Sur



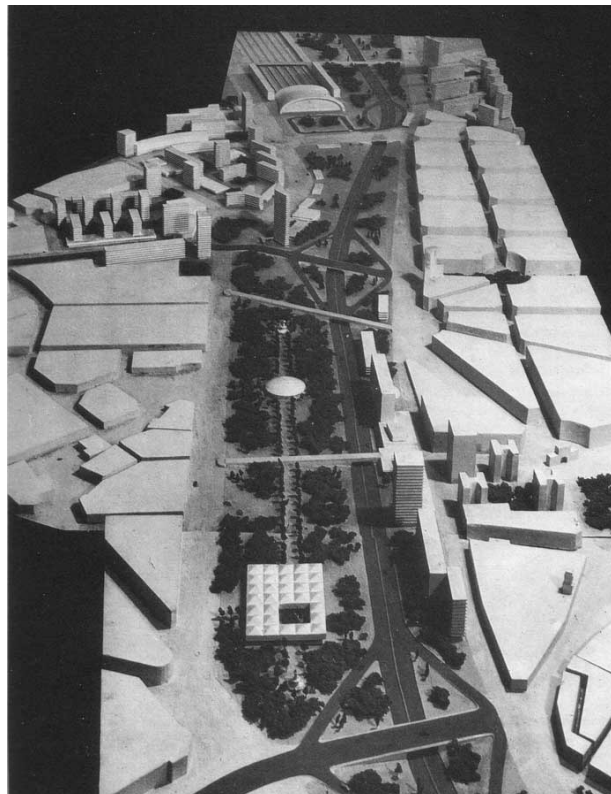
Avenida del Cid a su paso por el nuevo cauce



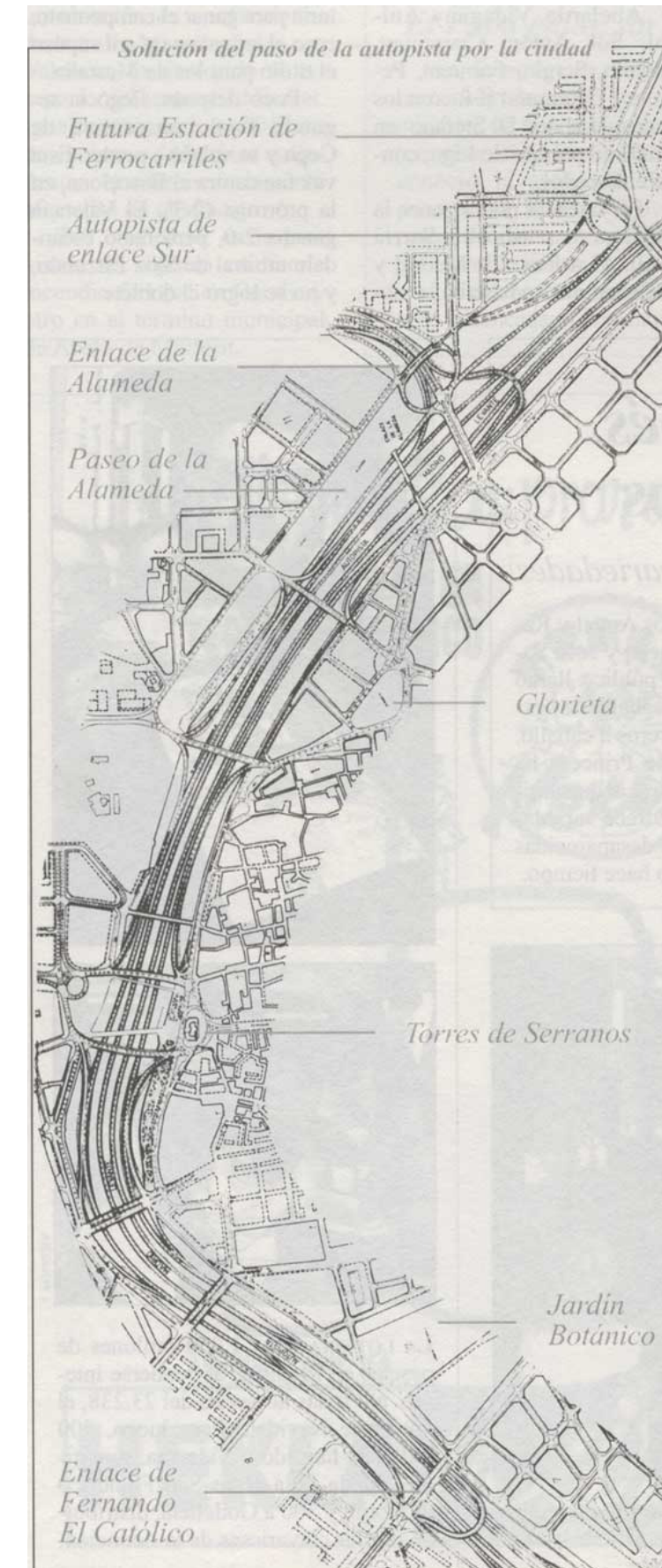
En cuanto a la financiación de las obras, cuyo coste final ascendió a 6.067 millones de pesetas, el Estado corrió a cargo del 75%, el Ayuntamiento el 20% y la Diputación el 5% restante. La parte correspondiente al ayuntamiento fue pagada a lo largo de más de 20 años con la aplicación de impuestos especiales en la ciudad. El más conocido es el recargo de 0.25 pesetas sobre los sellos de correos, pero hay que sumar el recargo de 0.50 sobre los telégrafos, el 25% sobre el consumo de alumbrado, el 100% sobre arbitrios extra, el 10% sobre el arbitrio de la riqueza urbana, el 15% sobre la rústica, el 40% sobre la licencia fiscal, el 3% sobre la estancia en hoteles, el 3% sobre la tarifa del servicio telefónico, el 10% sobre el impuesto de lujo y tasas especiales de aparcamiento y circulación de vehículos.

EL DESTINO DEL VIEJO CAUCE DEL TURIA

En 1970, con las obras en su tramo final, se empezó a plantear cual sería el destino del viejo cauce del Turia que atravesaba la ciudad. En 1971, con la reforma del PGOU de Valencia para adaptarse al Plan Sur y a instancias del Ministerio de Obras Públicas (el viejo cauce era propiedad estatal en esos momentos), se proyectó que el espacio del cauce fuera ocupado por una autopista de 28 metros de ancho y todas las conexiones para distribuir el tráfico por la ciudad. Dicha autopista sería el final del la autopista de Madrid a Valencia, que llegaría así hasta el mar. A lo largo de los dos siguientes años se produjo una gran campaña de protesta contra esta solución, exigiendo que el cauce se convirtiera en una zona verde de la ciudad. Finalmente Obras Públicas desistió de su idea original y el ayuntamiento acordó destinar el viejo cauce a zona verde, modificando el PGOU y pidiendo al estado su propiedad. En noviembre de 1976, durante la primera visita del Juan Carlos I como jefe del Estado, se donó la titularidad del viejo cauce a la ciudad.



Proyecto de autopista por el viejo cauce, maqueta y plano.

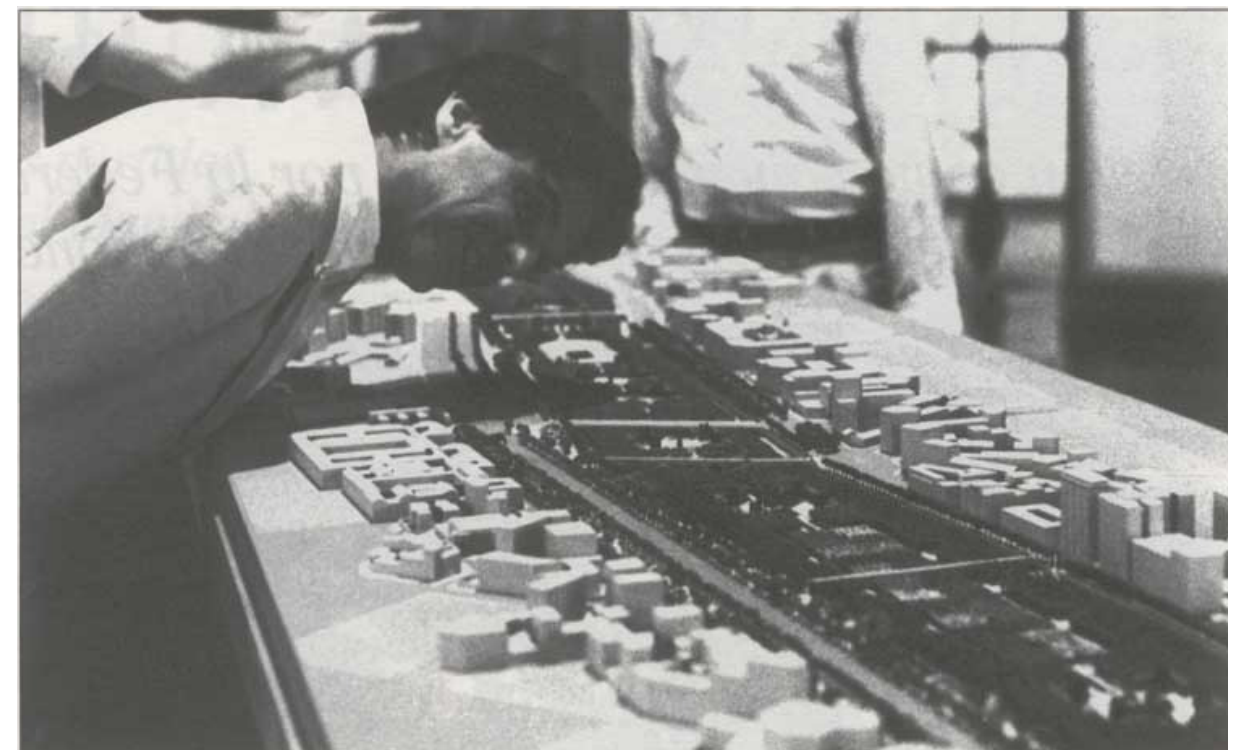


Tuvo que esperarse hasta 1981 para que el Ayuntamiento firmara el contrato con Ricardo Bofill por valor de 12 millones de pesetas por el cual se desarrollaría el plan urbanístico del viejo cauce. El proyecto fue presentado en 1982 y su realización se ha alargado hasta la actualidad, quedando pendiente la conexión del ahora llamado Jardín del Turia con el Puerto y el mar.

¿PUEDE VOLVER A OCURRIR?

La de 1957 no fue la primera riada de Valencia ni será la última. Existen riadas documentadas desde el siglo XIV: en 1321, 1328, 1340, 1358, 1406, 1427, 1475, 1517, 1540, 1581, 1589, 1590, 1610, 1651, 1672, 1731, 1776, 1783, 1845, 1860, 1864, 1870, 1897 y finalmente la de 1957. Con estos antecedentes es seguro que en el futuro habrá nuevas crecidas del río Turia.

La capacidad del nuevo cauce, según los técnicos durante su construcción, alcanza los 5000 metros cúbicos por segundo. La Confederación Hidrográfica del Júcar considera que su capacidad se queda en 4000 m³/s. El caudal de la riada de 1957 fue de unos 3500 m³/s, pero se afirma que tuvo picos de hasta 4200 m³/s. La capacidad está por lo tanto muy ajustada. Por ello se han tomado medidas como la de prohibir grandes edificaciones en el antiguo cauce del río o seguir construyendo los puentes necesarios para cruzarlo, por si llegado el caso las aguas volvieran a su cauce natural.



Maqueta del proyecto de Bofill.



EL AUTOR



Santiago Calatrava, (Valencia, 28 de julio de 1951) es un arquitecto y escultor español, quien además tiene estudios de ingeniería civil realizados en Zúrich. Santiago Calatrava nació en 1951 en la pedanía de Benimàmet de Valencia.

ETAPA ACADÉMICA

Según consta en la biografía de su página web, desde los nueve años estudió en la Escuela de Bellas Artes donde empezó formalmente su preparación como dibujante y pintor. A los 13 años su familia le envió a París a través de un programa de intercambio estudiantil.

De regreso a Valencia, terminó sus estudios escolares en el colegio de las Escuelas Pías, y se matriculó en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia, donde se graduó como arquitecto y donde realizó un curso de post-graduado en urbanismo siendo discípulo del eminente arquitecto conquense Juan Carlos Jiménez. A continuación, Calatrava, que se interesaba por las grandes obras de los maestros clásicos y que deseaba ampliar su formación, se trasladó en 1975 a Zúrich, donde estudió durante cuatro años ingeniería civil en el Instituto Federal de Tecnología, en el cual se graduó con un doctorado en 1979.

TRABAJOS Y PROYECTOS

Finalizada la etapa de estudios, trabajó como profesor auxiliar en el Instituto Federal de Tecnología, donde comenzó a aceptar pequeños encargos y a participar también en concursos de nuevos proyectos. En 1983 le fue adjudicada su primera obra de cierta importancia, la Estación de Ferrocarril de Stadelhofen, situada junto al centro de Zúrich donde también había establecido su despacho. Al año siguiente, Calatrava diseñó el puente Bac de Roda en Barcelona que fue el primero que empezó a darle cierto reconocimiento internacional. A este seguirían el Puente Lusitania de Mérida (1991), del Alamillo de Sevilla (1992) y el Puente de 9 d'Octubre en Valencia (1995).

En 1989 Calatrava abrió su segundo despacho en París, mientras estaba trabajando en el proyecto de la Estación de Ferrocarril del Aeropuerto de Lyon. Dos años después creó su tercer despacho, esta vez en Valencia, donde trabajaba en un proyecto de grandes dimensiones, la Ciudad de las Artes y de las Ciencias. En el año 2003 concluyó el edificio del Auditorio de Tenerife en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife, en su inauguración estuvieron presentes algunos de los diarios más prestigiosos del mundo como New York Times o Financial Times. El prestigio internacional de Calatrava fue rápidamente en aumento.



EDIFICIO CBE (TORONTO, CANADÁ)



PALACIO DE CONGRESOS PRINCESA LETIZIA (OVIEDO)



PUENTE DE LA MUJER (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

ESTILO

Hoy se considera a Calatrava como uno de los arquitectos especializados en grandes estructuras. Contrariamente a lo que es habitual en muchos arquitectos, que ocultan las estructuras de sus edificios, Calatrava, como ingeniero que es, las convierte en elementos esenciales en las mismas.

Calatrava ha recibido numerosos premios y reconocimientos por su trabajo entre los que destaca el Premio Príncipe de Asturias de las Artes en 1999. Ha sido nombrado *Doctor Honoris Causa* en doce ocasiones.

La obra de Calatrava supone una auténtica revolución en la arquitectura, caracterizada por la reunión de la arquitectura y la ingeniería, que vienen circulando separadas desde el siglo XVIII. Santiago Calatrava supone un reencuentro con la tradición constructiva de la arquitectura, con influencias de Fernando Higuera, Antonio Gaudí, y las arquitecturas gótica y romana. En un momento en que muchas arquitecturas hacen gala de una gran banalidad, y muchas obras de ingeniería hacen ostentación involuntaria de una gran ordinariez, Calatrava ha producido una gran influencia en la arquitectura contemporánea.

FUTUROS PROYECTOS

Se le ha concedido la construcción del rascacielos más alto de los Estados Unidos. El proyecto ha recibido el nombre de Chicago Spire, una torre de 610 metros de altura que se situará en la ciudad de Chicago, convirtiéndose en un icono y superando con creces a la actual Torre Willis de 442 metros. En Oviedo se está llevando a cabo la obra del futuro Palacio de Congresos Princesa Letizia. También en Oviedo se proyectaron a finales de 2007 tres torres inclinadas de 130 metros de altura y 39 pisos a la entrada de la ciudad desde el norte, conocidas como las 'trillizas' de Calatrava, aunque posteriormente el alcalde de la ciudad descartó el proyecto por no conseguir el «consenso político ni social necesario».

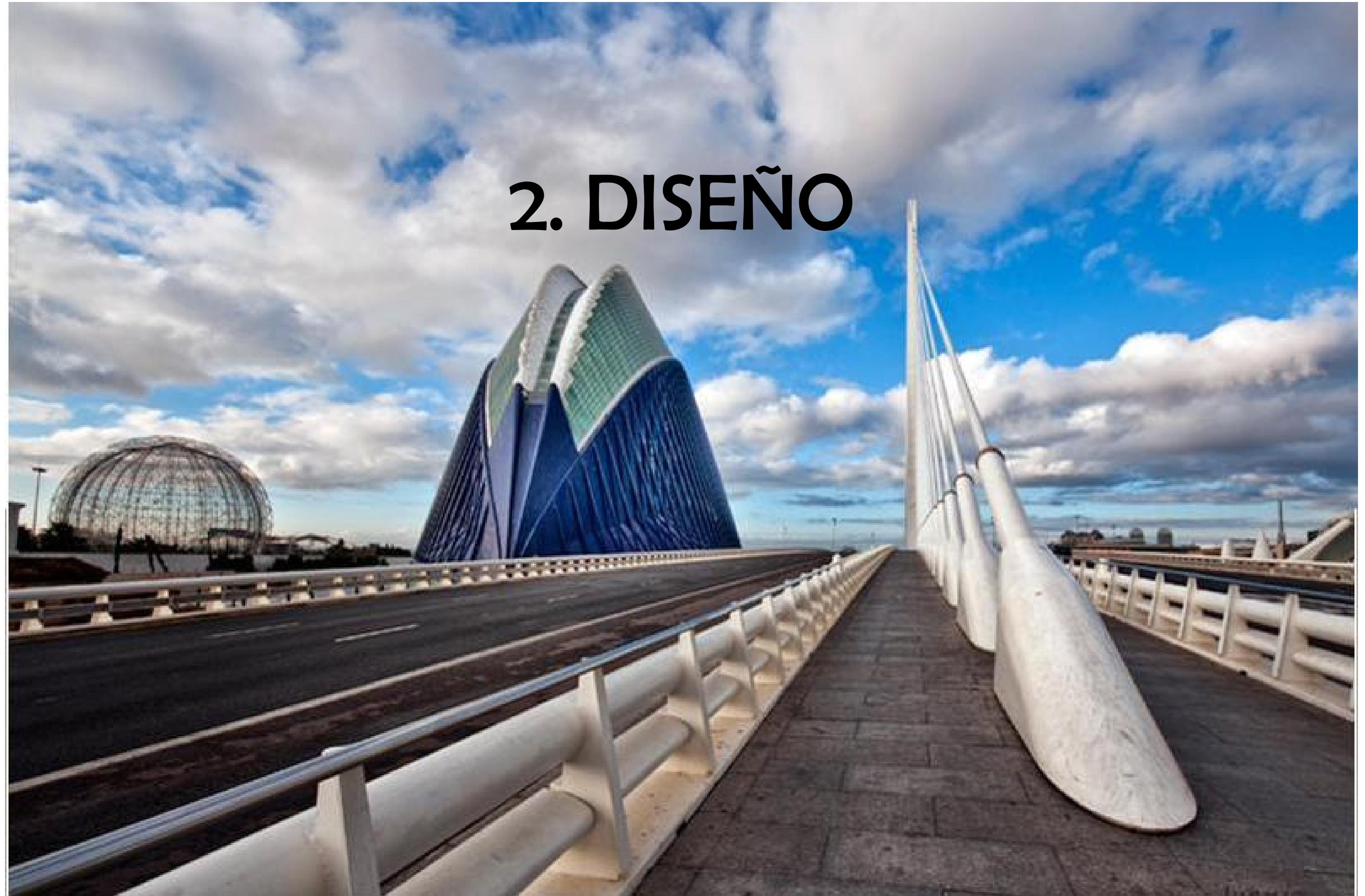
En 2003 se le concedió la construcción del Intercambiador de transportes del 1 World Trade Center, en Nueva York, en la denominada Zona Cero generada tras los atentados del 11 de septiembre de 2001. El Intercambiador combinará los transportes de tres medios diferentes: los trenes de cercanías de la Autoridad Portuaria Trans-Hudson, el metro neoyorquino y el enlace ferroviario con el Aeropuerto Internacional John F. Kennedy. Calatrava ha diseñado una estructura de vidrio y acero que tendrá el aspecto, en sus propias palabras, de "un ave liberada por las manos de un niño". Cada 11 de septiembre, en homenaje a las víctimas, la cubierta se abrirá dejando a la vista el cielo.



LLOTJA DE SANT JORDI (ALCOY)



ESTACIÓN DE FERROCARRIL LIEJA
GUILLEMINS (BÉLGICA)



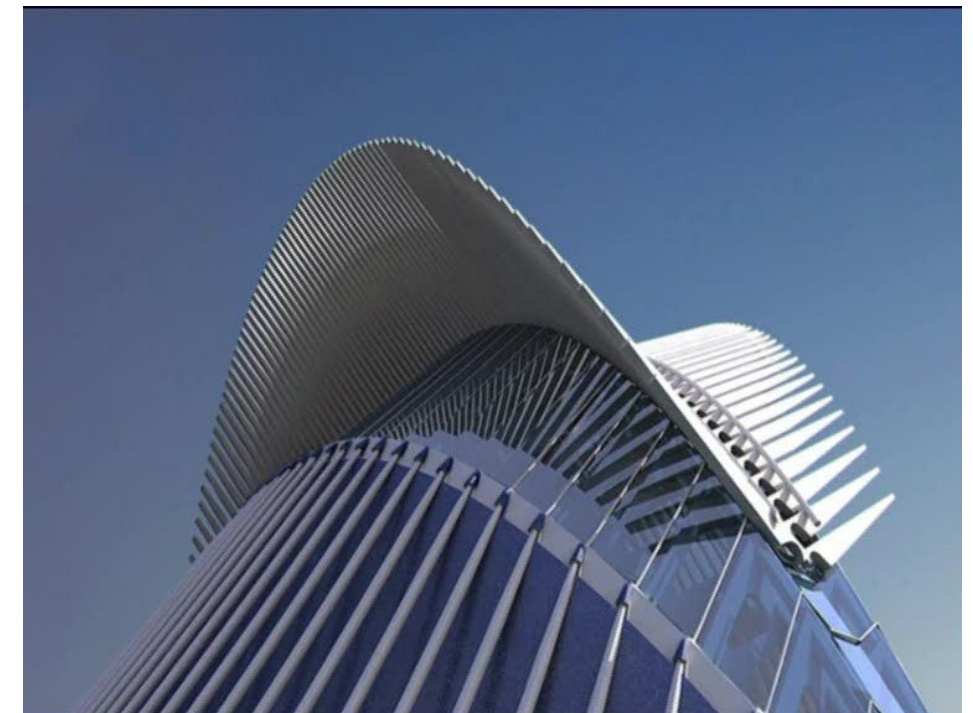
DISEÑO

El edificio tiene dos niveles de lectura, distintos pero complementarios. La planta recurre a geometrías puras y la sección a lo abstracto. Una serie de líneas paralelas definen una forma apuntada en planta, formada por la intersección de dos círculos. Esta forma es la representación de la reunión, de lo compacto, remitiendo a la imagen arquetípica de la reunión en torno al fuego, en las arquitecturas civiles.

Esta actualización de la sección apuntada de las catedrales góticas pretende modelar el perfil de la ciudad, pero también crear una conexión intensa con el entorno urbano, ofreciendo un espacio abierto y luminoso. El edificio se encuentra sobre estanques de agua y la urbanización que lo circunda. Este elemento consolida la integración en el tejido urbano de la Ciudad de las Artes y de las Ciencias, sirviendo de puerta de acceso a esta desde el cauce, al Norte y Camino de las Moreras, al Sur, así, absorbe las diferentes cotas existentes entre el camino de las Moreras, Antiguo Cauce, l'Oceanografic y resto Ciudad de las Artes y de la Ciencias dotándose de una suave pendiente que permite trasladarse a pie llano desde cualquiera de ellos a otro. Además cumple la función de bisagra entre l'Oceanografic y el resto del complejo consiguiendo una continuidad en el complejo y, al mismo tiempo, armonizando sendas concepciones arquitectónicas.

La estructura móvil que corona el edificio, además de permitir el control de la iluminación natural, desmaterializa la estructura en sentido ascendente, dotando al edificio de una componente vertical que remite a la luz, a la lucidez de las ideas que aspira a contener. El cerramiento en la parte media de la fachada, es opaco. El acabado exterior es en trencadis azul, y está colocado sobre chapa lagrimada. La parte interna se plantea con paneles sándwich perforados puede tener alternativas que mejoren el aislamiento acústico y la estética espacial realizando el revestimiento interior con chapa de acero perforada, lacada en blanco.

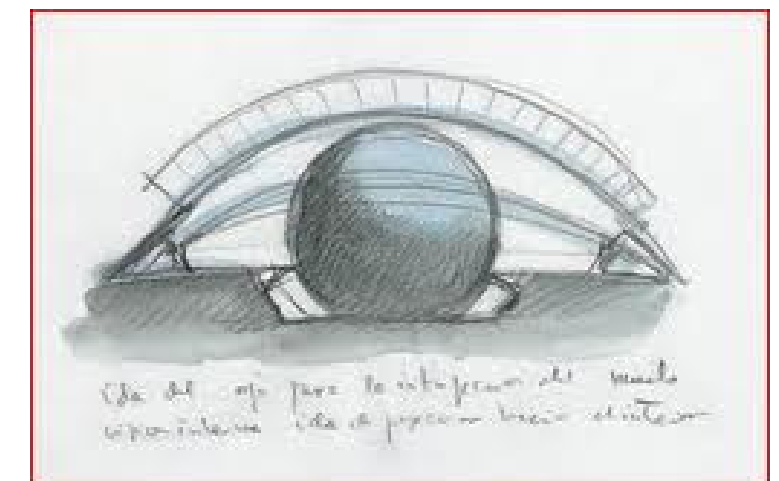
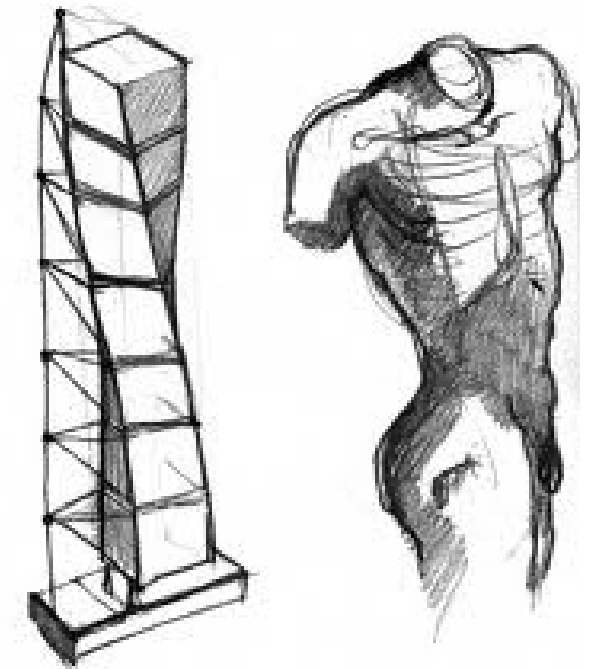
El edificio cumple con la finalidad para la que fue diseñado, un espacio diáfano y multifuncional, con la posibilidad de albergar múltiples y muy diversos actos gracias a sus más de 5000 m². Prueba de ello es que ha albergado un Open de Tenis, conciertos y espectáculos varios.



EL ANTROPOMORFISMO

El punto neurálgico y la inspiración con la que Calatrava nos sorprende a cada paso, radica en la propia anatomía humana y la naturaleza o los animales. La columna vertebral, el reparto de peso o la gravedad, son materias por las que este afamado arquitecto siente especial curiosidad, que estudia posteriormente mediante sus bocetos, sus dibujos y sus esculturas; estas esculturas son fruto de un estudio exhaustivo por parte del arquitecto, que mientras trabaja con ellas imagina soluciones futuras y reales que aplicará y desarrollará en proyectos arquitectónicos que se construirán años más tarde llevándolos a gran escala. En realidad, este es el mejor secreto del arquitecto, ya que como el mismo afirma, para poder comprender más y mejor su obra, hay que conocer antes su trabajo como escultor y dibujante.

La sección, recurre a las formas antropomórficas, a lo concreto. La imagen de dos manos que se tocan en la punta de sus dedos formando un refugio, producida por la serie de pórticos paralelos, quiere sugerir una idea de bienvenida y hospitalidad, una invitación para reunirse y compartir.



INFLUENCIAS

Con un estilo enteramente mediterráneo y a la vez funcional que se refleja en la mayor parte de sus obras, es muy fácil identificar una obra de Santiago Calatrava por cualquier parte del mundo, ya que el blanco immaculado de la mayor parte de sus obras lo hacen un artista realmente inconfundible.

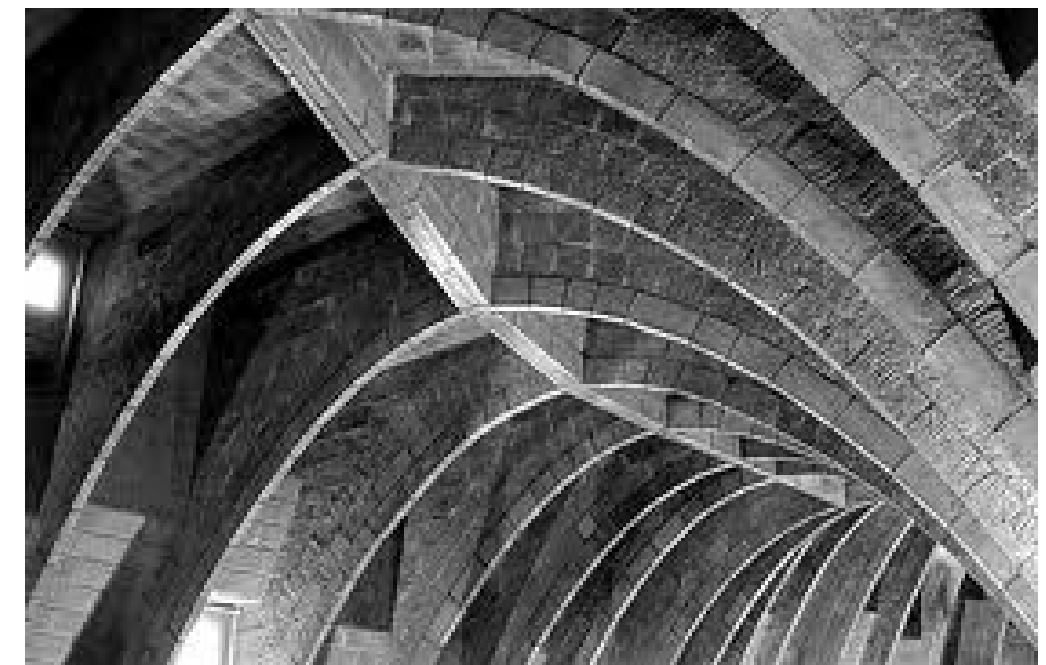
Calatrava ha estado ciertamente influenciado por otros artistas importantísimos de talla mundial a lo largo de toda la historia como Miguel Ángel Buonarroti (1.475-1564) o Gaudí (1.852-1.926), -de hecho, a Calatrava le ha influido totalmente el Renacimiento Italiano-, u otros artistas importantes como el escultor Rodín, o pintores como Matisse o Picasso, aunque ha habido muchos otros, y ha conseguido lograr un estilo propio que ha maravillado al mundo.

El arquitecto suele aplicar la técnica de trencadís originaria de Gaudí, la cual utiliza piezas de cerámica de desecho para revestir la mayor parte de sus obras. La diferencia entre ambos en lo referente a esta técnica es que Gaudí utilizaba colores muy vivos en sus trabajos detallistas, mientras que Calatrava hace el empleo del color blanco impoluto, con el que nos sorprende cada año. La técnica cerámica quebrada del trencadís, se caracteriza no sólo porque se puede aplicar a superficies curvas, sino que además se puede aplicar en paños de 1 x 1 metro sobre un riego de adherencia.

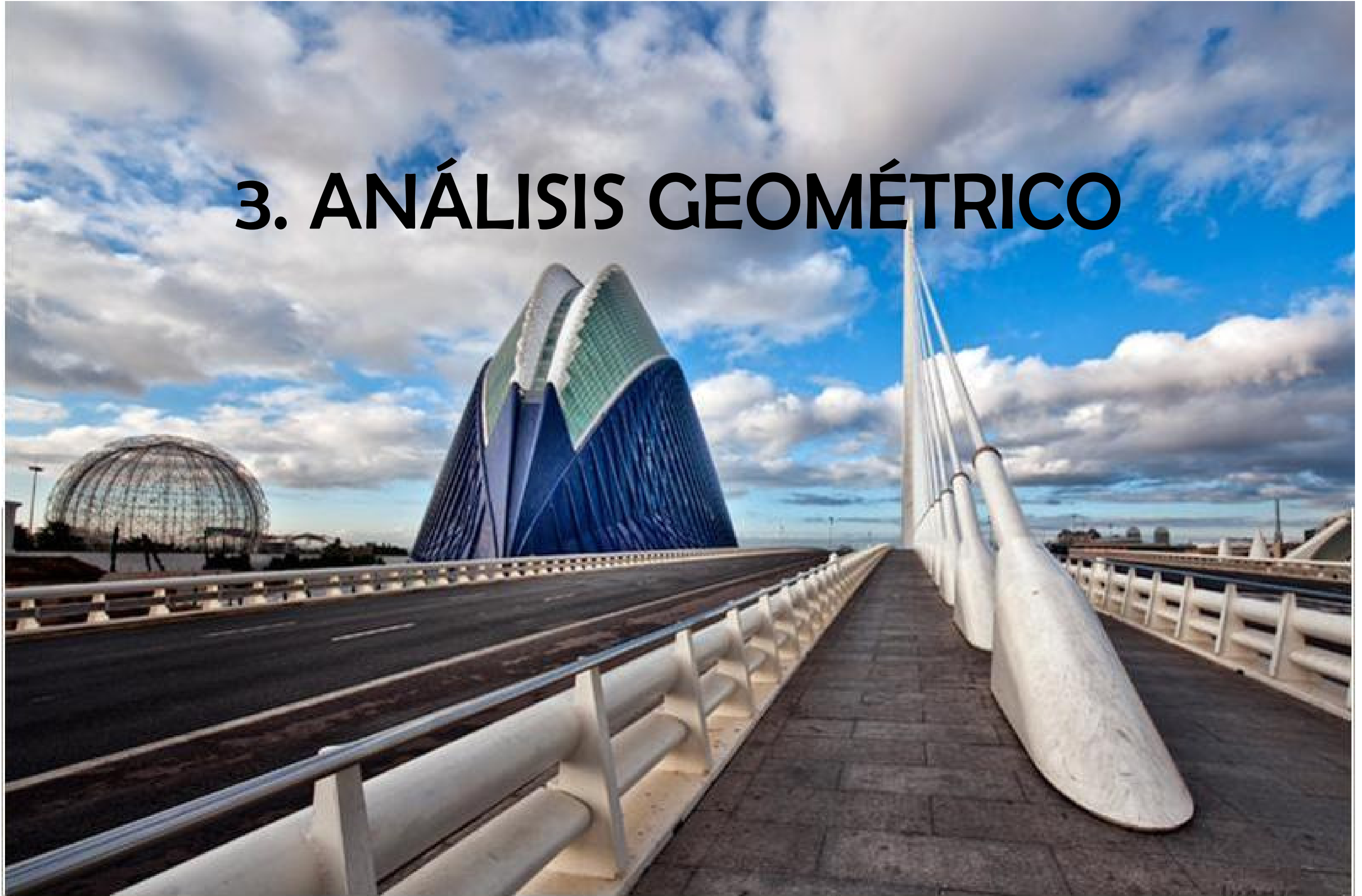


Gaudí concebía sus edificios de una forma global, atendiendo tanto a las soluciones estructurales como las funcionales y decorativas. Estudiaba hasta el más mínimo detalle de sus creaciones, integrando en la arquitectura toda una serie de trabajos artesanales que dominaba él mismo a la perfección: cerámica, vidriería, forja de hierro, carpintería, etc. Asimismo, introdujo nuevas técnicas en el tratamiento de los materiales, como su famoso “trencadís” hecho con piezas de cerámica de desecho.

El arquitecto reusense fue más allá del modernismo ortodoxo, creando un estilo personal basado en la observación de la naturaleza, fruto del cual fue su utilización de formas geométricas regladas, como el paraboloides hiperbólico, el hiperboloides, el helicoides y el conoides.



3. ANÁLISIS GEOMÉTRICO



INTRODUCCIÓN

Cono

En geometría, un **cono** recto es un sólido de revolución generado por el giro de un triángulo rectángulo alrededor de uno de sus catetos. Al círculo conformado por el otro cateto se denomina **base** y al punto donde confluyen las generatrices se llama **vértice**.

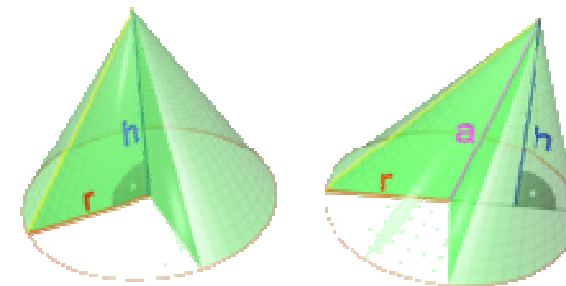
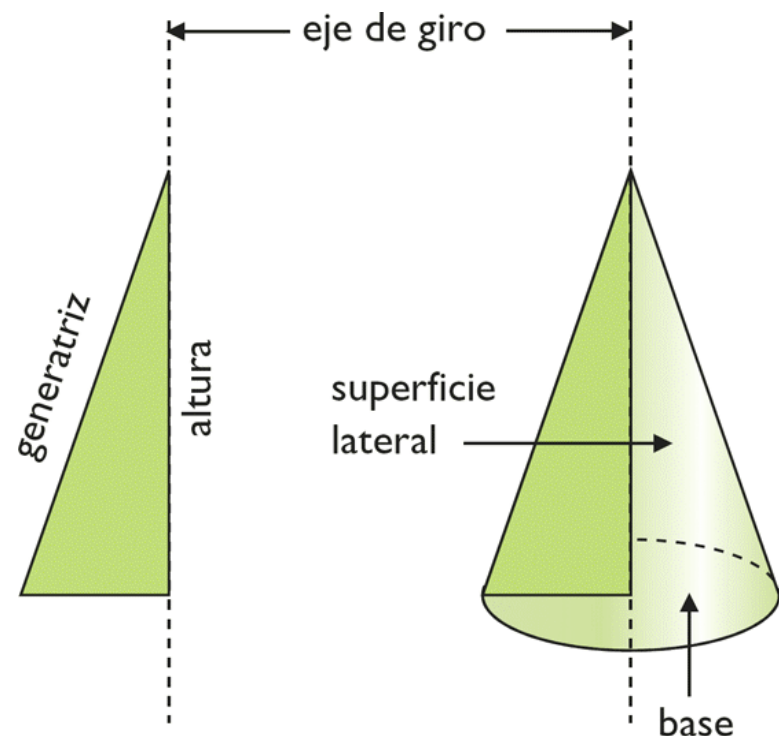
Superficie cónica se denomina a toda superficie reglada conformada por el conjunto de rectas que teniendo un punto común (el vértice), intersecan a una circunferencia no coplanaria.

Clasificación

- **Cono recto**, si el eje del cono es perpendicular a la base circular
- **Cono oblicuo**, si el eje del cono es oblicuo a su base
- **Cono elíptico**, si la base es una elipse. Pueden ser rectos u oblicuos.
- **Cono de revolución**, si está generado por una recta que gira alrededor del eje

La generatriz de un cono es cada uno de los segmentos cuyos extremos son el vértice y un punto de la circunferencia de la base.

La altura de un cono es la distancia del vértice al plano de la base. En los conos rectos será la distancia del vértice al centro de la circunferencia de la base.



Cilindro

Un **cilindro**, en geometría, es la superficie formada por los puntos situados a una distancia fija de una línea recta dada, el **eje** del cilindro. Como superficie de revolución, se obtiene mediante el giro de una recta alrededor de otra fija llamada eje de revolución.

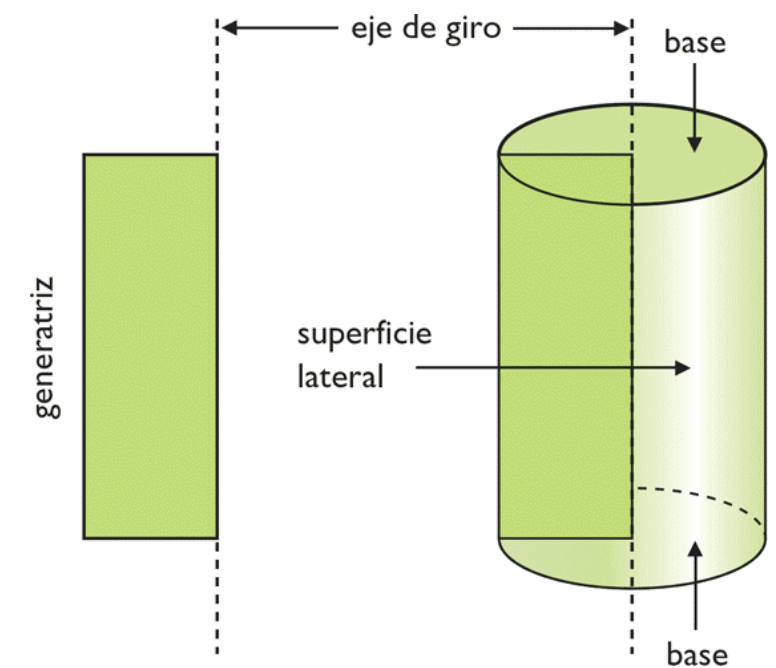
El sólido encerrado por esta superficie y por dos planos perpendiculares al eje también se llamado cilindro.

En geometría diferencial, un cilindro se define de forma general como cualquier superficie reglada generada por una familia uniparamétrica de líneas paralelas.

Clasificación

Un cilindro puede ser:

- **Cilindro rectangular**: si el eje del cilindro es perpendicular a las bases;
- **Cilindro oblicuo**: si el eje no es perpendicular a las bases;
- **Cilindro de revolución**: si está generado por una recta que gira alrededor del eje.



Curvas cónicas

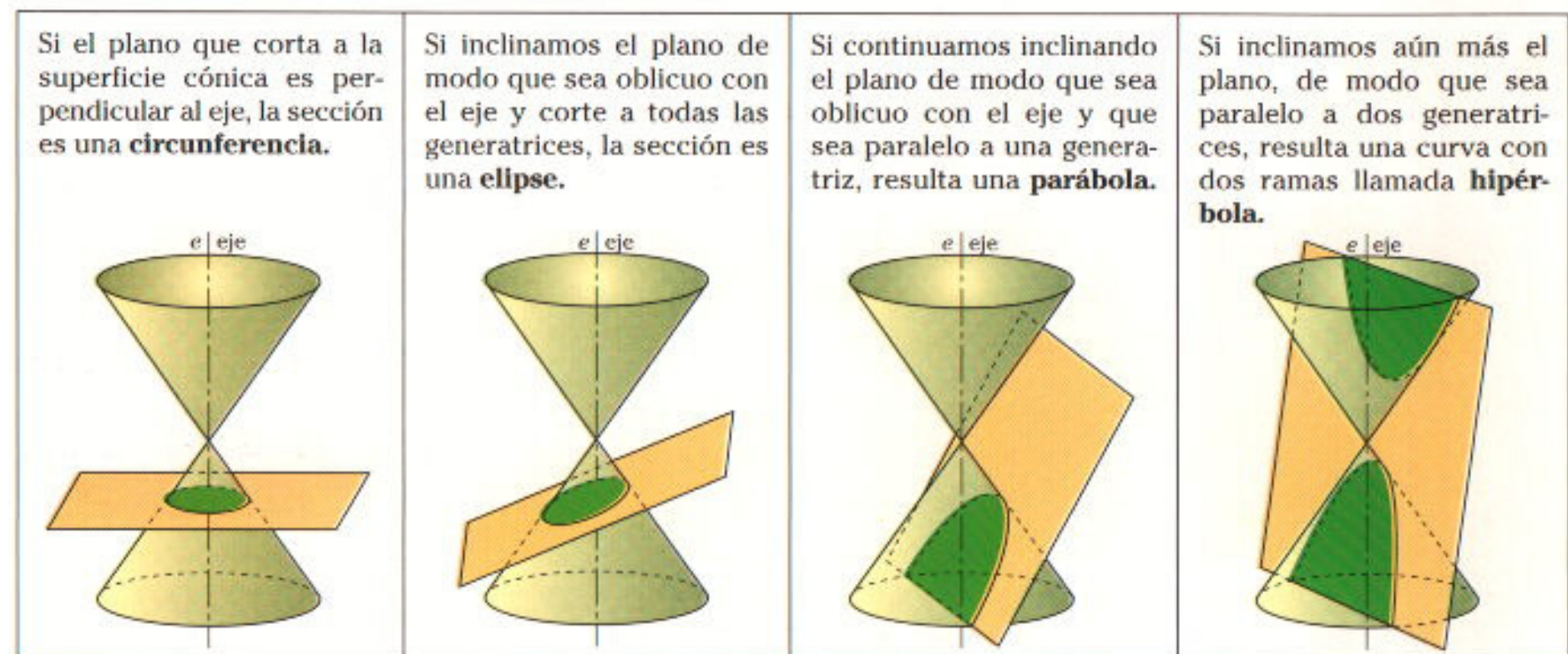
Se denomina **sección cónica** a la curva intersección de un cono con un plano que no pasa por su vértice.

En función de la relación existente entre el ángulo de conicidad (α) y la inclinación del plano respecto del eje del cono (β), pueden obtenerse diferentes secciones cónicas, a saber:

- $\beta < \alpha$: Hipérbola
- $\beta = \alpha$: Parábola
- $\beta > \alpha$: Elipse
- $\beta = 90^\circ$: Círculo

Si el plano pasa por el vértice del cono, como fácilmente se puede comprobar:

- Cuando $\beta > \alpha$ la intersección es un único punto (el vértice).
- Cuando $\beta = \alpha$ la intersección es una recta generatriz del cono (el plano será tangente al cono).
- Cuando $\beta < \alpha$ la intersección vendrá dada por dos rectas que se cortan en el vértice. El ángulo formado por las rectas irá aumentando a medida β disminuye, hasta alcanzar el máximo (α) cuando el plano contenga al eje del cono ($\beta = 0$).



INTRODUCCIÓN

del espacio interior. Las alas son unidas sobre la cima de la cúpula a un arco móvil

El edificio tiene una forma geométrica compleja tanto es su planta como en sus secciones, ya que se obtienen mediante la intersección de numerosos planos con formas cónicas.

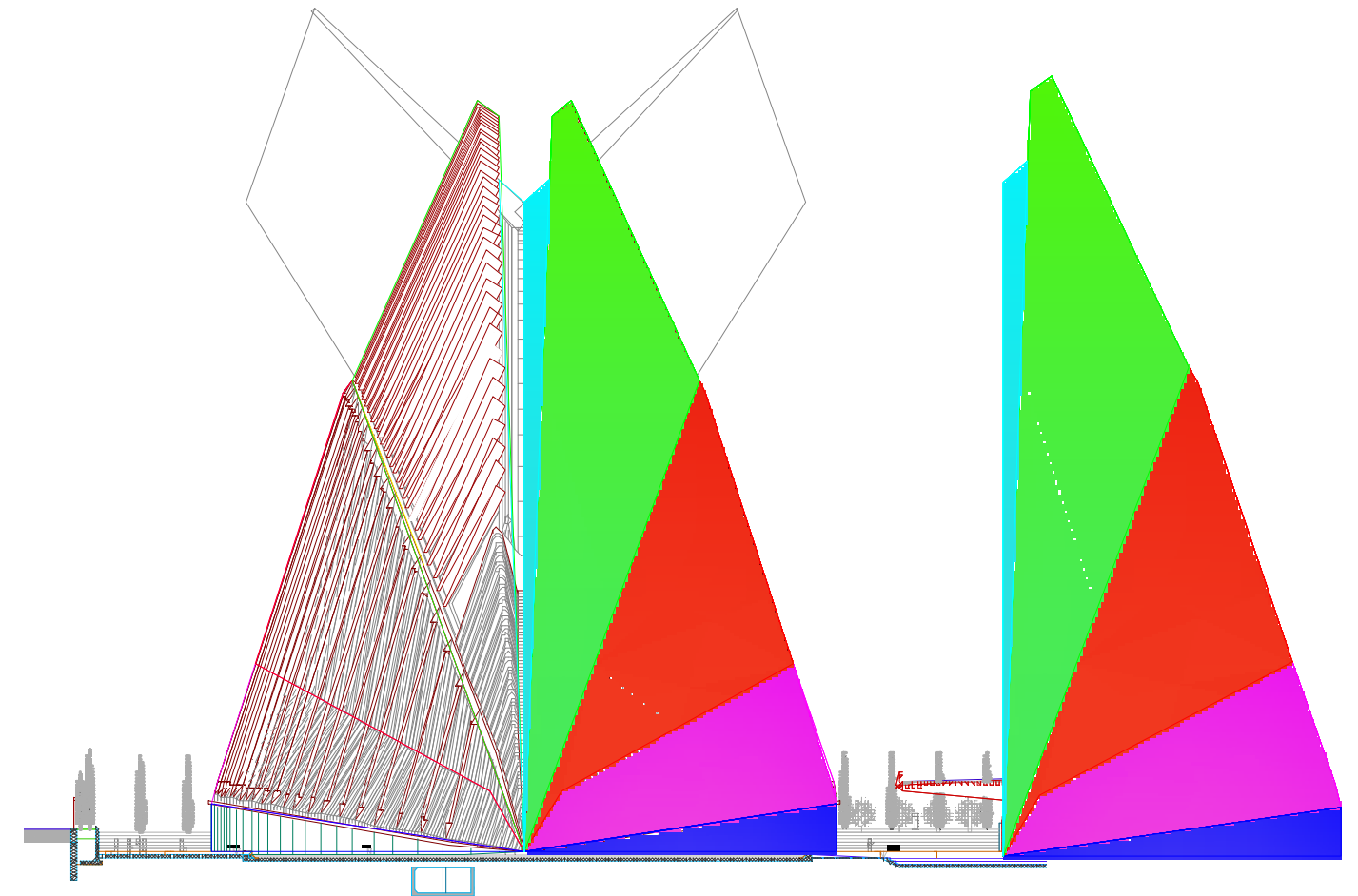
Para su análisis vamos a proceder desde la parte inferior hasta la superior, comenzando por la planta, analizando de donde proviene su forma apuntada, siguiendo por las columnas de la base y con los arcos, de los cual obtendremos su procedencia así como su forma de creación, y terminaremos con la parte más alta del edificio.

LAS DISTINTAS PARTES DEL ÁGORA

El Ágora tiene 5 partes diferenciadas, la inferior correspondiente a las columnas (parte azul), la zona media limitada inferiormente por las columnas y superiormente por el arco parabólico. Esta a su vez está dividida en las piezas q transmiten los esfuerzos a las columnas (zona magenta) y los que los recogen del arco parabólico (zona roja) todas ellas cubiertas exteriormente por lamas metálicas. La parte alta (zona verde) es la incluida entre los arcos parabólicos e hiperbólicos y por último la parte central (zona cyan) entre los arcos hiperbólicos y los arcos centrales.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

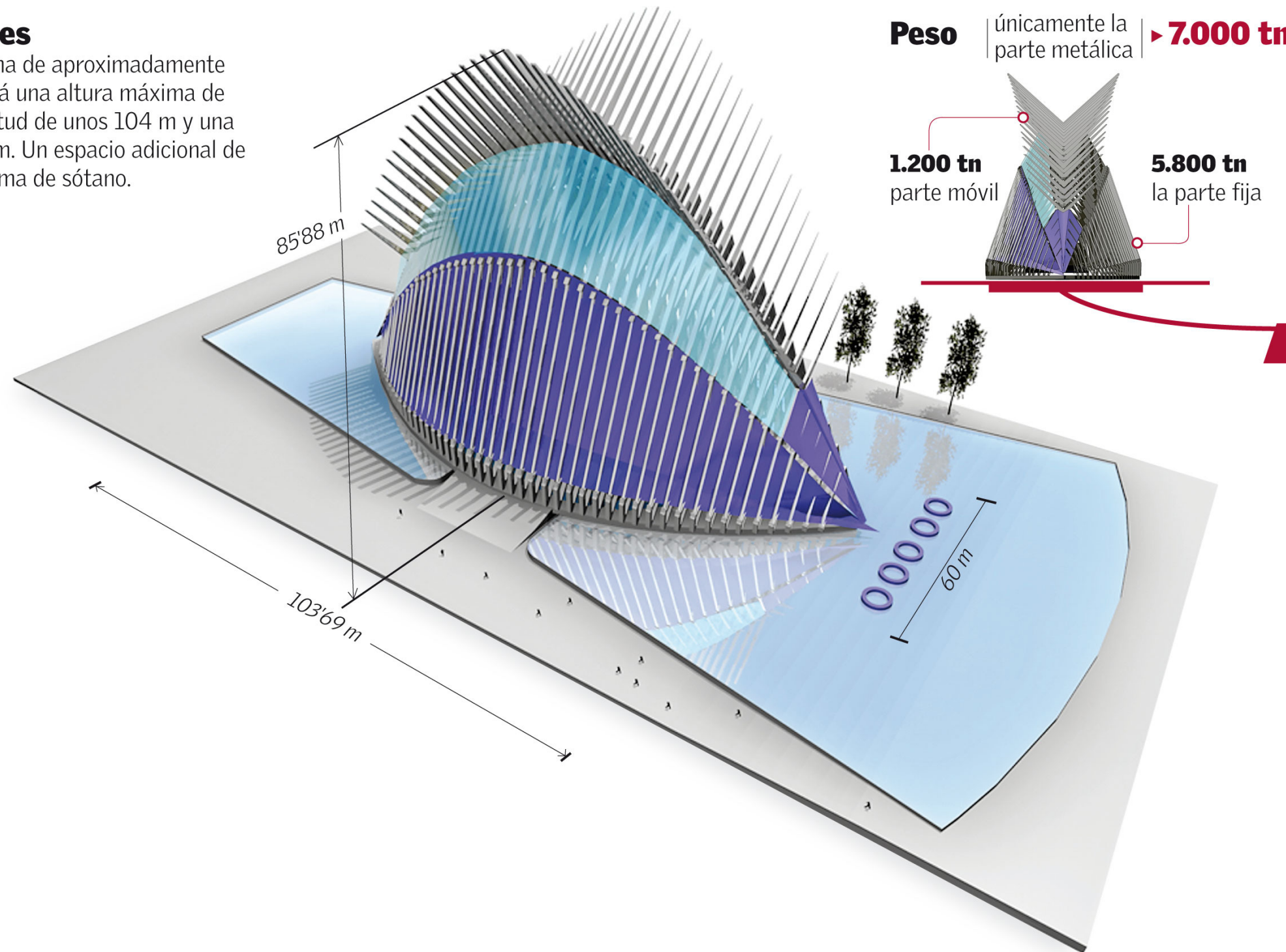
El sistema es construido como una serie de entradas con la altura variable. Todas las entradas son unidas en el apoyo del final y sobre la cima de la cúpula. En la dirección longitudinal hay tres arcos que son unidos basados en cuatro apoyos. La azotea es cubierta por alas de un metro que aparte puede controlar la iluminación



DIMENSIONES

Dimensiones

De planta diáfana de aproximadamente 5.000 m², tendrá una altura máxima de 85 m, una longitud de unos 104 m y una anchura de 60 m. Un espacio adicional de 1.800 m² en forma de sótano.

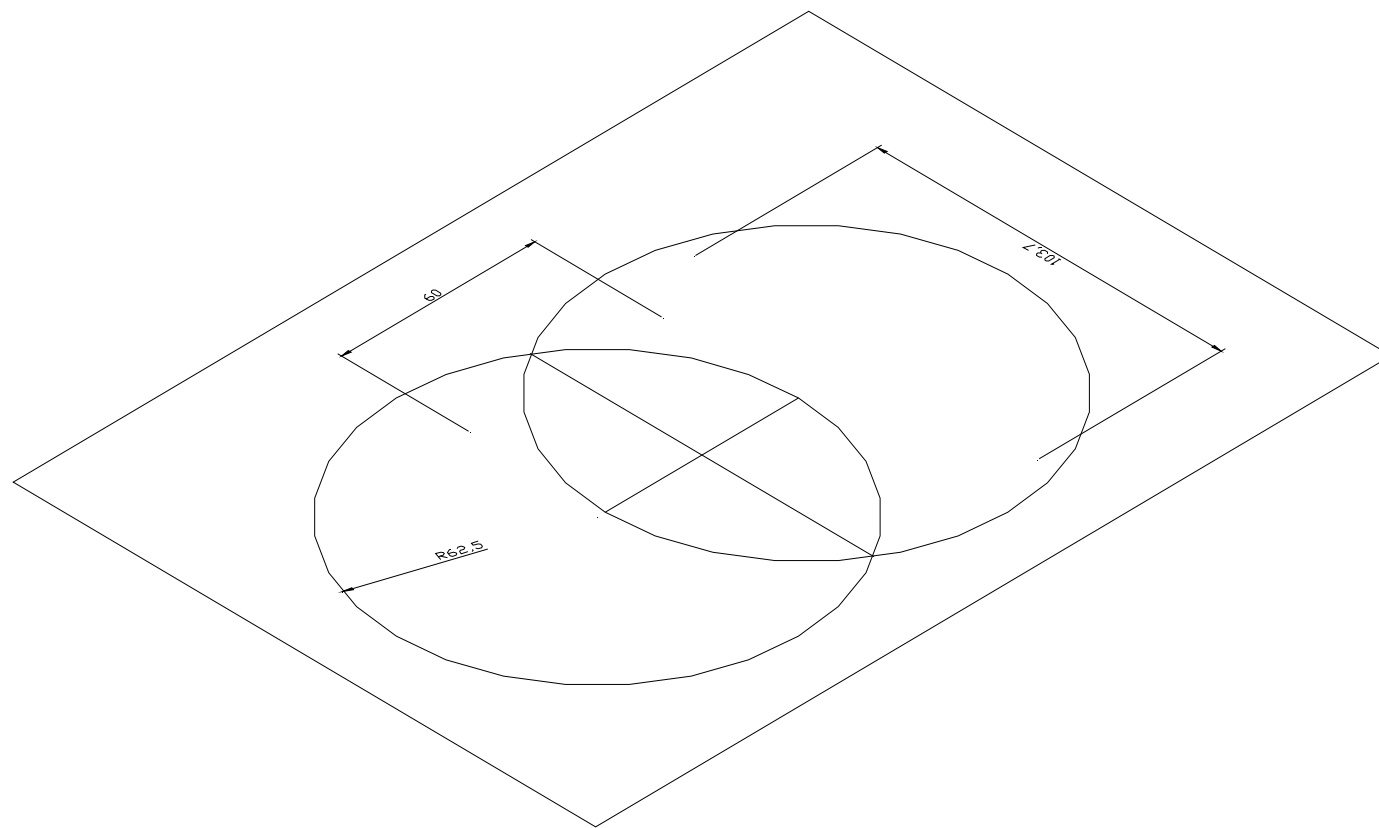


PLANTA

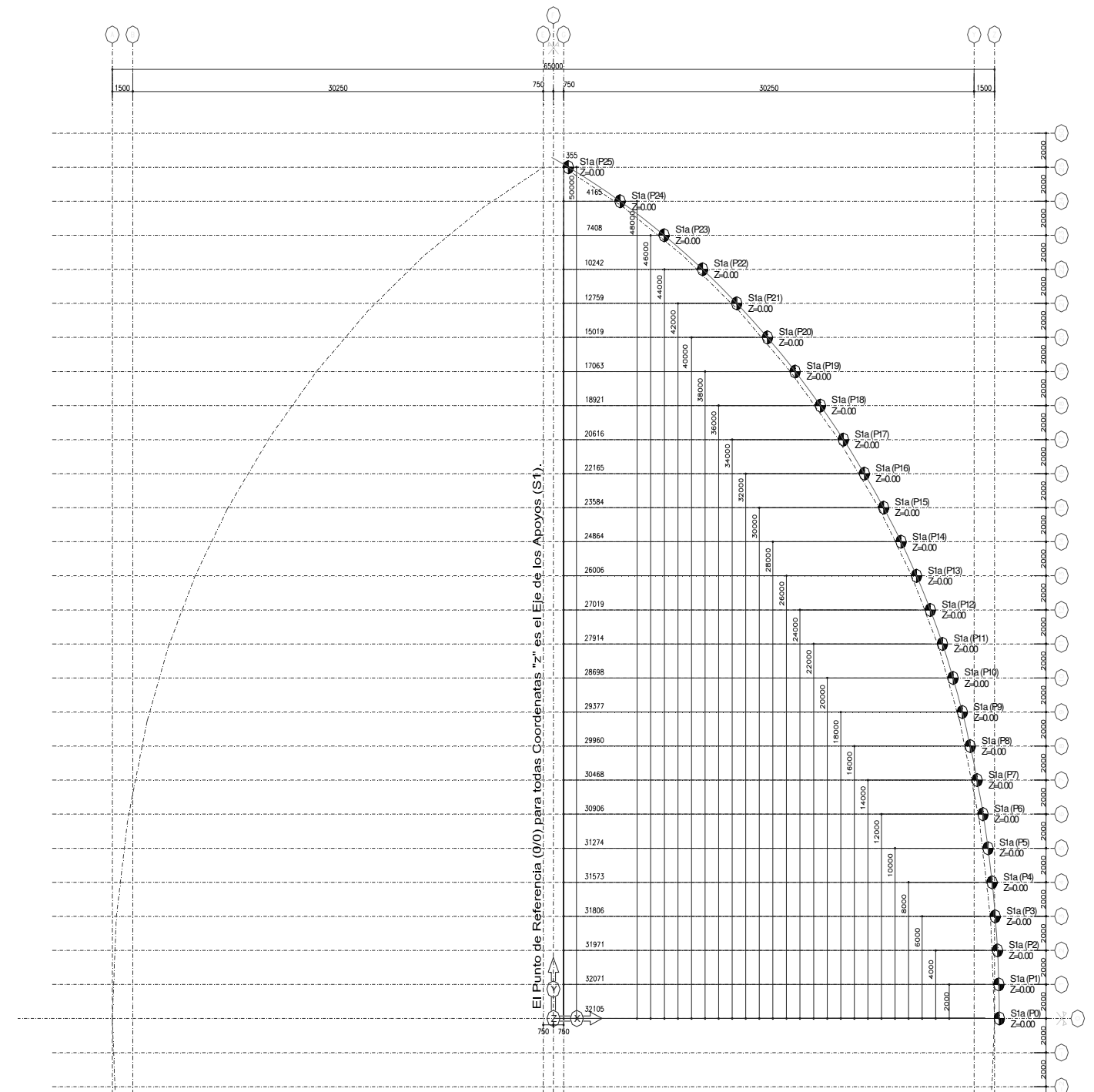
ANÁLISIS GEOMÉTRICO

La planta está formada por la intersección de dos círculos de radio de 62,5 metros de radio, dando como resultado una especie de elipse apuntada cuyo eje mayor mide aproximadamente 103 metros y el eje menor 60 metros.

Un juego de subsistemas diferentes fue adoptado para una mejor visualización de la estructura y sus resultados. La mayor parte de las mismas secciones están formadas por arcos funiculares.



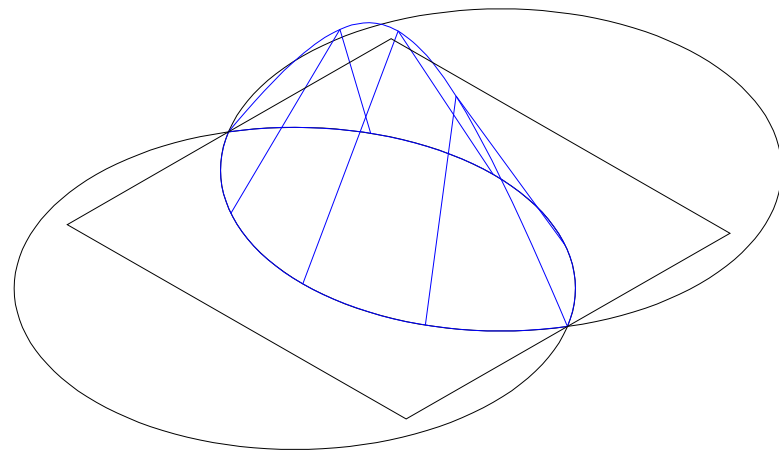
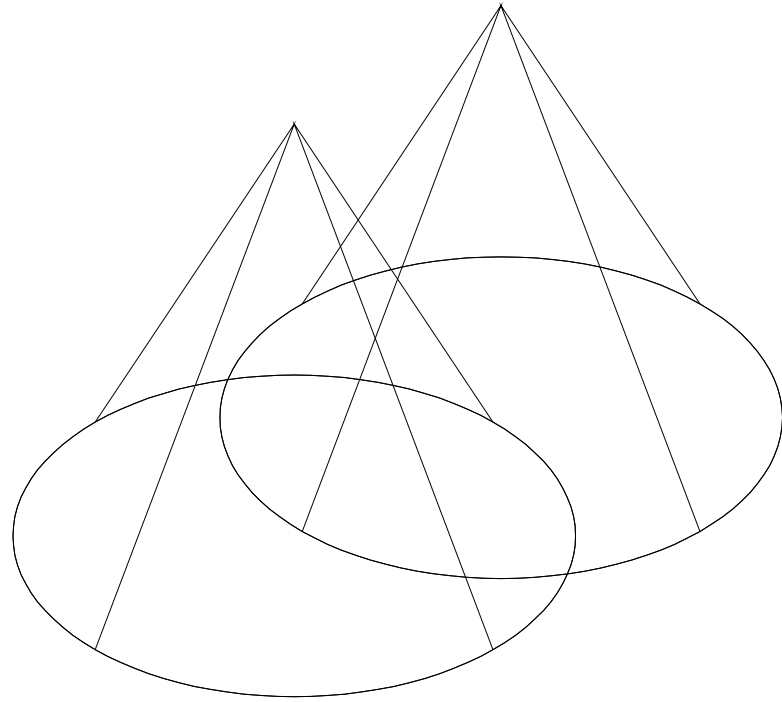
Obtención de la planta



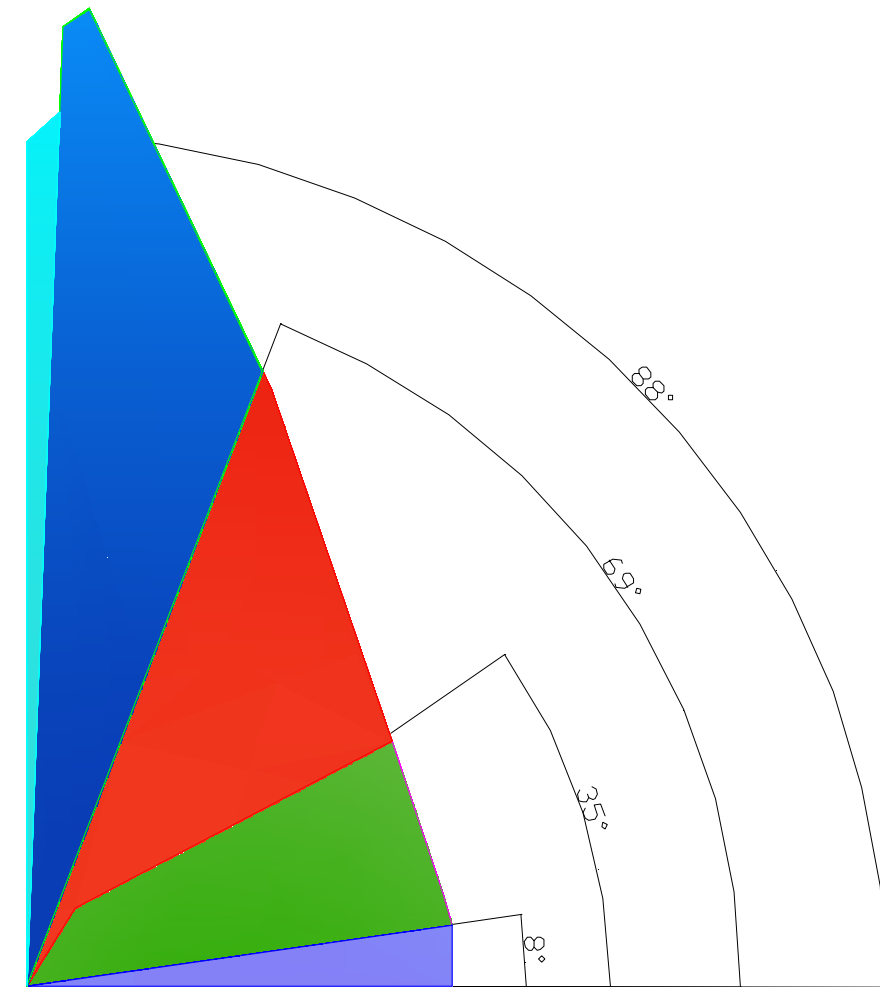
Acotación de la planta

De la intersección de dos conos creados a partir de los círculos con los que se ha obtenido la planta, conseguimos la forma exterior que cierra el Ágora.

Este sólido es cortado por numerosos planos que forman los arcos que perfilan y definen las diferentes secciones del edificio.



Simplificación del volumen del Ágora obtenida mediante la intersección de los conos



Ángulos de los planos que cortan el sólido del Ágora

Arcos

Hablamos de arcos, diseñados, con su eje coincidiendo con la línea de presiones, la cual está asociada a un estado de cargas, el eje de dicho arco coincidirá con el estado de carga correspondiente a los pesos propios, exclusivamente. Cualquier variación en las condiciones de carga modifica la forma del arco funicular y crea una nueva forma estructural ya que este ha de absorber a través de su rigidez la variación en la línea de presiones.

En los arcos esbeltos en acero y también en hormigón armado, como es nuestro caso, no podrán, estrictamente, ser considerados dentro de la familia, ya que aparece la flexión asociada a los diferentes estados de carga.

Las líneas de presiones, correspondiente a los diferentes estados de carga, dan una “medida del espacio” adecuada al diseño para esa situación concreta.

Se debe asegurar que el axil esté siempre poco apartado del centro de gravedad, de la sección, es decir que la excentricidad de la sollicitación axil, sea pequeña, de forma que todo el material esté siempre comprimido, evitando la aparición de tracción en las diferentes secciones.

Los arcos que arriostran los pórticos se desarrollan de manera continua entre los extremos Norte y Sur del edificio, con una distancia de unos 100 m entre ambos extremos de apoyo. Se trata de grandes cajones de forma triangular y trapezoidal en el caso de 4 de ellos (de dimensiones aproximadas 1.5x1.5 m y 2.2x1.75 m respectivamente), y un tubo de diámetro 508 mm en el caso de los otros 2 arcos. Los 3 arcos de cada lado se unen en la base mediante una singular intersección (arranque de arcos), que apoya sobre una rótula esférica

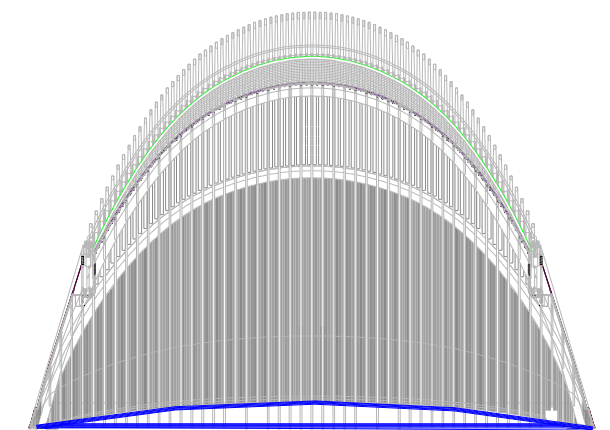
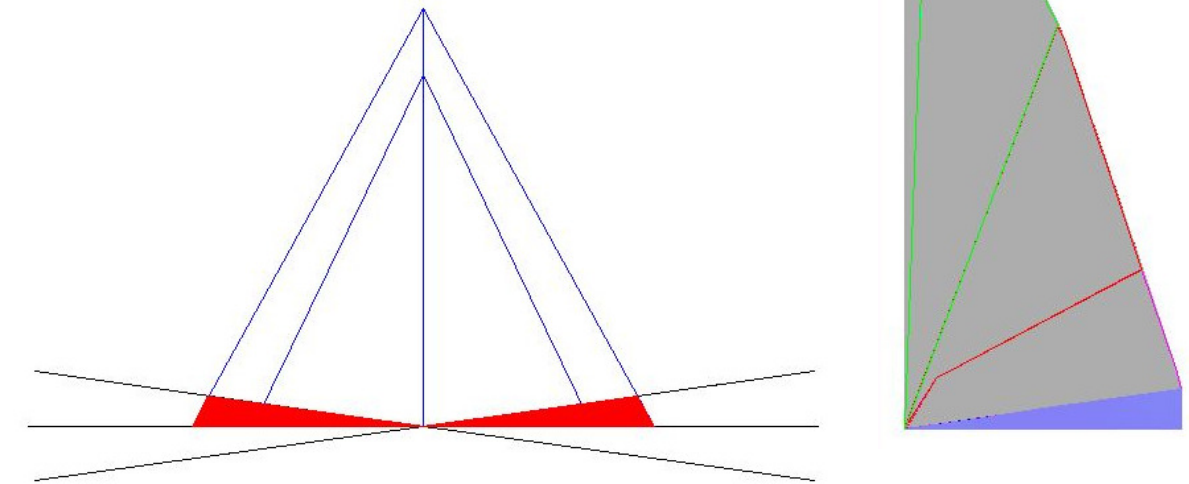
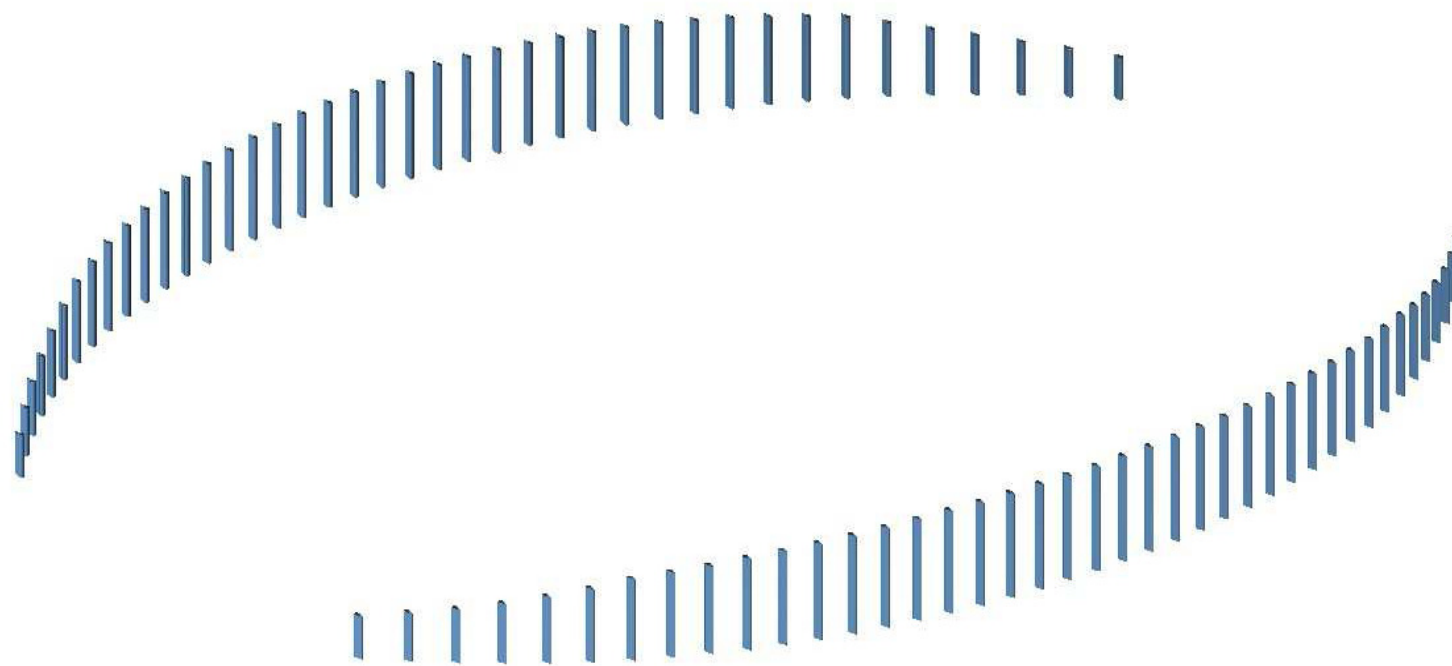


ZONA INFERIOR

Columnas

Son columnas de acero situadas en la base del Ágora siguiendo la forma de su perímetro, y unidas superiormente al inicio de las costillas laterales.

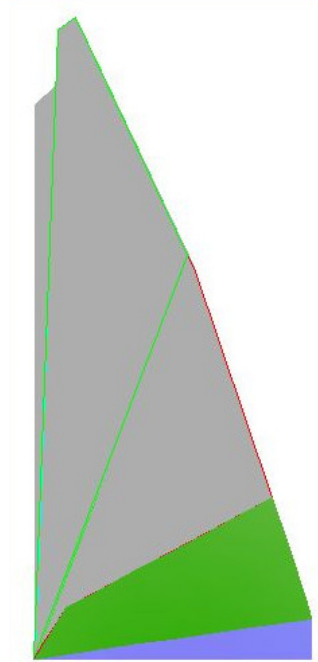
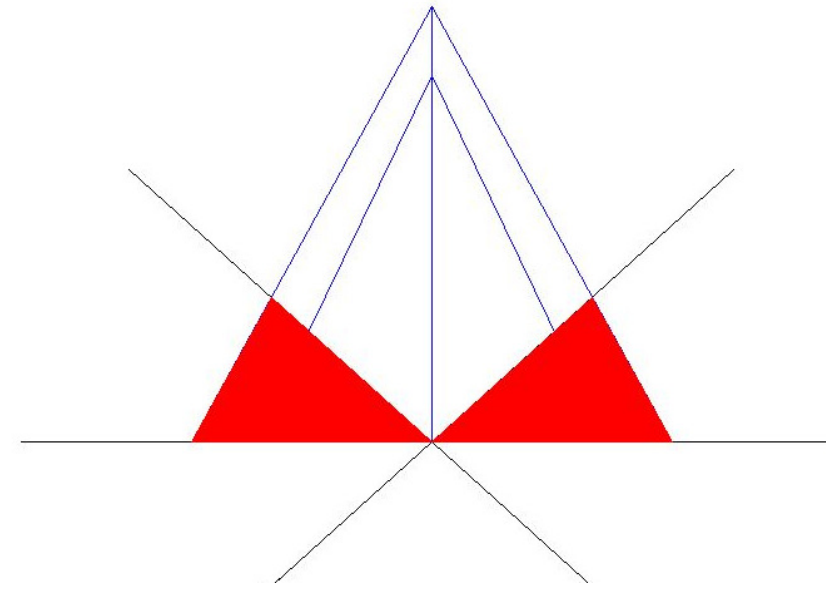
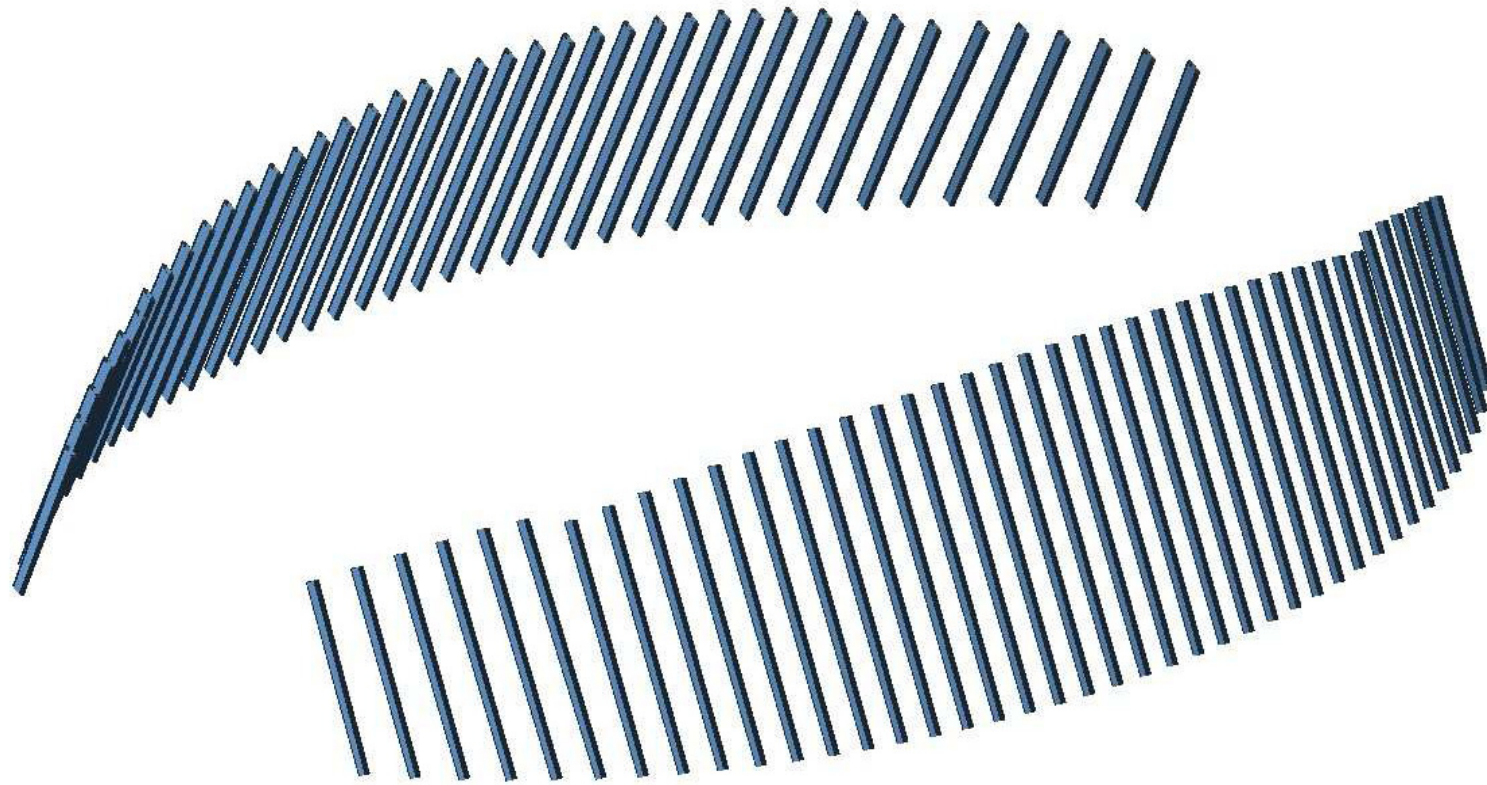
Son las encargadas de transmitir todos los esfuerzos a las rótulas de la base, así como de dar la forma a toda la parte inferior, en la cual están situadas las entradas al edificio. Su forma proviene de la intersección de un plano inclinado con los cilindros obtenidos con los círculos de la base.



ZONA LATERAL INFERIOR

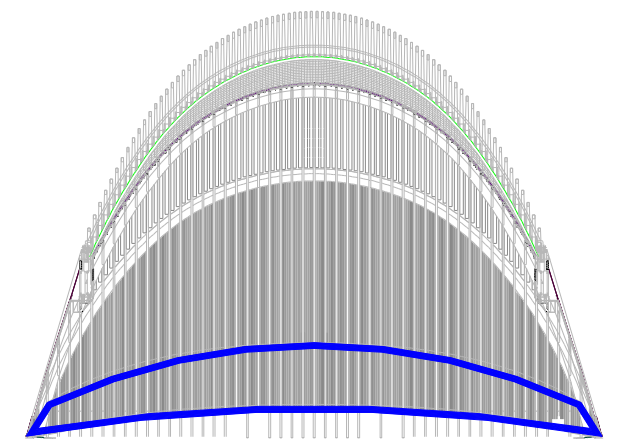
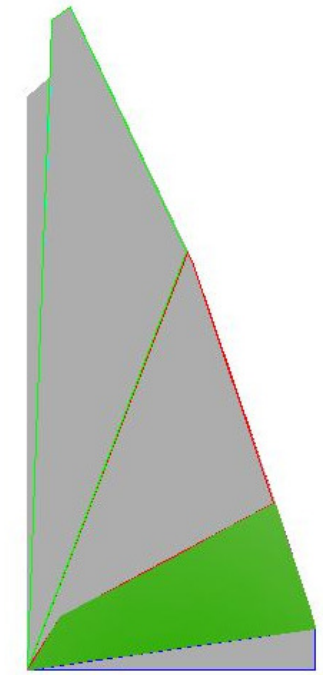
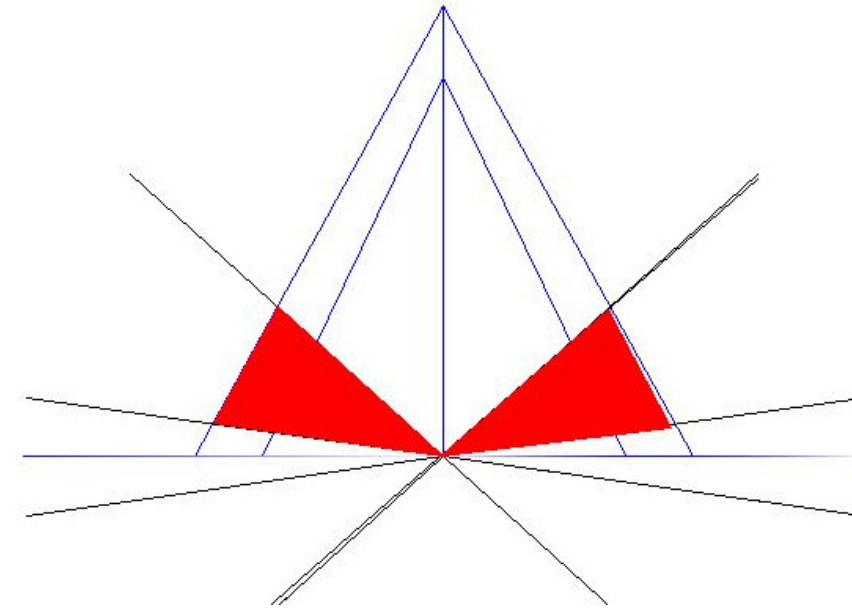
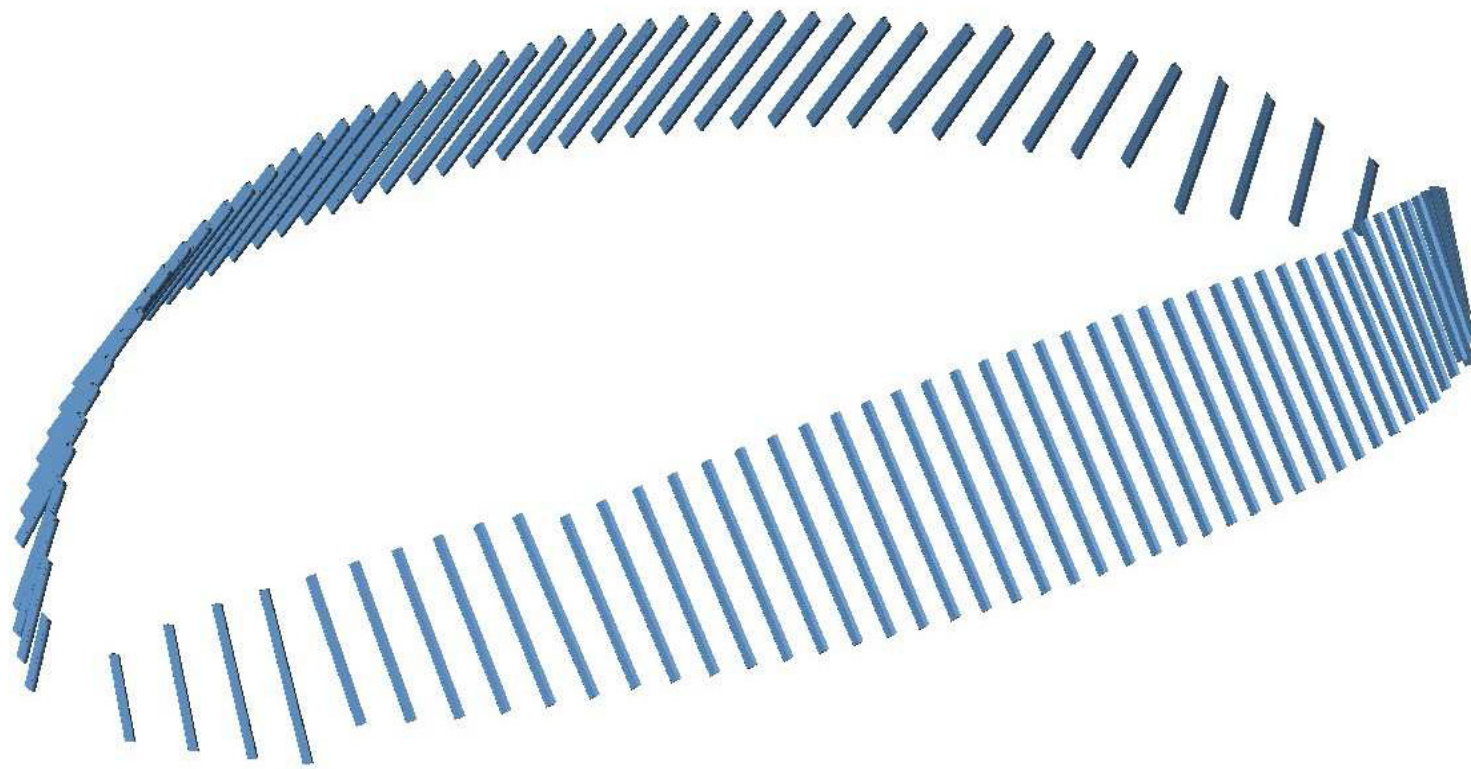
Barras parte baja interior

Unen interiormente las bases de las columnas de la parte inferior con las piezas que conforman la parte media. Son piezas metálicas que conforman el triángulo inferior.



Bajo "vientos" inclinados

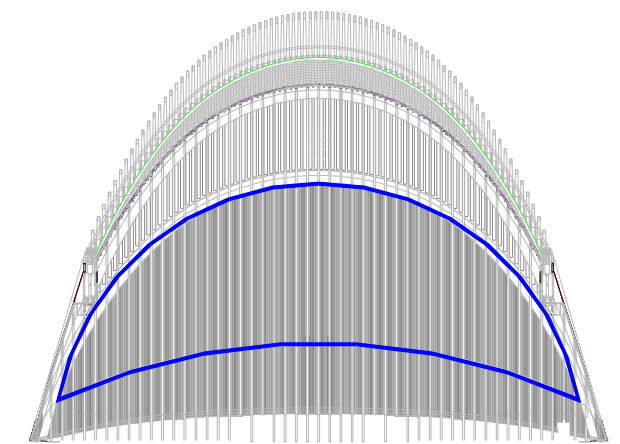
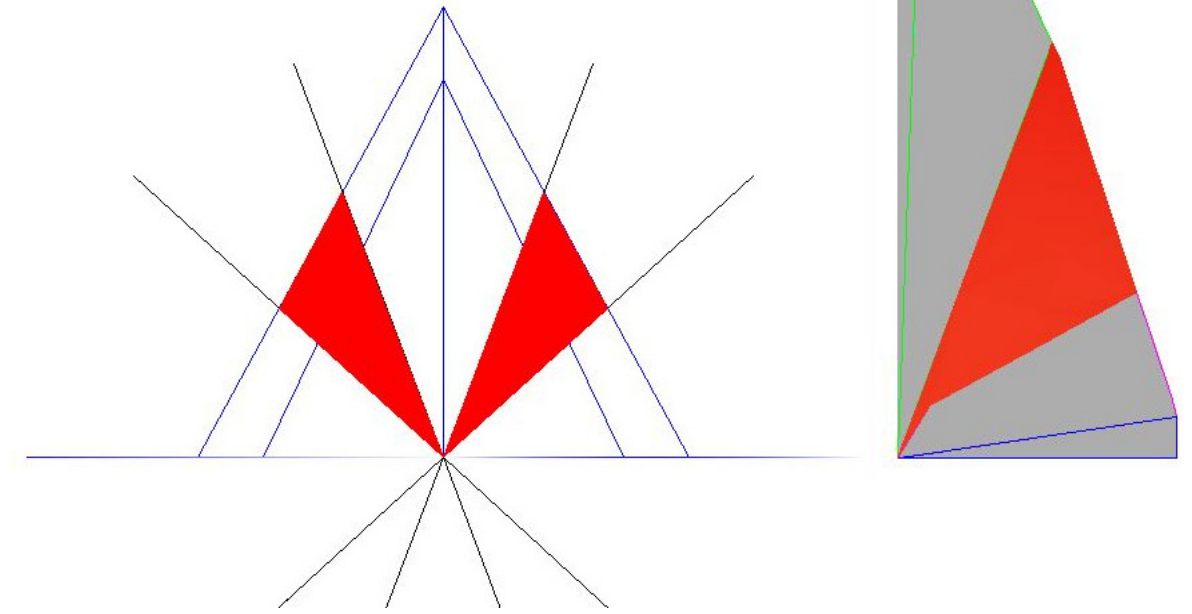
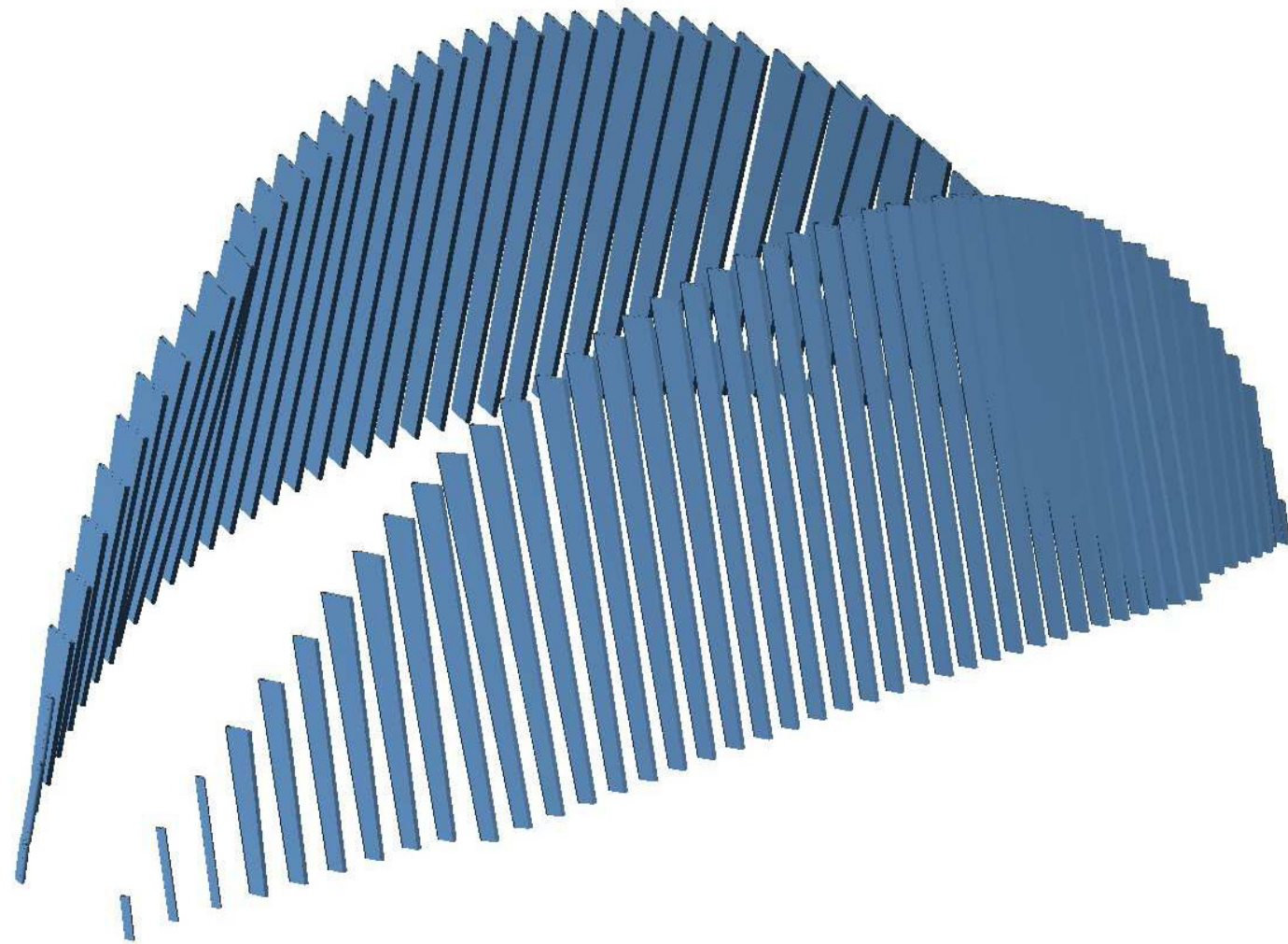
Barras metálicas que sirven para contrarrestar los esfuerzos horizontales que realiza el viento en el edificio y transmitirlos a las columnas. Están situadas en la parte exterior de la estructura.



ZONA LATERAL MEDIA

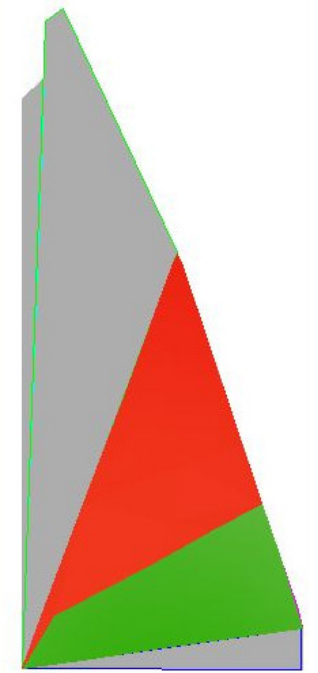
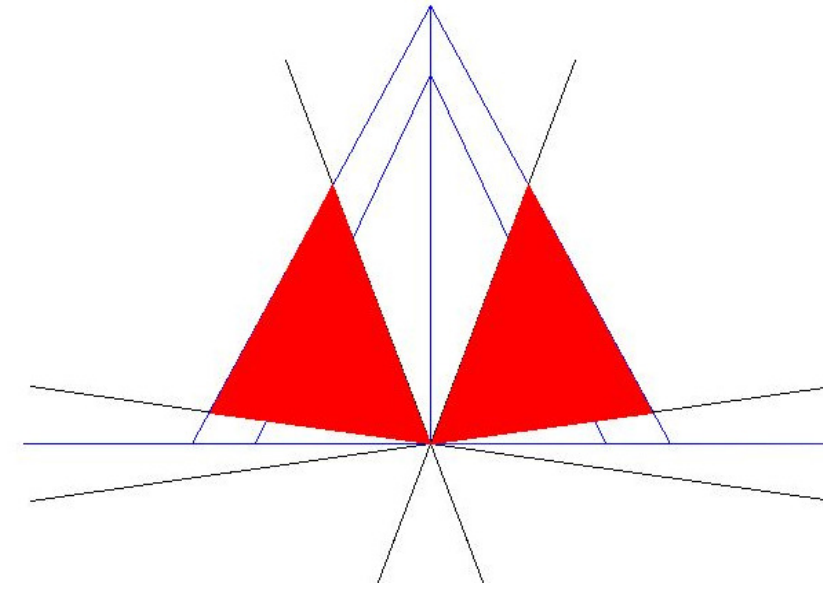
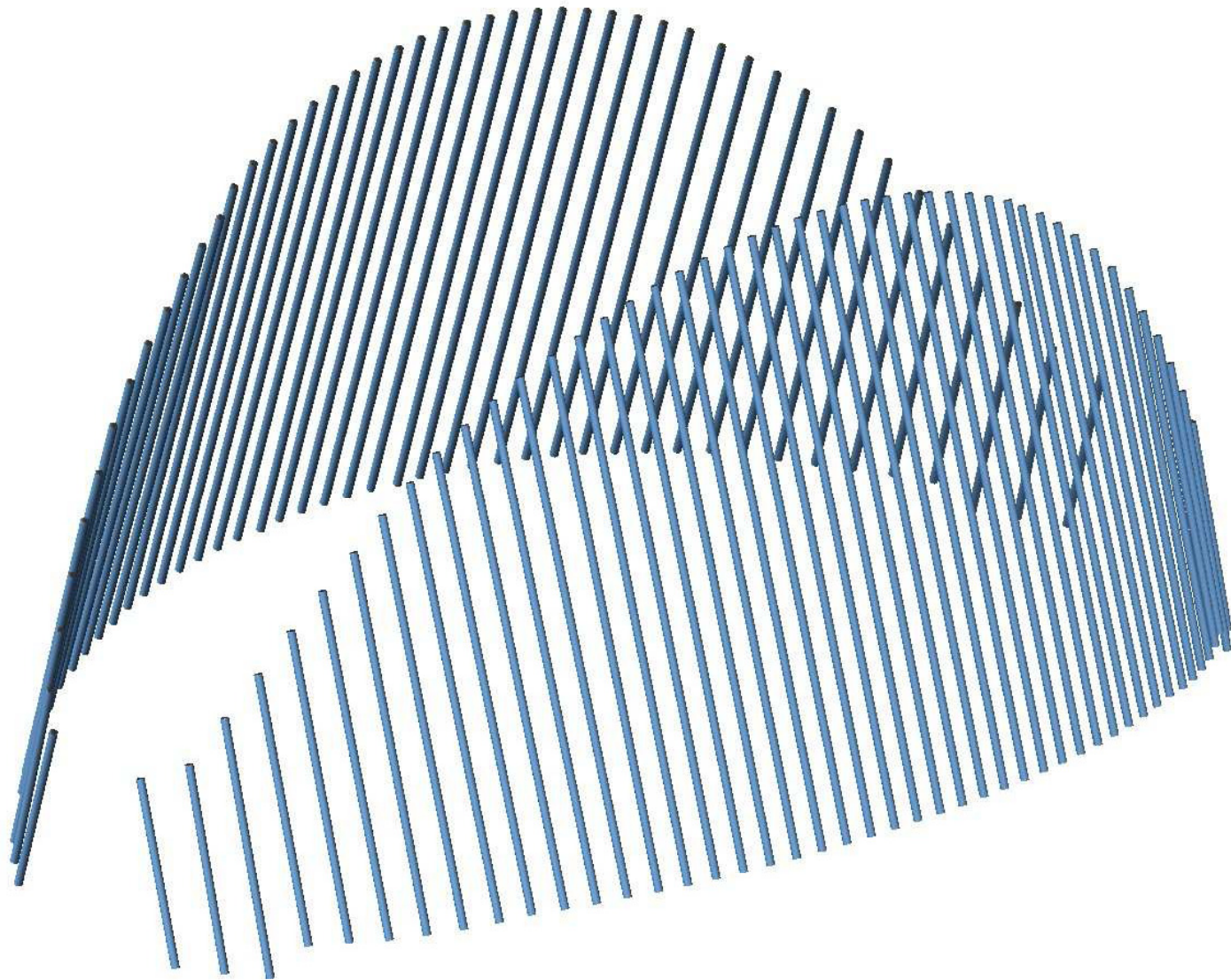
“Vientos” medios

Placas metálicas que cierran exteriormente la parte media y dan la forma exterior a la estructura.



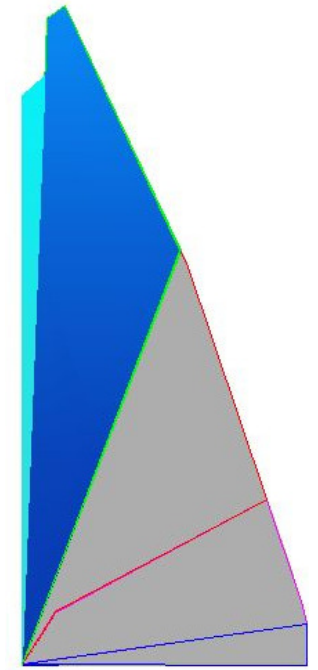
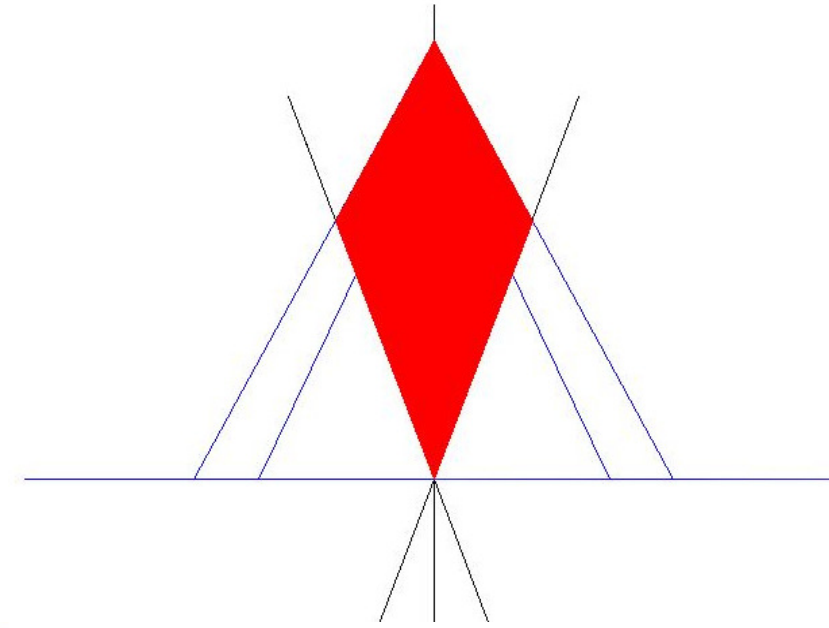
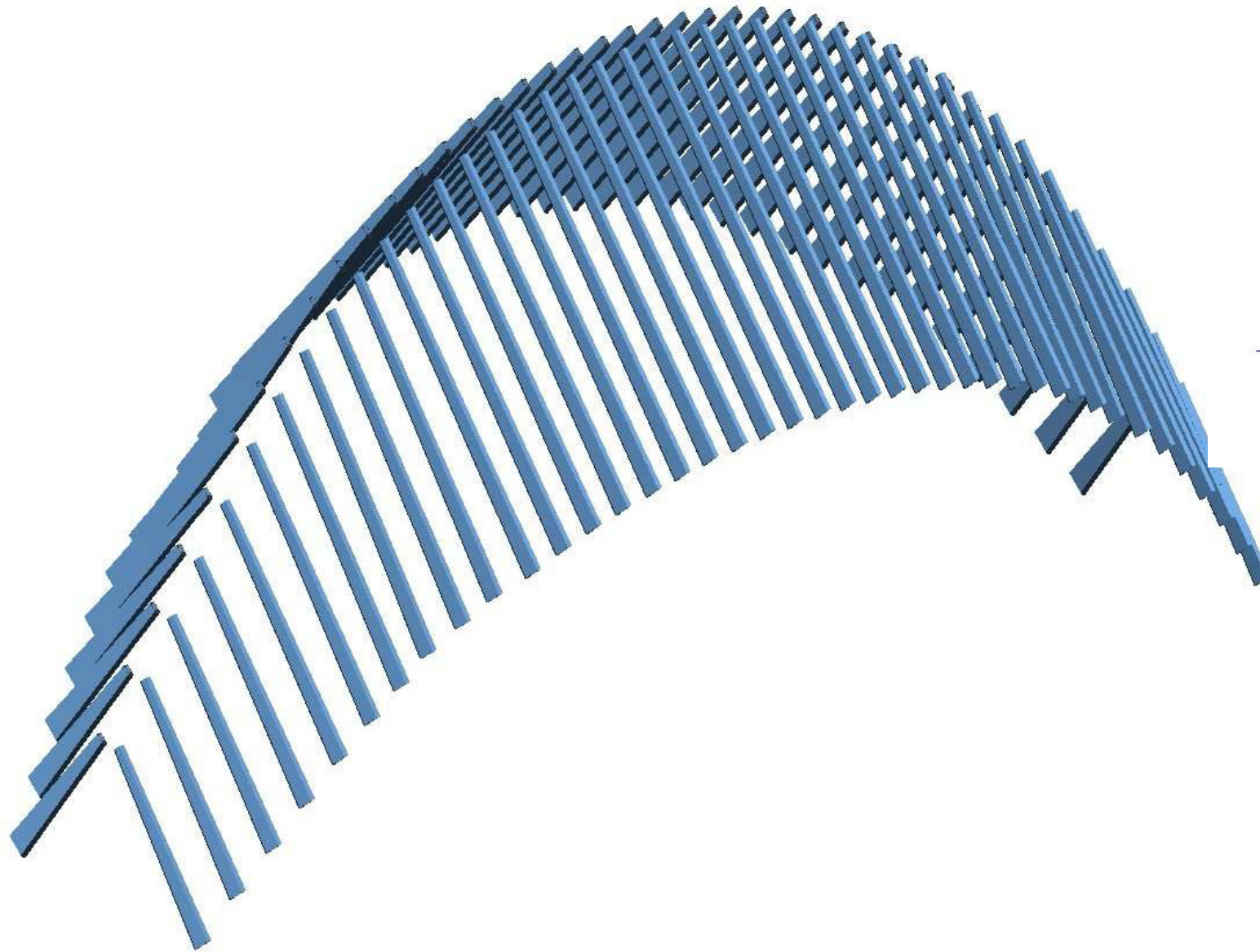
Sección tubular hueca

Barras metálicas tubulares huecas con la función de atirantar la parte media y verticalizar los esfuerzos del arco lateral. También son llamadas tornapuntas.



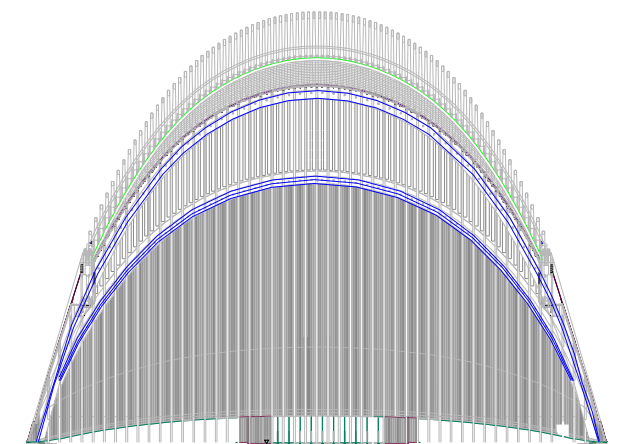
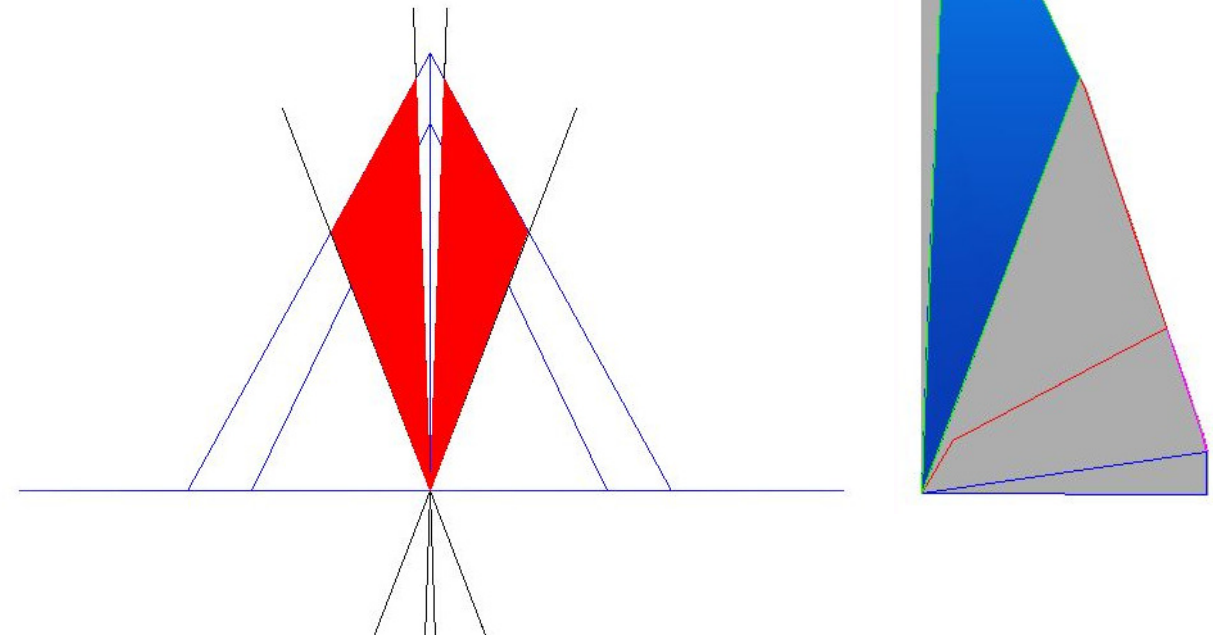
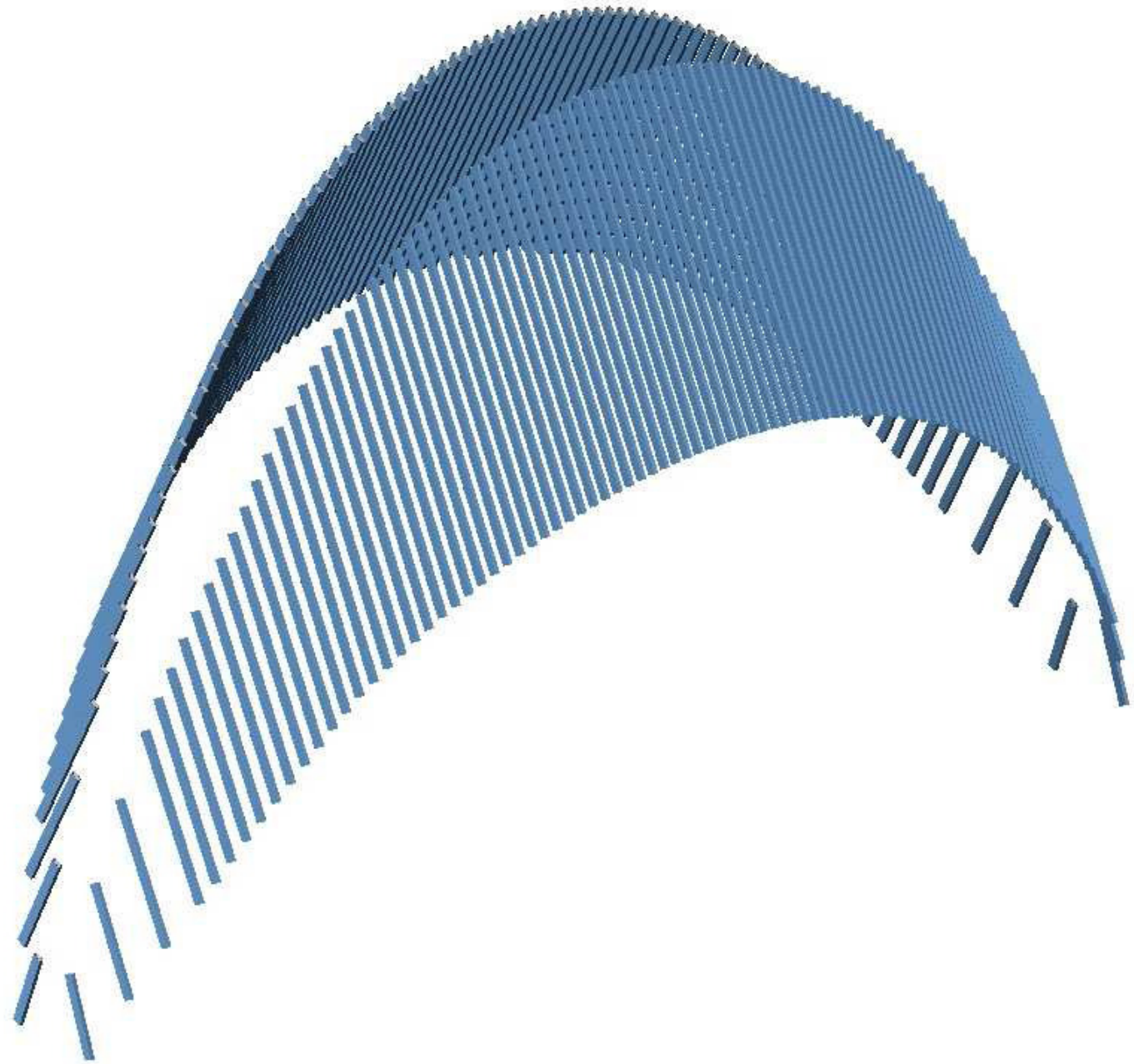
Parte superior interior

Van desde la parte superior de la zona media hasta la rótula central de la estructura.
Son piezas metálicas que van unidas mediante soldadura a las otras de la parte superior.



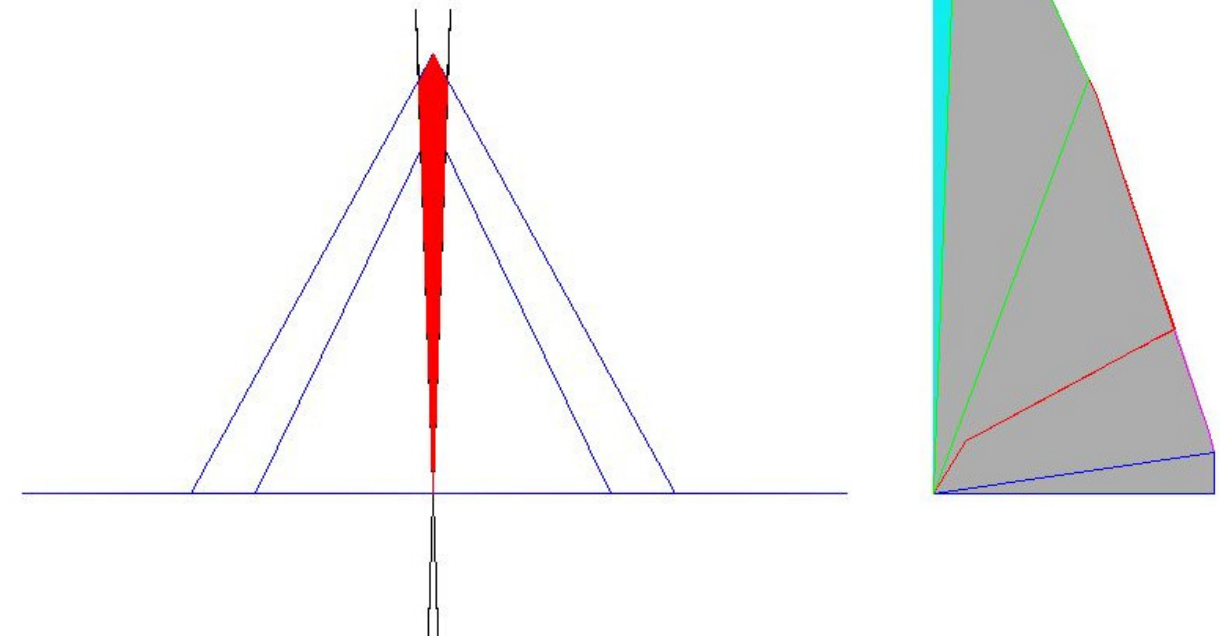
Ala superior

Piezas metálicas que cubren la zona que llega hasta el arco superior y que sustentan el recubrimiento.



Virendeel entre arcos 1 y 3

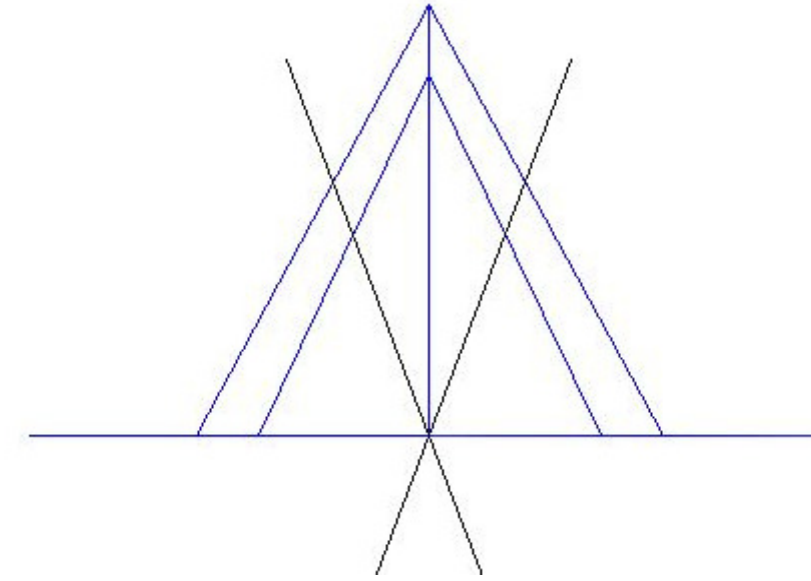
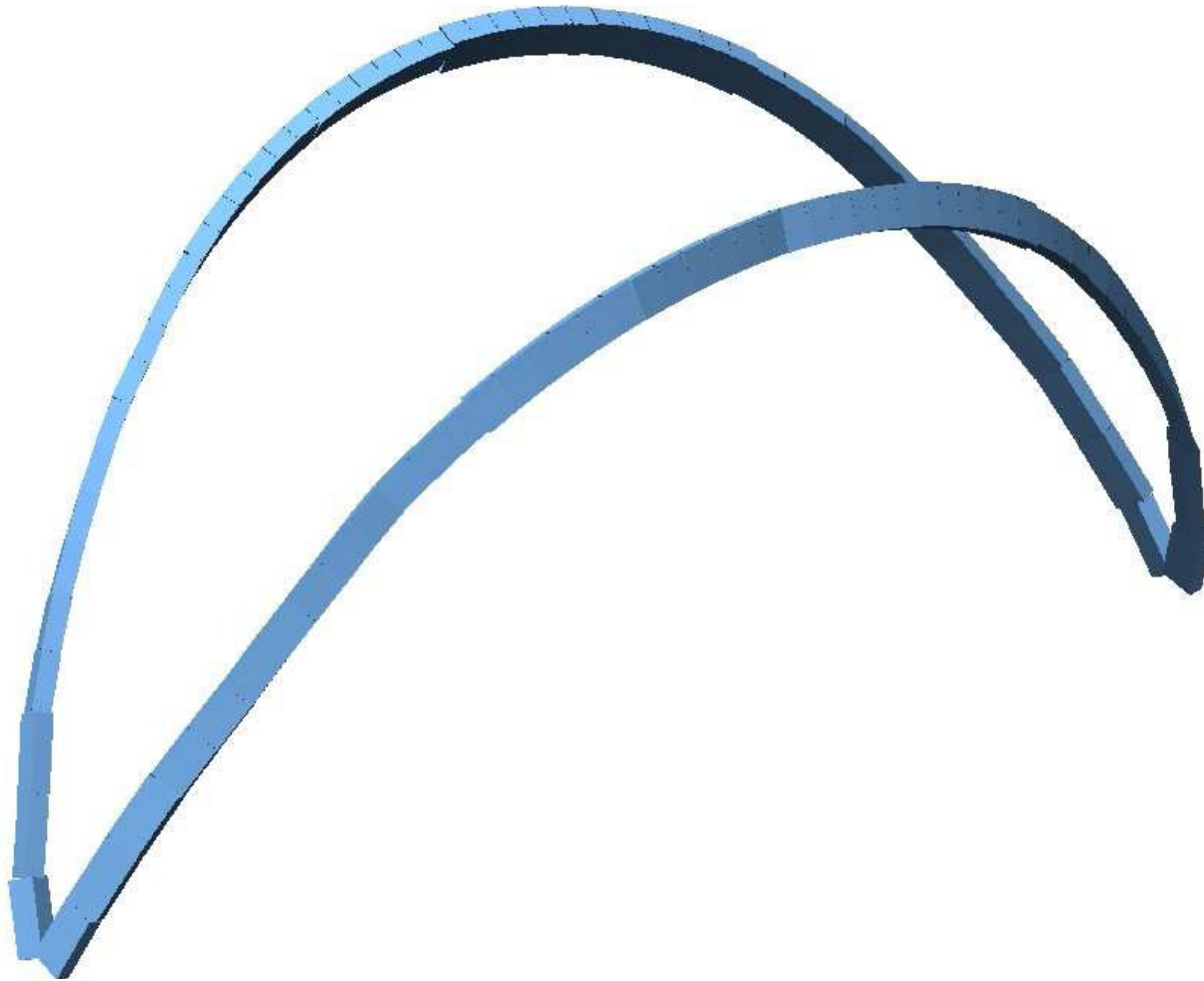
Es una estructura metálica la cual aparece en el espacio vacío entre los arcos centrales y los arcos superiores formada por barras metálicas soldadas.



Arcos Exteriores

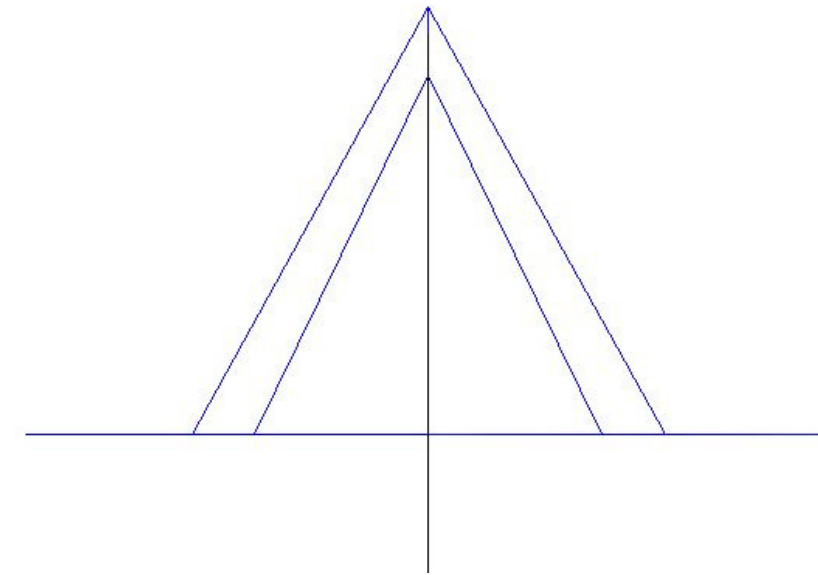
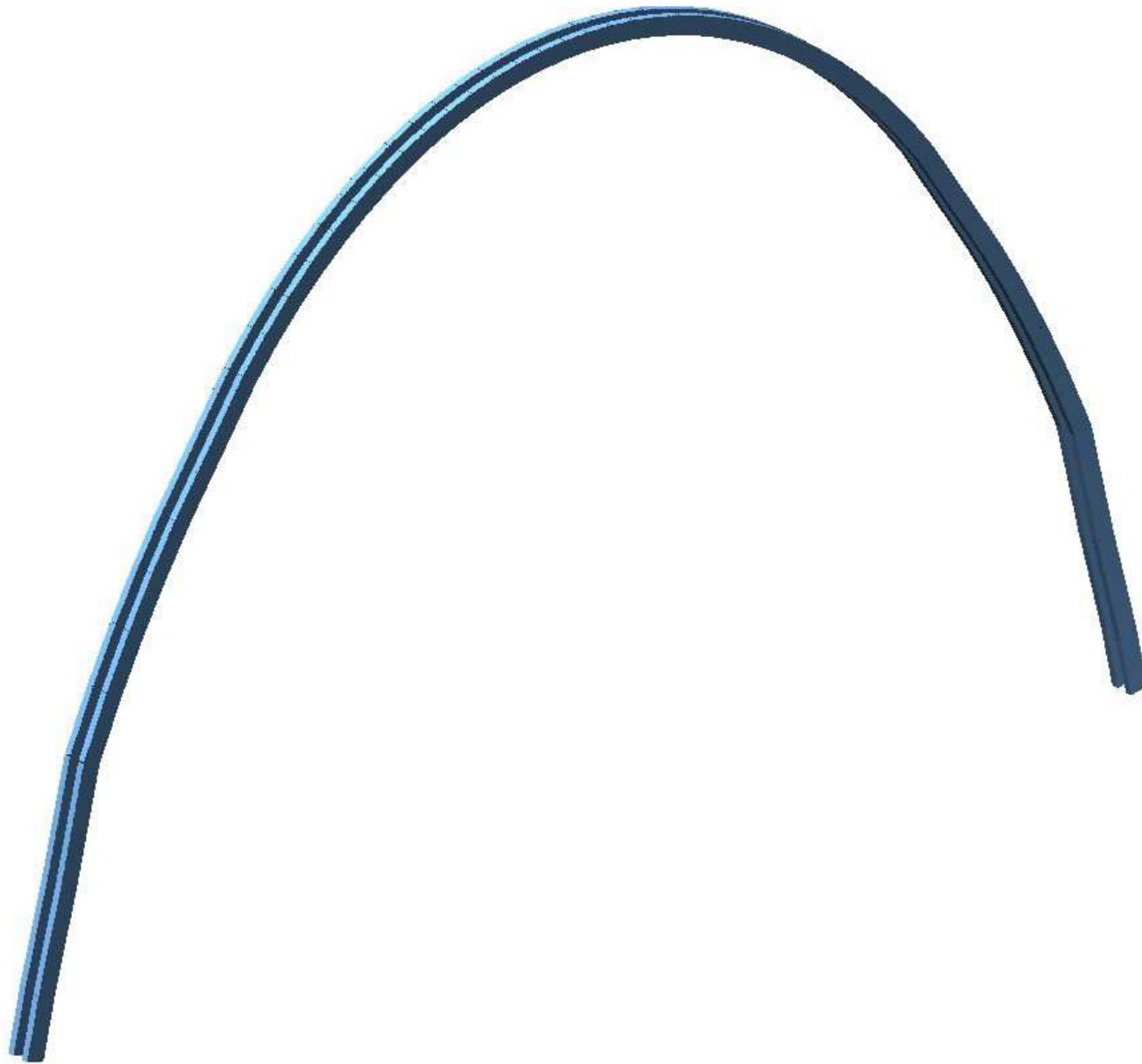
Son arcos parabólicos prefabricados, unidos mediante soldadura y que se unen en unas piezas singulares obtenidas mediante la intersección de los dos arcos, situadas en los extremos del Ágora. Se obtienen mediante la intersección del cuerpo sólido del Ágora con un plano con una inclinación de 35° .

En su punto medio alcanzan una altura con respecto a la base de 50m.



Arcos centrales

Son arcos funiculares q unen los dos extremos del eje mayor de la base. Se obtienen mediante la intersección de un plano con el cuerpo sólido del Ágora formando un ángulo de 90° con la horizontal. Parten desde la base y en su punto medio alcanzan una altura de 62 metros.

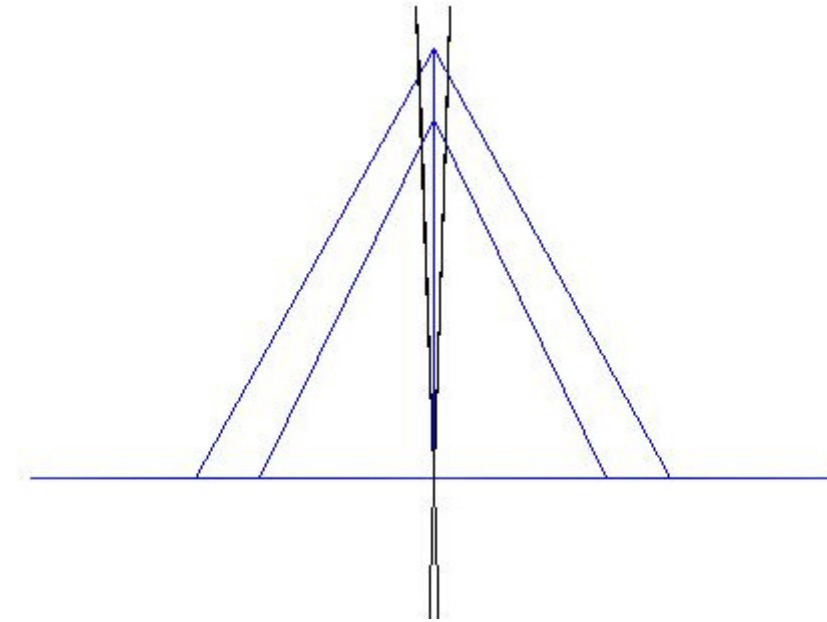
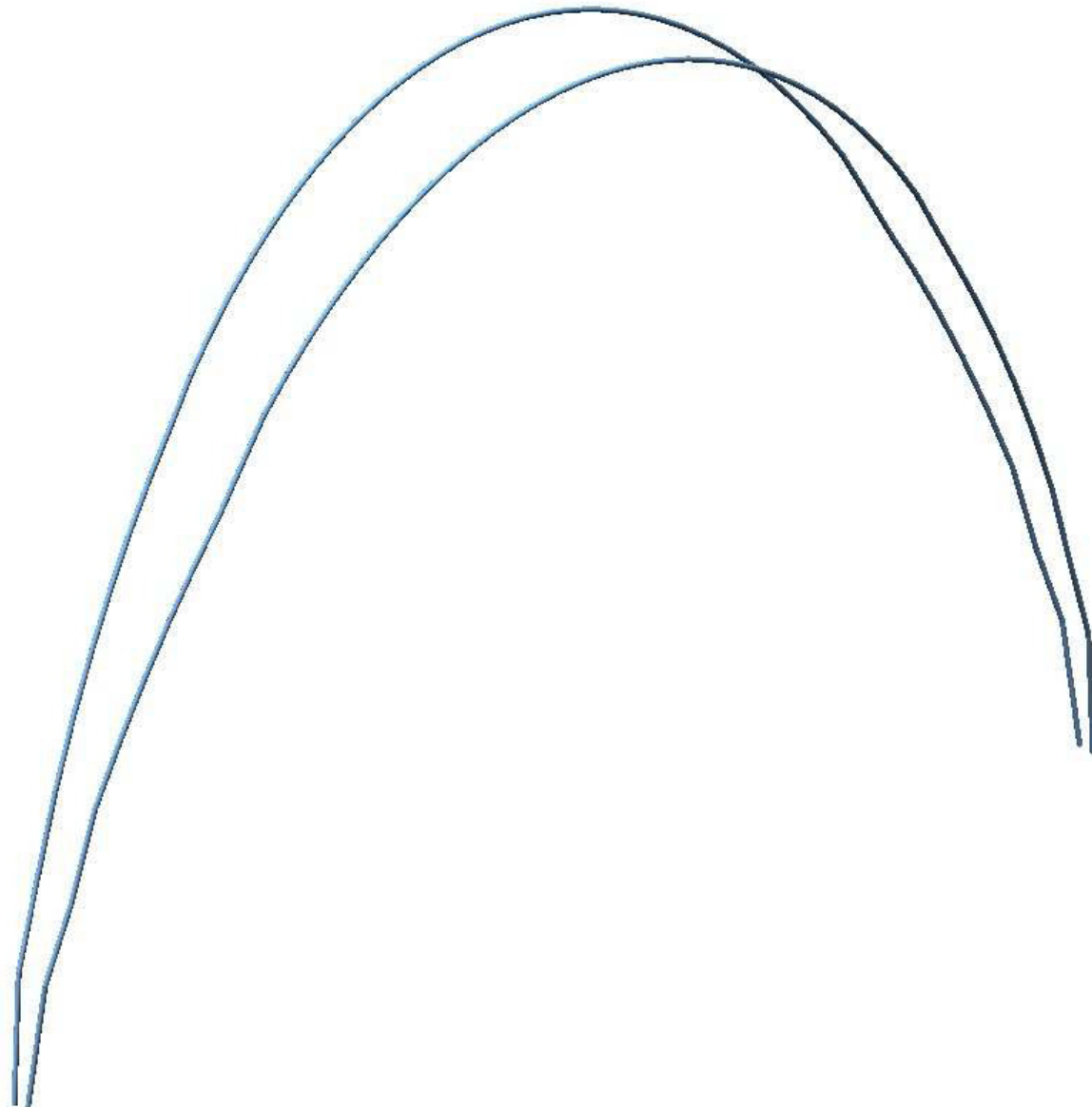


Es un arco tubular que además de desempeñar una función de atado de los pórticos, sirve de apoyo de las rótulas de giro de cada una de las lamas de la cubierta móvil.

Arcos superiores

Son arcos parabólicos que parten de los amortiguadores situados a ambos lados del Ágora. Son los responsables de que se puedan mover las alas. Se obtienen mediante la intersección del sólido del Ágora y un plano que forma un ángulo de 88° con la horizontal.

En su punto medio alcanzan una altura con respecto a la base de 70 m.



4. ESTRUCTURA



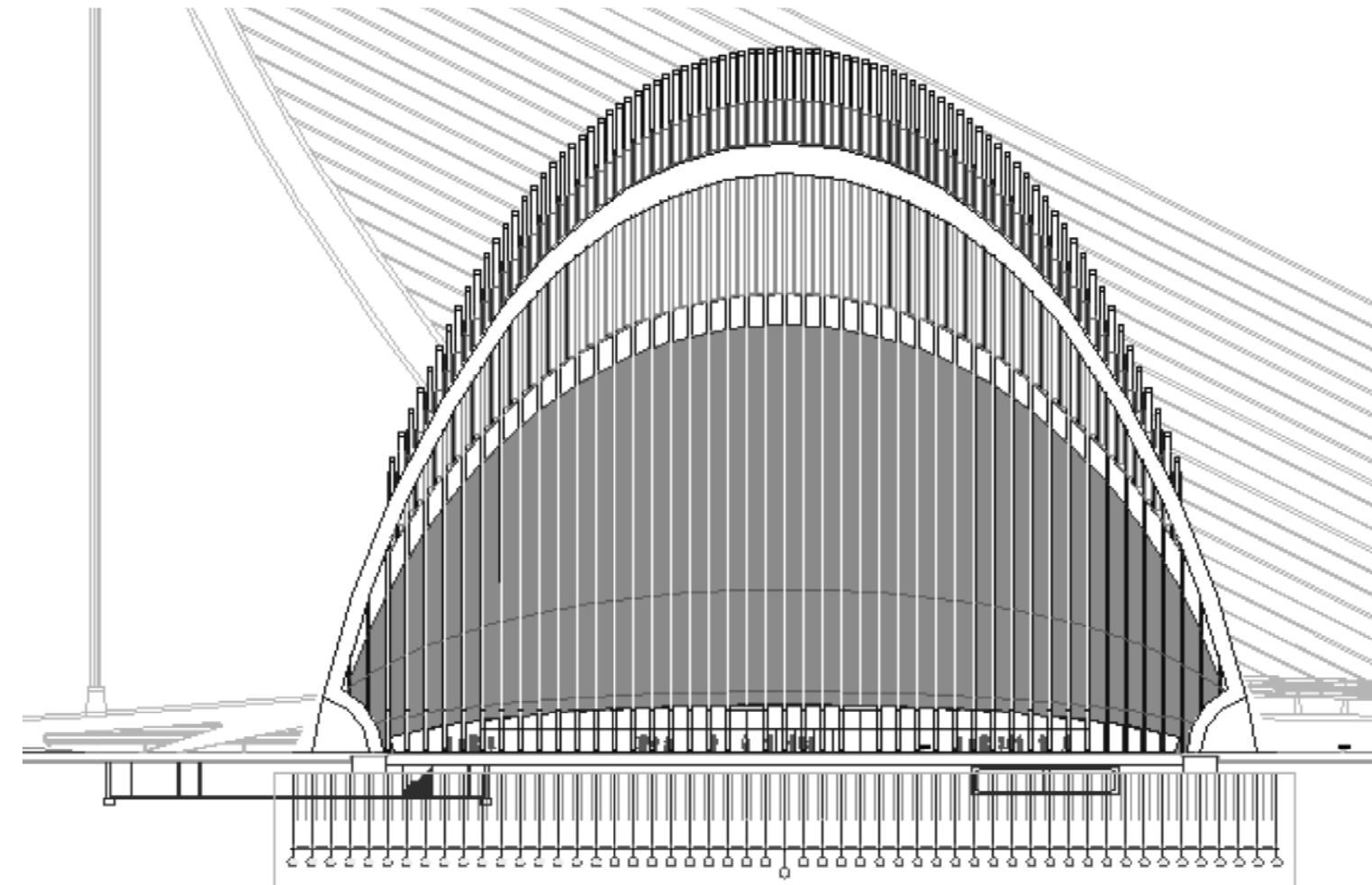
INTRODUCCIÓN

El Ágora es básicamente una gran cubierta metálica de planta similar a una elipse apuntada de unos 88 m. de largo por 66 m. de anchura. El área cubierta es aproximadamente de unos 4.811 m². El gran espacio interior creado se concibe como una planta diáfana a nivel de los estanques y paseos adyacentes (cota de proyecto - 5.90). En su zona sur se dispone un edificio complementario para servicios y zonas técnicas que se sitúa en un nivel inferior, a la cota de proyecto -10.95. La cubierta fija alcanza una altura máxima de unos 70 metros sobre rasante.

Probablemente, el elemento distintivo de la cubierta es la pareja de parasoles (brisesoleil) móviles que se sitúan a ambos lados de la cubierta sobre la superficie acristalada.

Cada brise-soleil consiste en un conjunto de lamas de longitud variable que se unen, mediante una rótula, a la parte superior de la cubierta y con otra rótula a un arco móvil. Mediante unos pistones hidráulicos situados en una posición suficientemente rígida de la cubierta se consigue inducir en el arco móvil un movimiento circular que provoca el giro de cada lama, y por tanto permite abrir o cerrar el parasol. Las lamas serán de sección en cajón trapezoidal con cantos máximos en el eje articulado.

En el nivel inferior se construye una planta bajo rasante situada en la parte sur del Ágora de unos 1800 m². A los niveles inferiores se accede mediante una pareja de escaleras y un ascensor. Las salas tendrán una losa de cimentación, muros perimetrales e interiores de hormigón armado.



ado Oeste. Brise-soleil cerrado

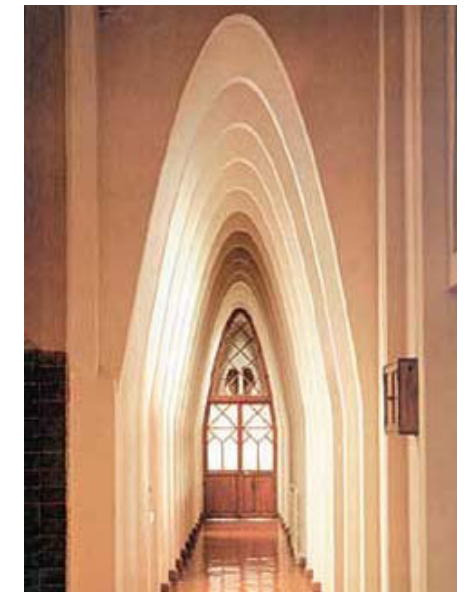
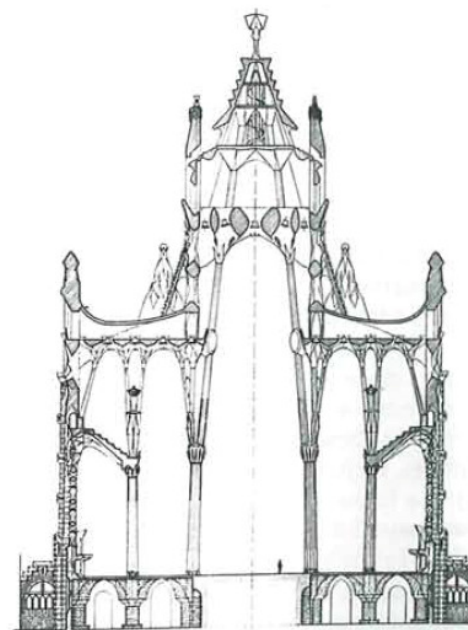
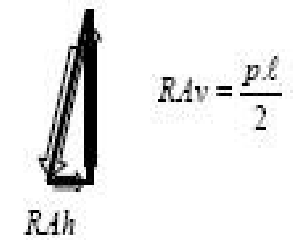
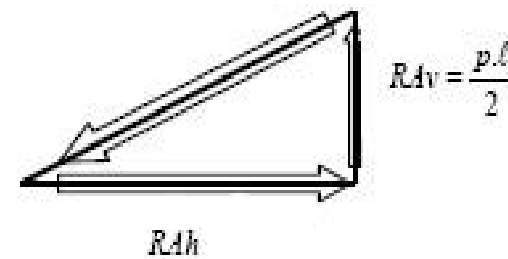
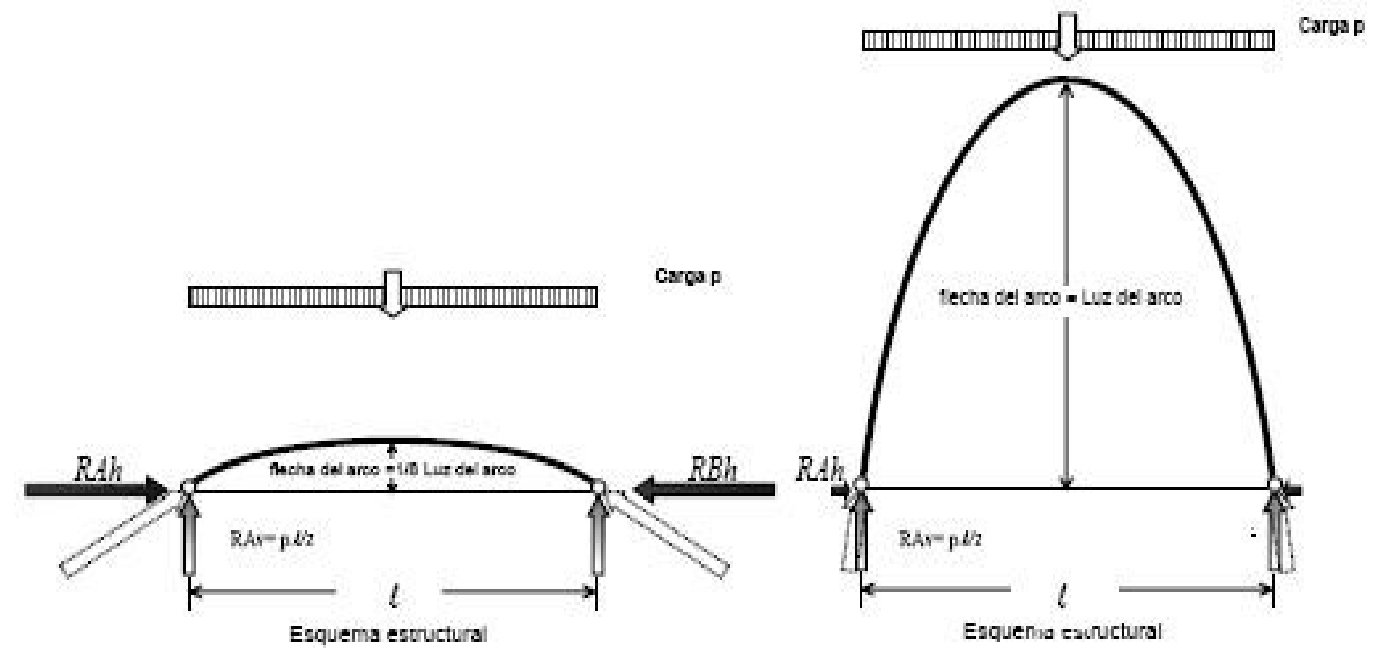
Los arcos funiculares

Los arcos funiculares están compuestos de tal manera que cuando están sometidos a una carga dada, sólo se desarrollan compresiones axiales; su forma variará si la carga vertical que soporta está distribuida uniformemente a lo largo del eje del arco, generando una catenaria invertida, o está distribuida según su proyección horizontal, dando como resultado una parábola.

Debido a que sólo están sometidos a sollicitaciones de compresión o tracción simples permiten cubrir grandes luces y configurar grandes espacios, empleando la mínima cantidad de material posible.

Los arcos generan fuerzas horizontales que se deben absorber en los apoyos mediante contrafuertes o tensores, de ahí la colocación de las piezas tubulares situadas tanto en la parte baja, llamadas tornapuntas, para contrarrestar los esfuerzos de los diversos arcos.

El valor del empuje horizontal es inversamente proporcional a su altura, para reducir el empuje horizontal en los apoyos el arco debería ser lo más alto posible. El valor del esfuerzo al que está sometido el arco aumenta, a mayor altura mayor compresión.



ESTRUCTURA FIJA DEL ÁGORA

1 Carga de Diseño

1.1 Peso propio

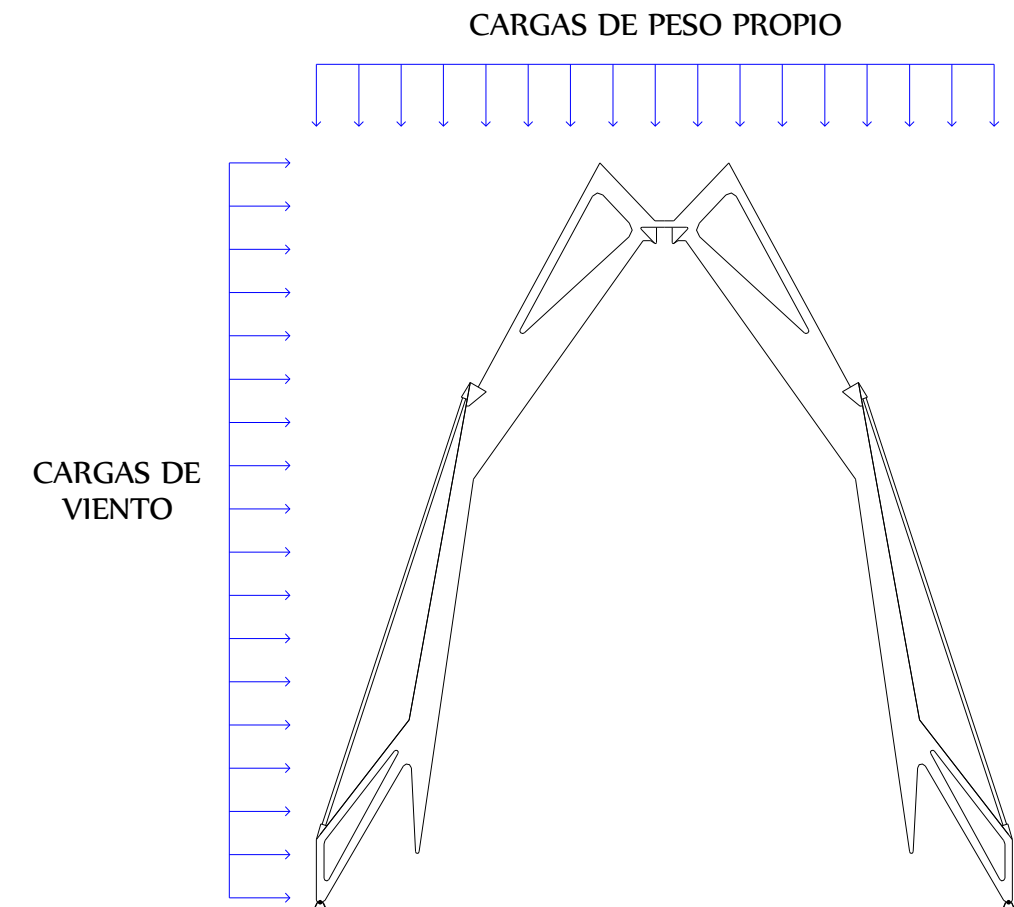
Cargas muertas son calculadas basadas en los pesos siguientes específicos:

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO (kN/m ³)
Hormigón armado	25.0
Acero estructural	78.5
Agua	10.0
Cristal	25.0
Suelo	18.0

1.2 Carga muerta

Revestimiento:

Esto corresponde a una combinación de cristal y paneles de emparedado de madera.



Los pesos considerados son:

Cristal:

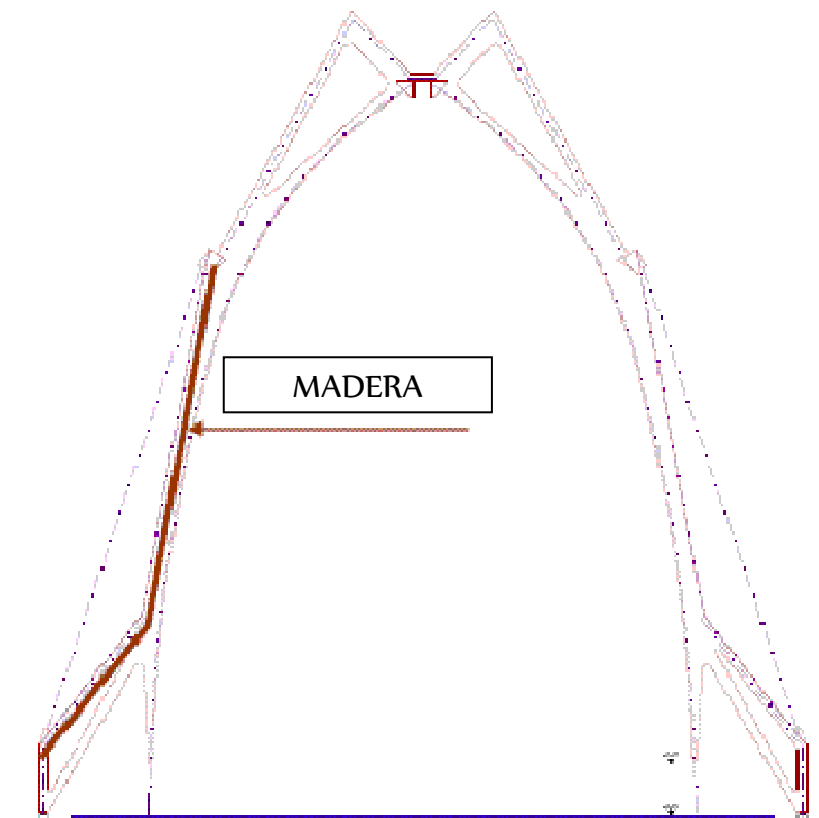
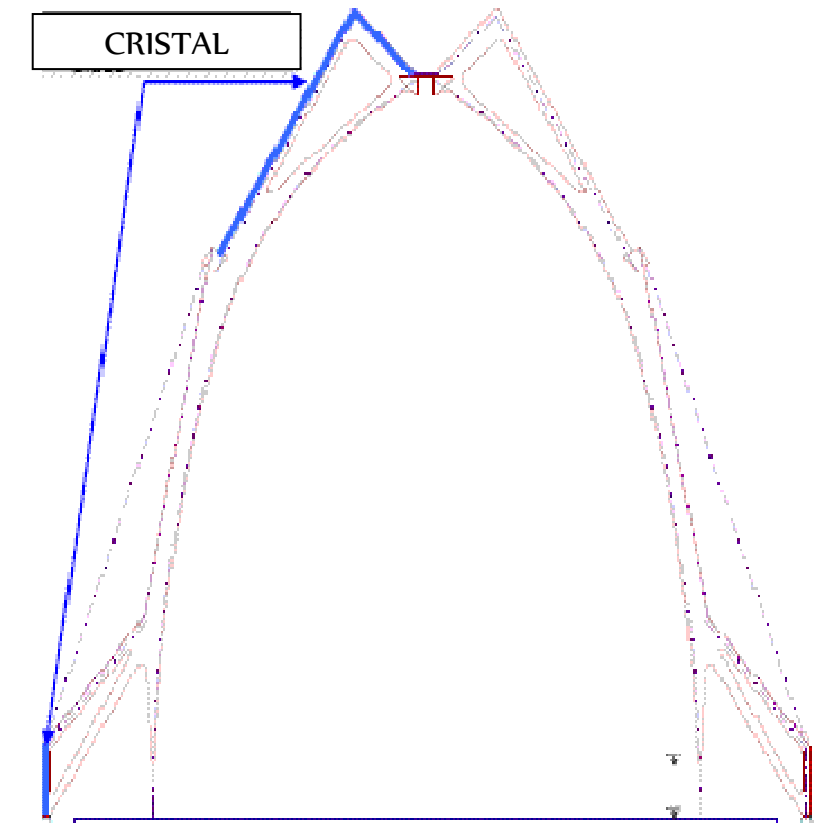
La estructura de cristal está formada por tres paneles, el exterior tiene un espesor de 10mm mientras que los dos interiores son de 6mm de grosor. Por lo tanto ha sido considerado el peso siguiente:

$$\text{Cristal } q_k = (2 \times 0.006 \text{m} + 1 \times 0.01 \text{m}) \times 25 \text{kN/m}^3 = 0.55 \text{kN/m}^2 = 0. \text{kN/m}$$

MATERIAL	Qk (kN/m ²)	Qk (kN/ml)
Cristal	0,55	
Subestructura	0.10	
TOTAL	0.65	

Emparedado de madera:

MATERIAL	Qk (kN/m ²)	Qk (kN/ml)
Madera	0.20	
Aislamiento (12cm)	0.14	
IPE 300 (@2m)	0.22	
Plato de acero (8mm)	0.63	
PE estera	0.06	
Mortero (16mm)	0.40	
Trencadis (10mm)	0.20	
TOTAL	1.85	



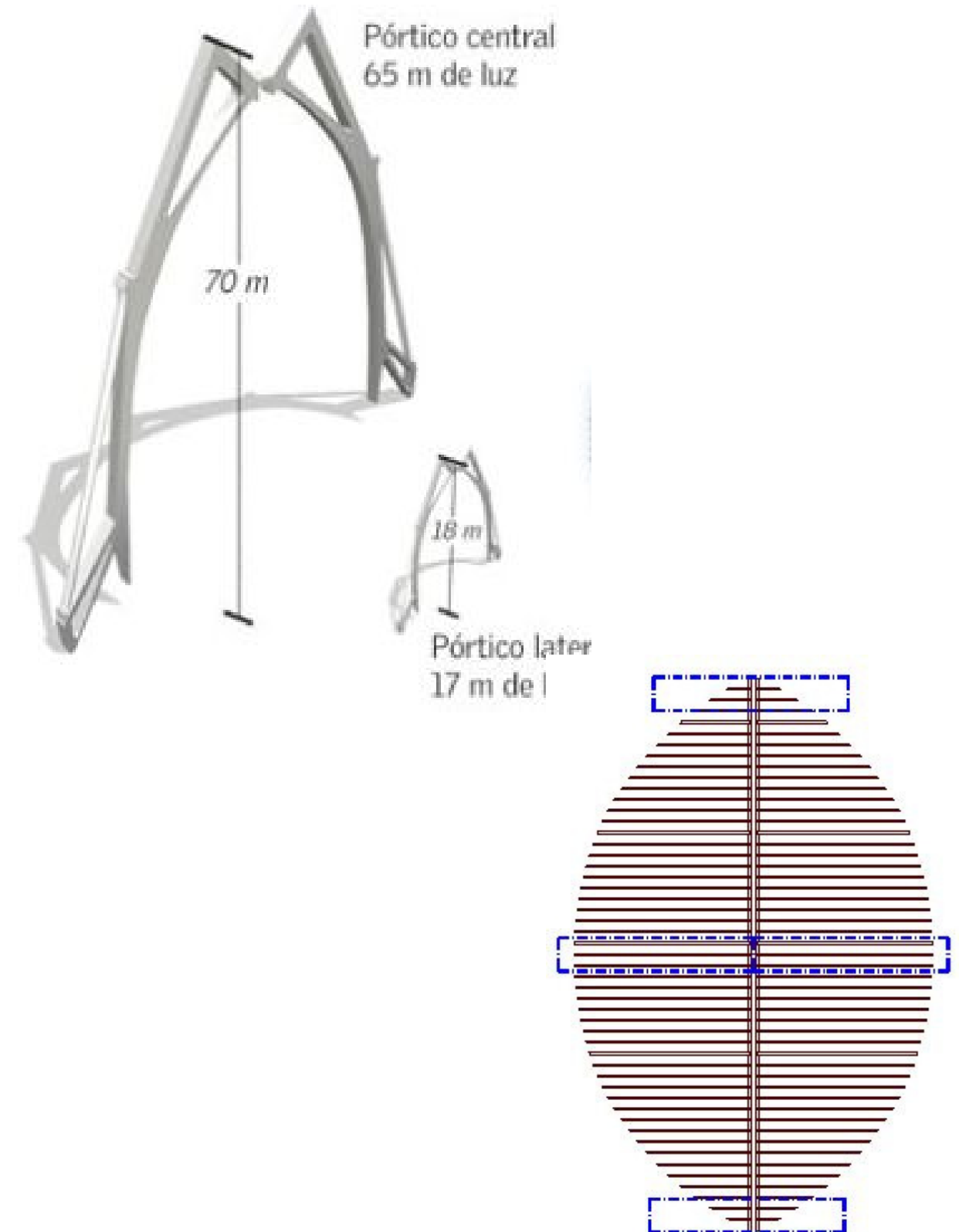
ESTRUCTURA FIJA DEL ÁGORA

Estructura fija del ágora

La estructura fija del edificio tiene, por una parte, una función de soporte del cerramiento del edificio y, por otra parte, sirve como apoyo de la cubierta móvil.

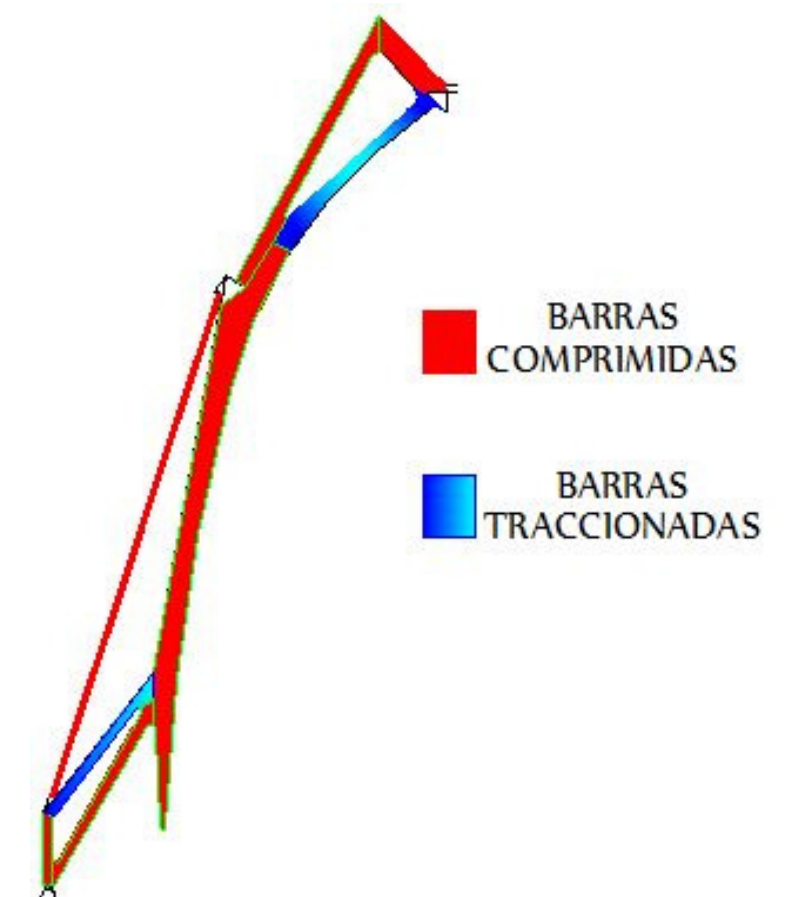
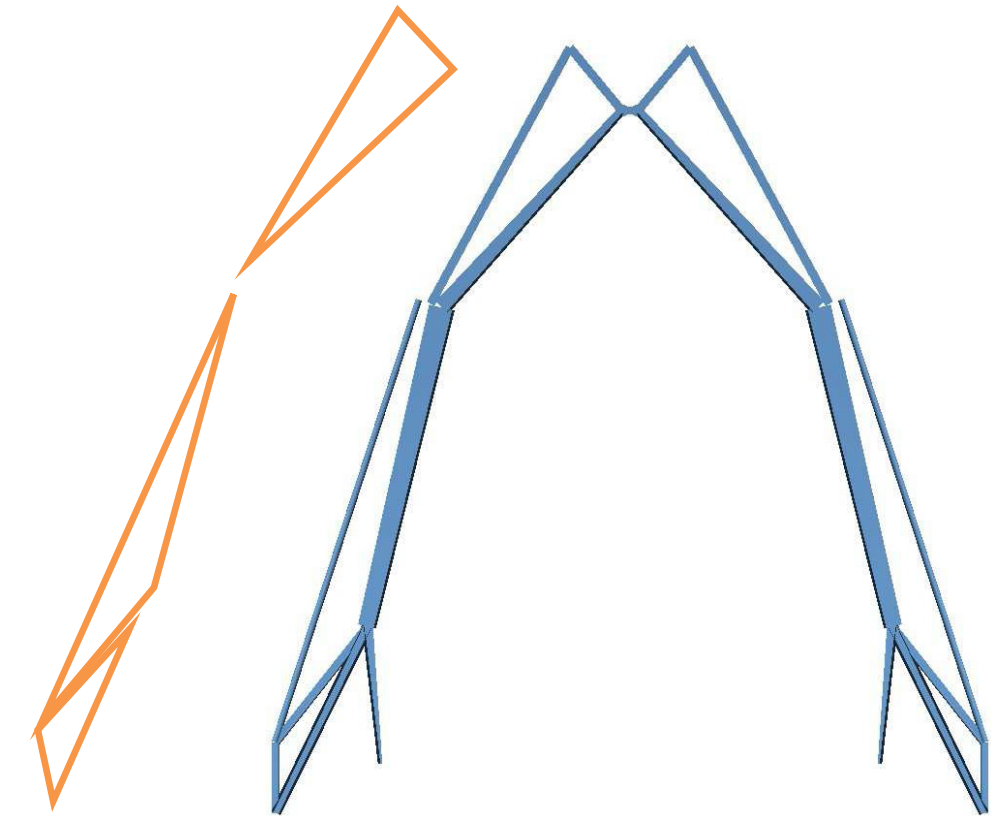
Está formada por 49 pórticos triarticulados (apoyados en 2 rótulas en cimentación y una tercera rótula en la cúspide) con una separación de 2 m entre ellos, arriostrados longitudinalmente por 3 arcos a cada lado, lo que confiere una gran rigidez al conjunto.

El pórtico mayor se sitúa en el eje central, salva una luz de 65 m y tiene una altura de 70 m, mientras que los pórticos extremos de luz 17 m alcanzan una altura de 18 m. La sección transversal de los mismos es en cajón, de 324 mm de ancho y canto variable, rematados por semitubos en todos sus bordes vistos interiores al edificio.



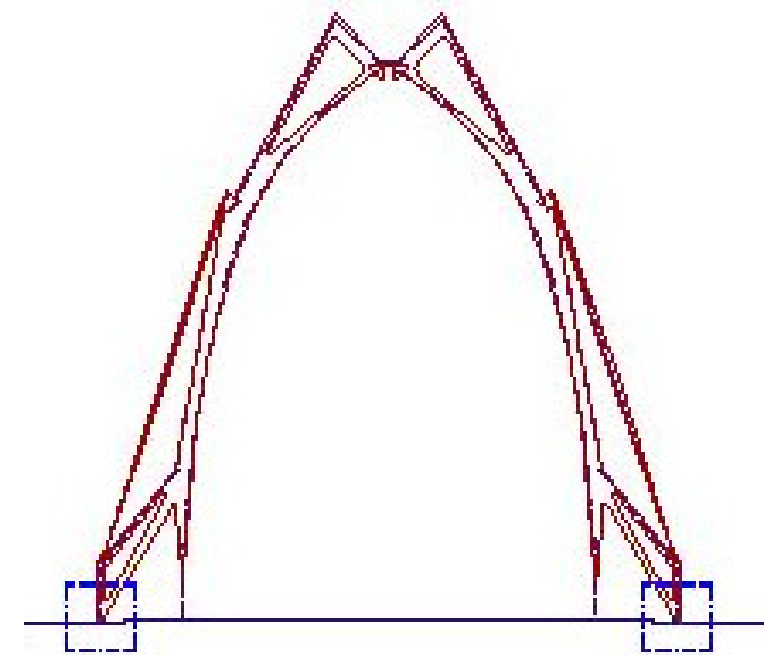
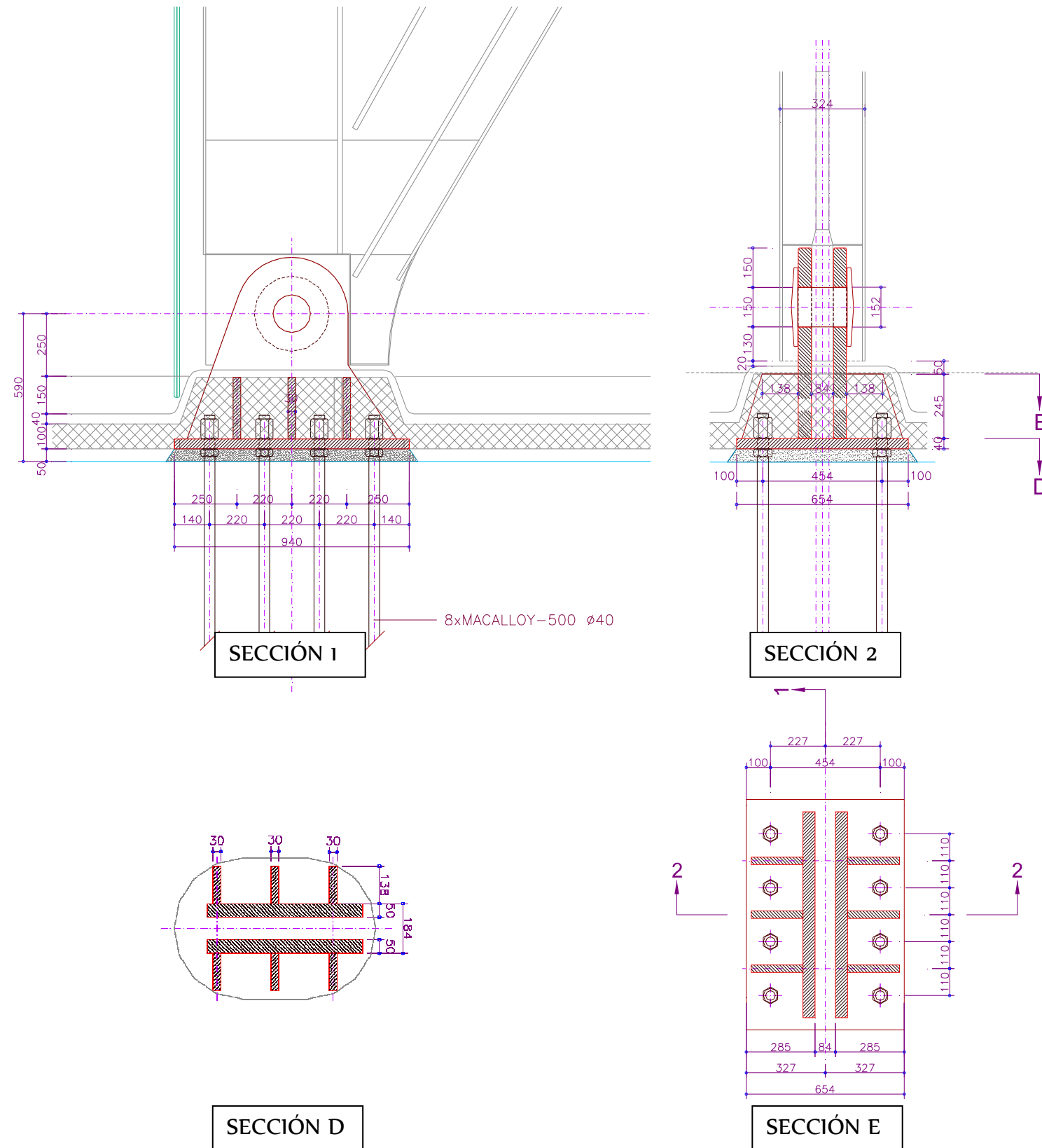
Pese a que cada semipórtico es rígido, su geometría está claramente definida por 3 triángulos, lo que optimiza el comportamiento estructural del mismo gracias a la adecuada canalización de los esfuerzos axiales.

Dentro de esta triangulación se debe destacar la pieza metálica de gran esbeltez (longitud de 42 m en el eje central) y sección transversal circular de diámetro variable (entre 750 y 324 mm), que se denomina tornapunta, y que, quedando exterior al cerramiento del edificio, marca en gran medida la estética exterior del Ágora.



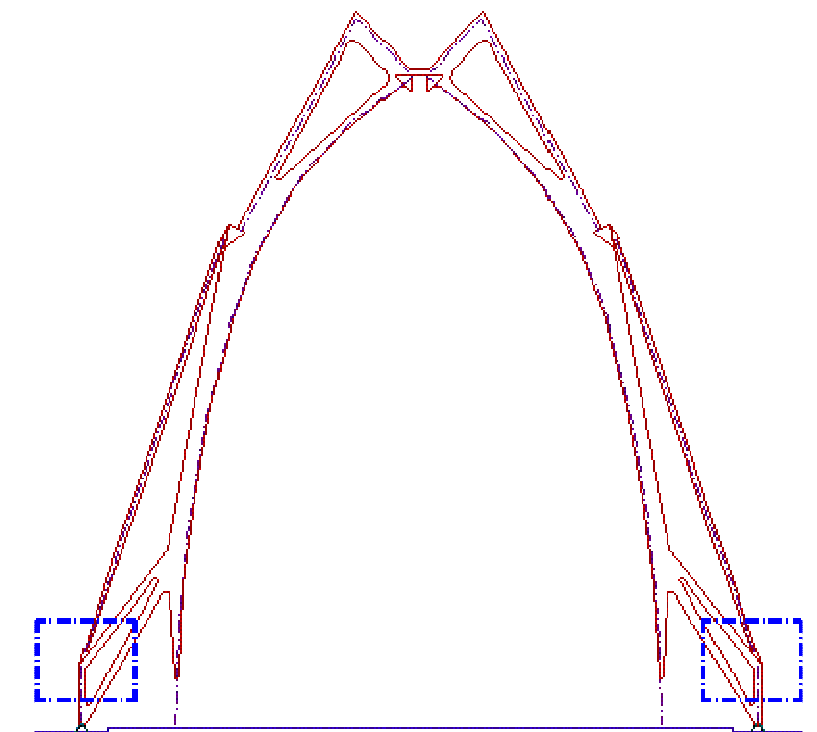
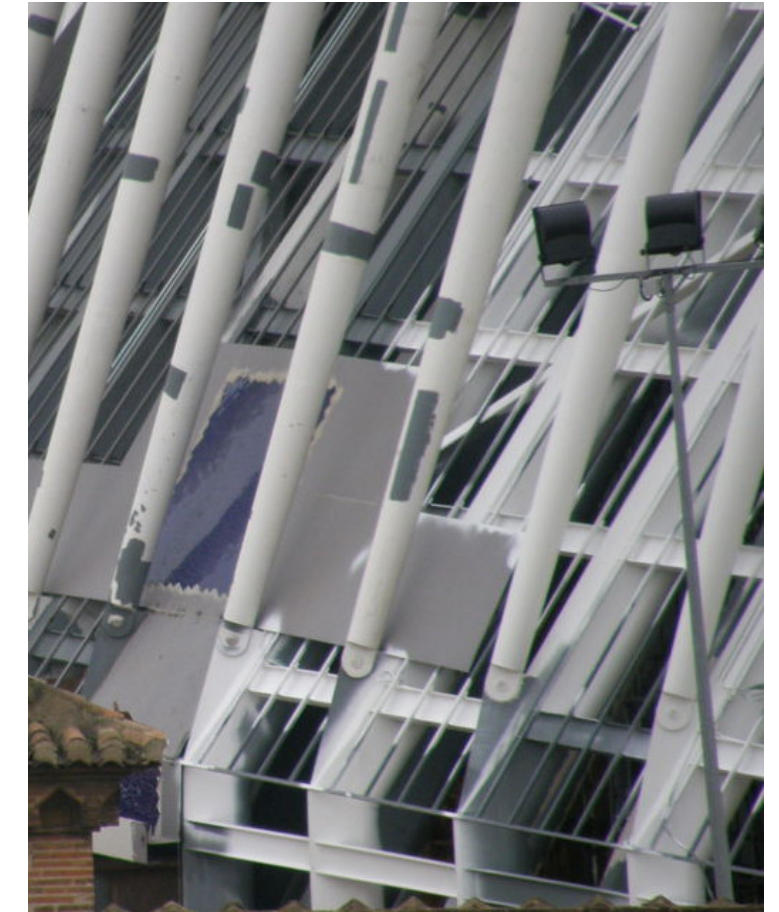
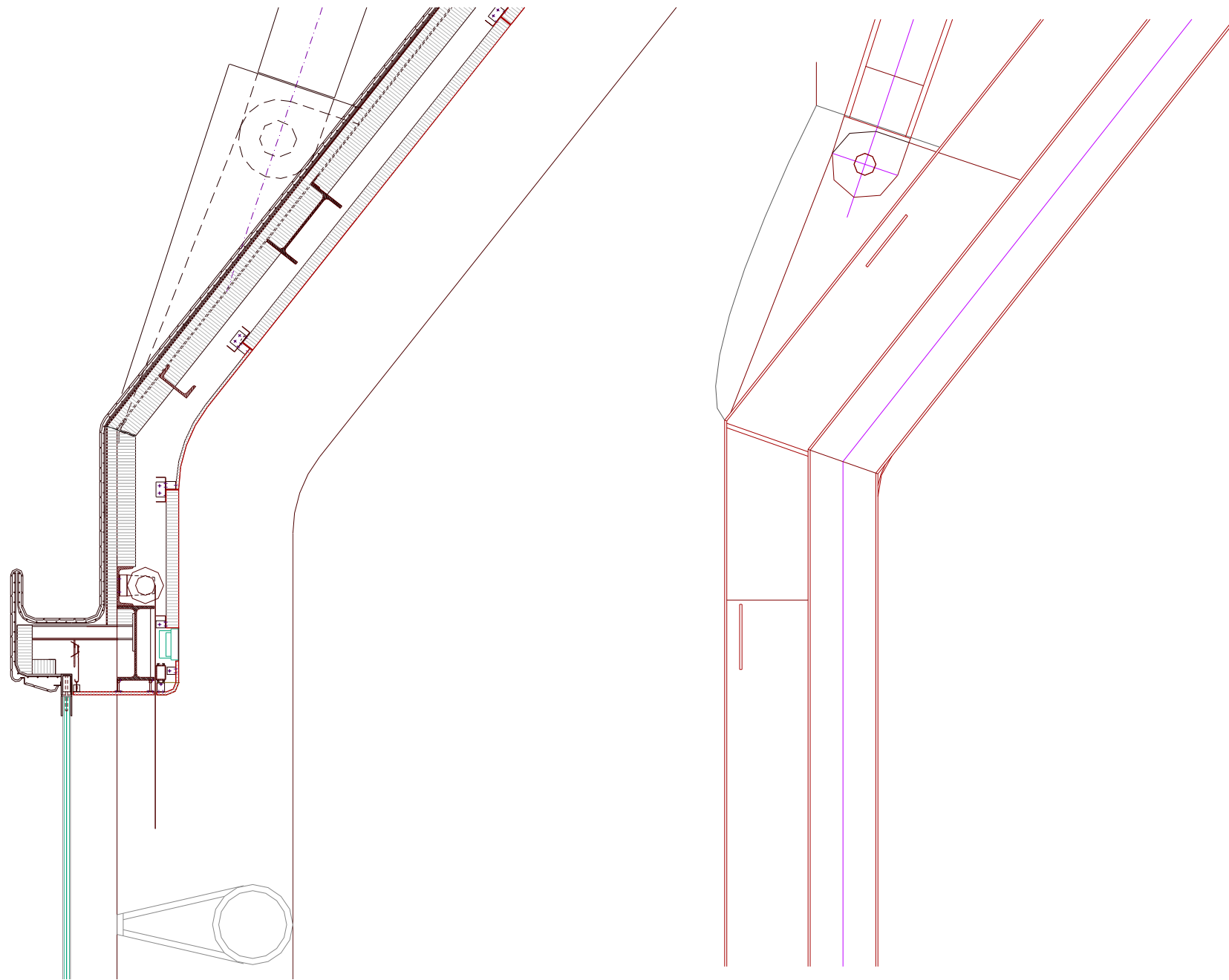
Detalles de nudos

Rótula de la cimentación



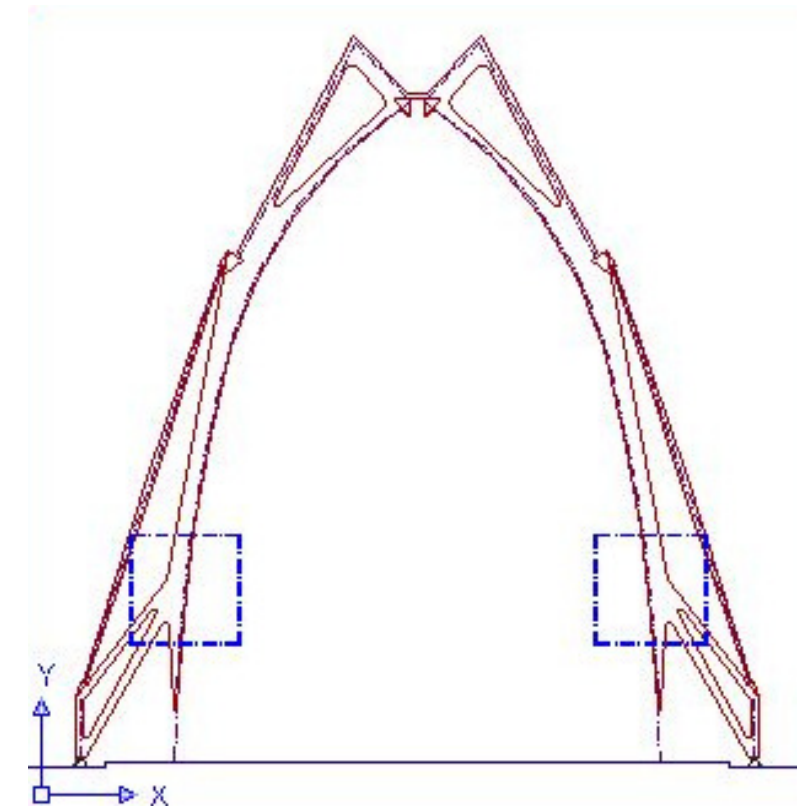
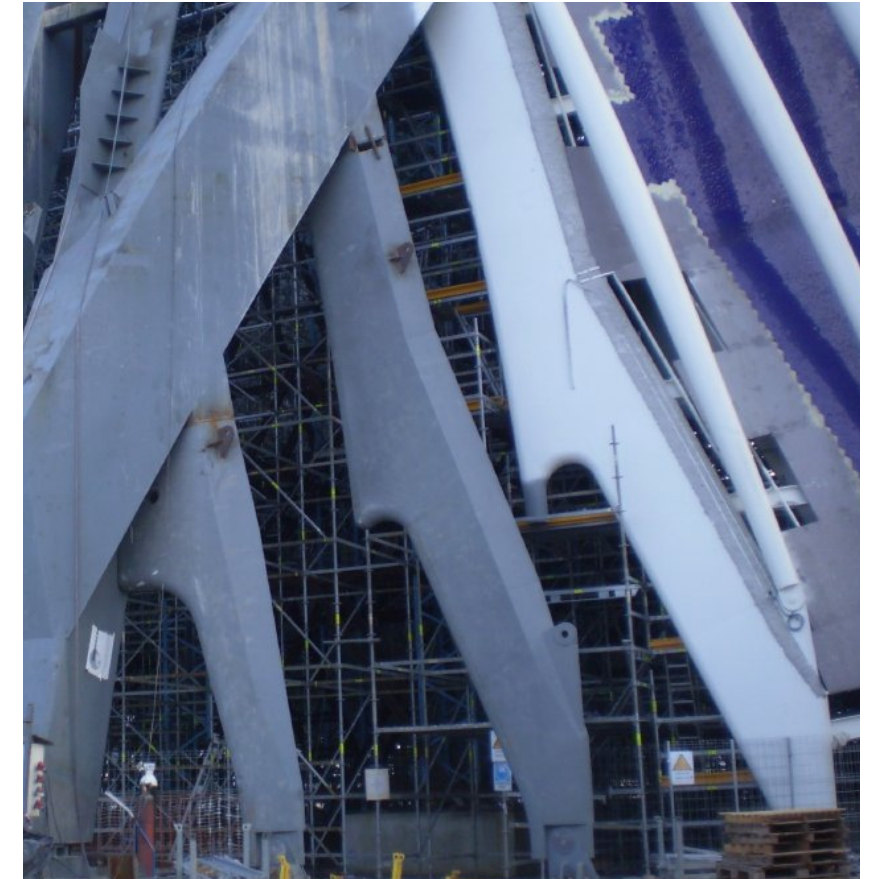
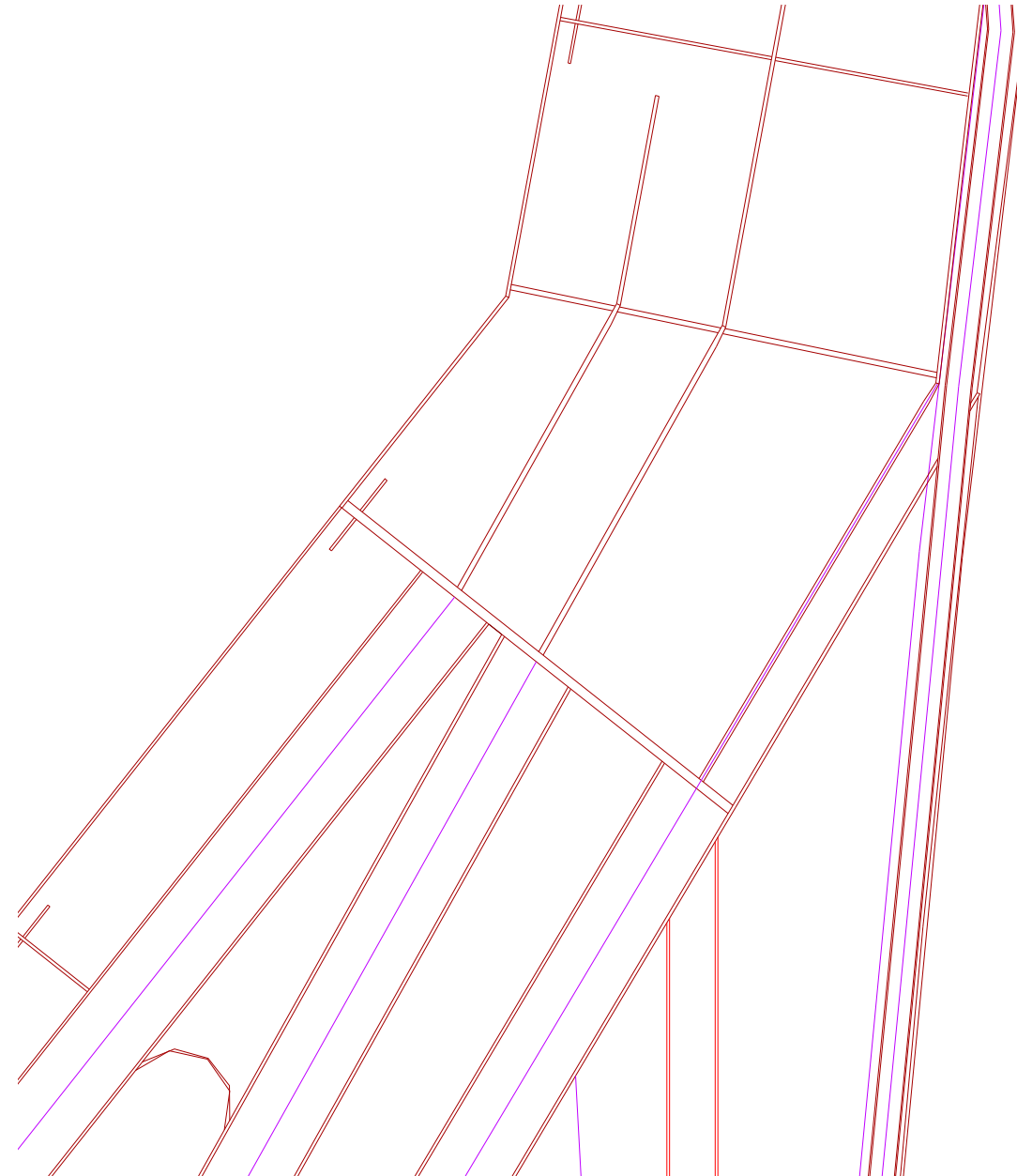
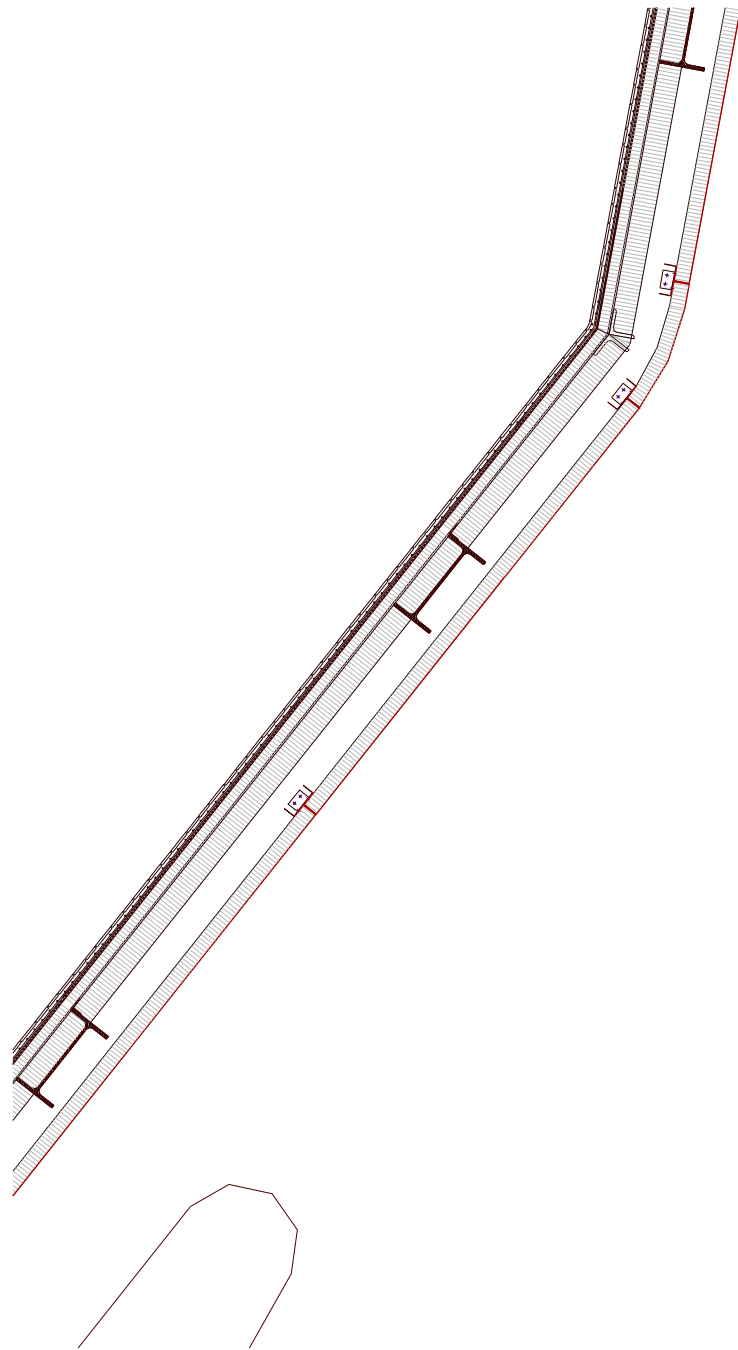
Detalles de nudos

Nudo tipo 1



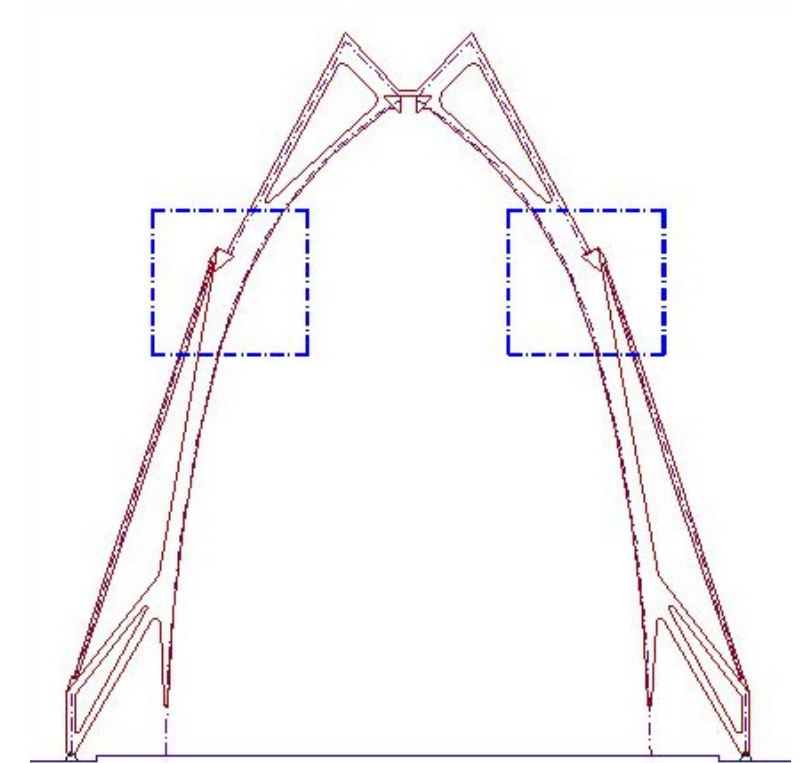
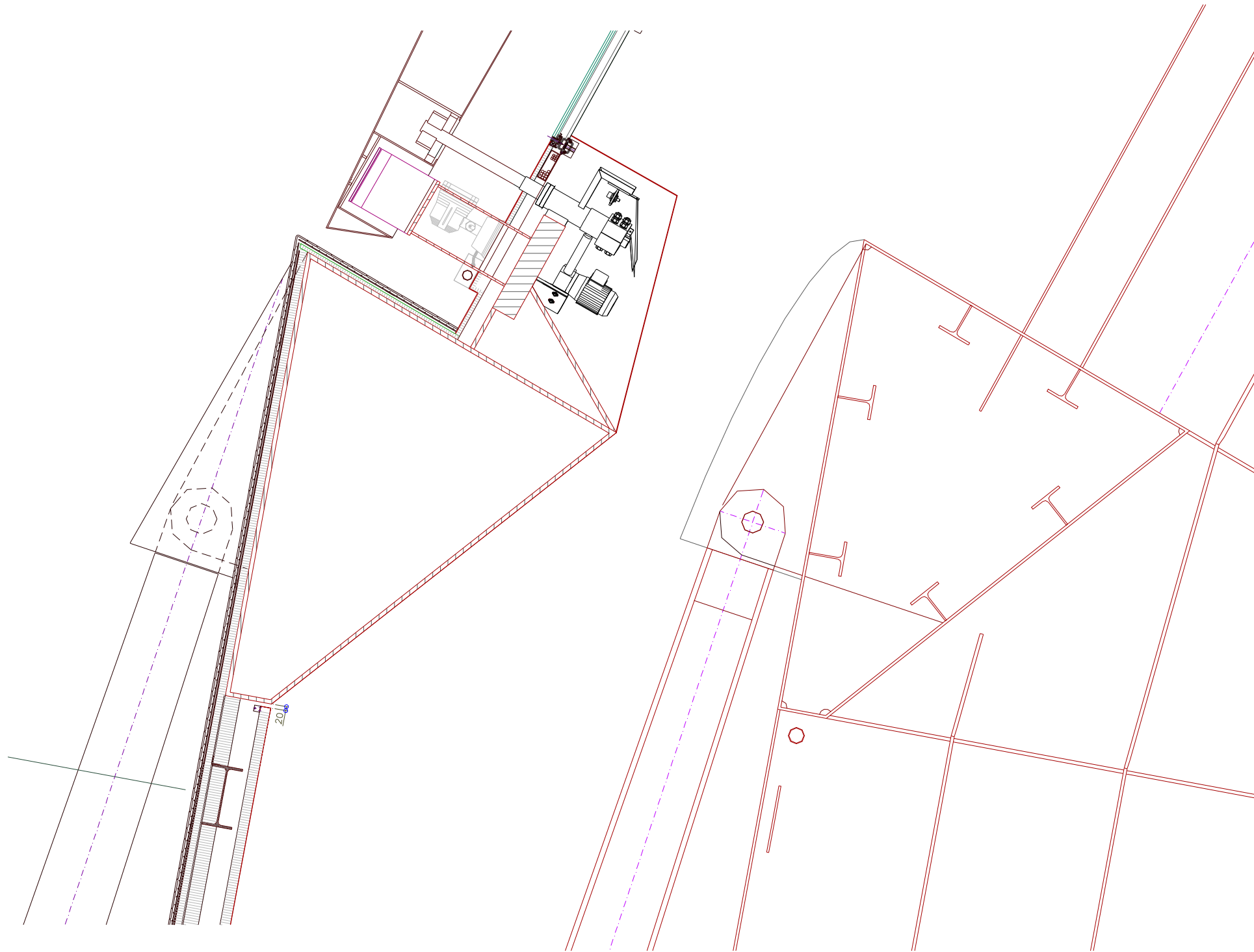
Detalles de nudos

Nudo tipo 2



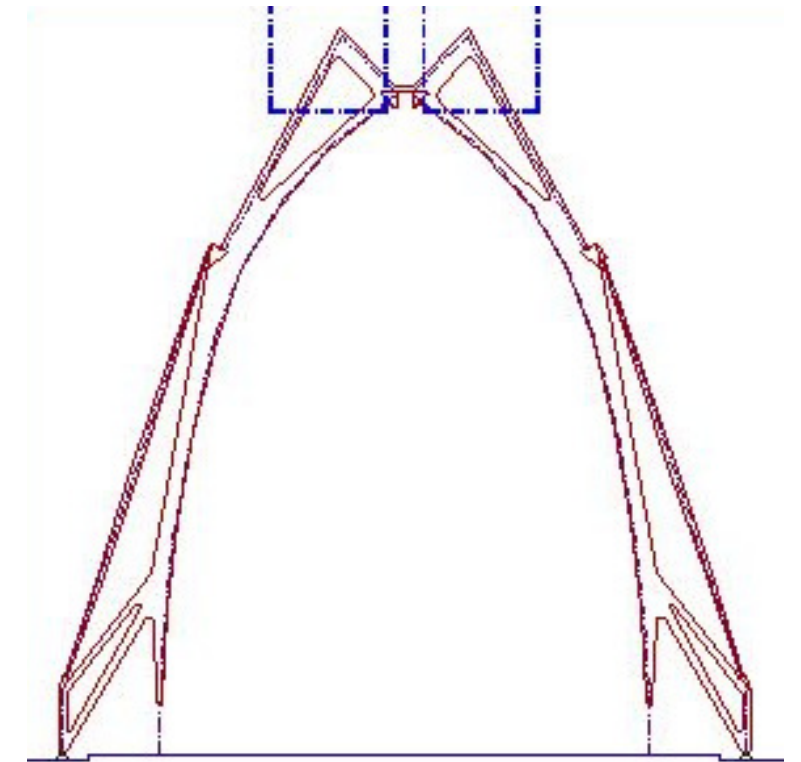
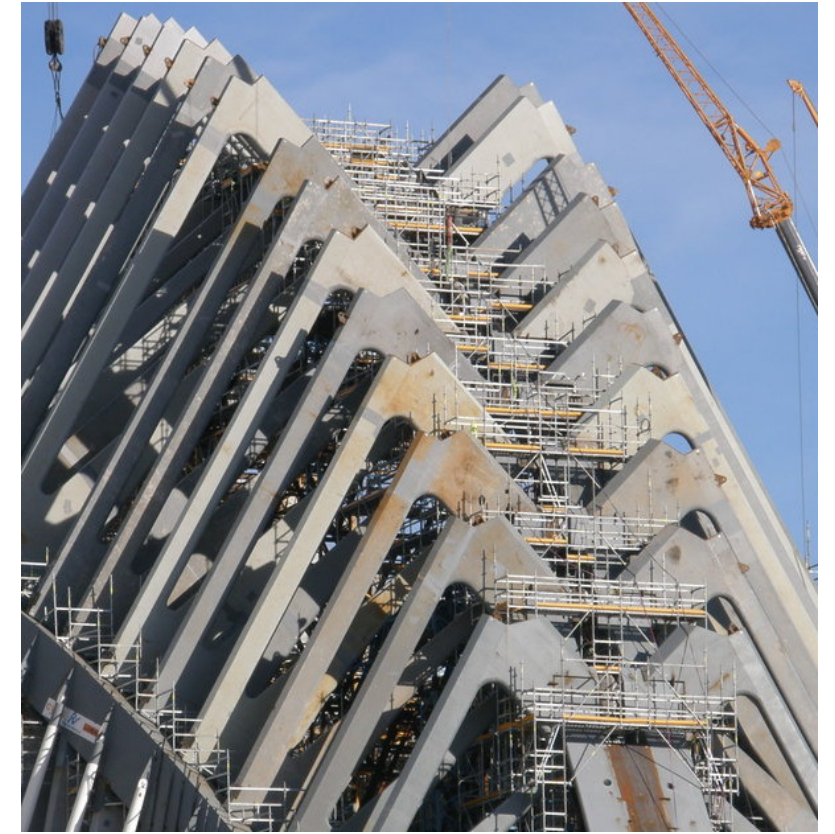
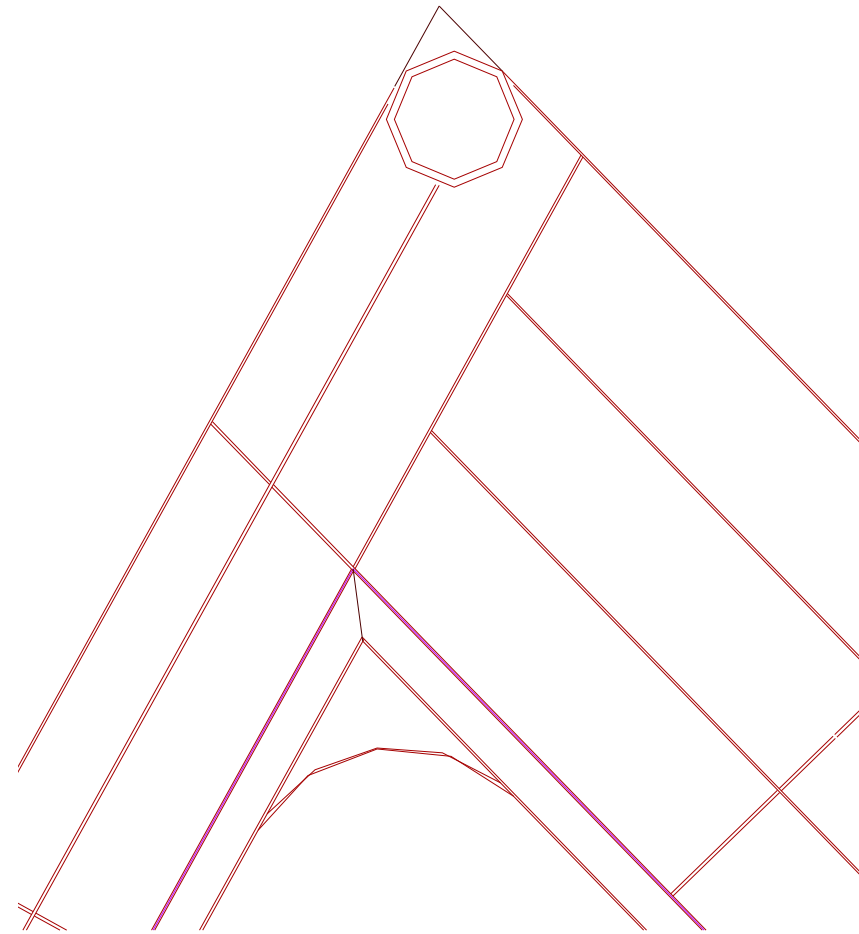
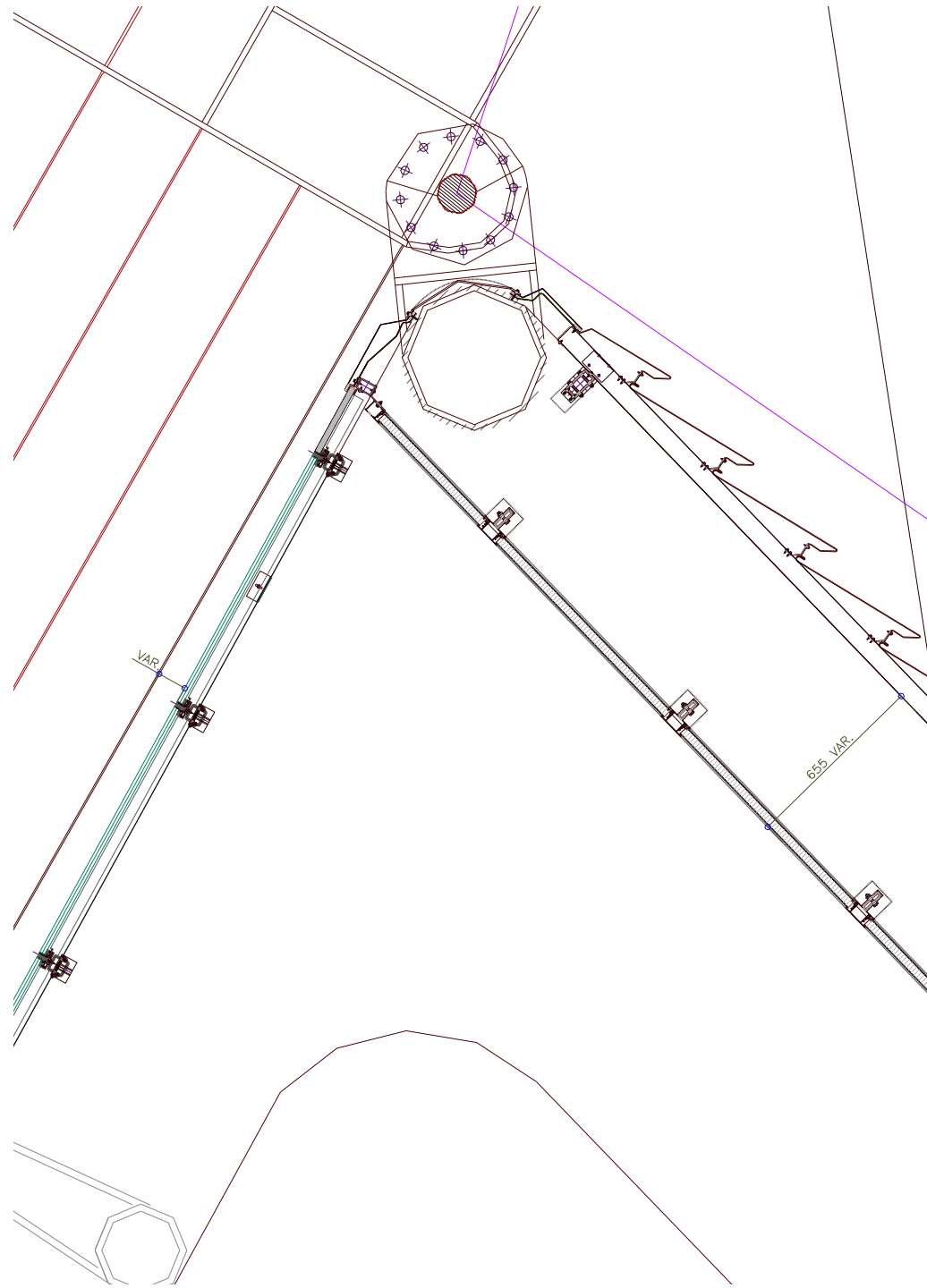
Detalles de nudos

Nudo tipo 3



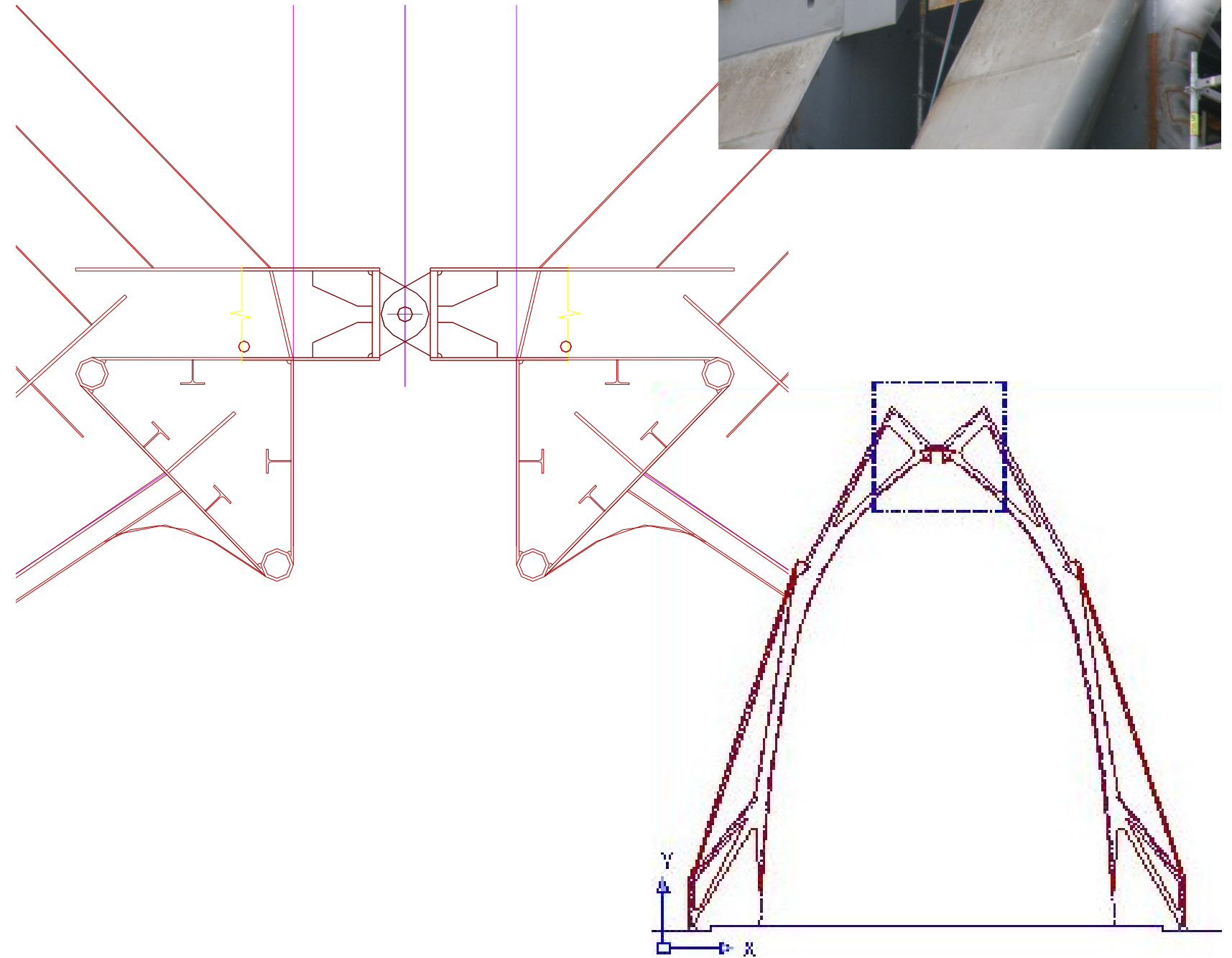
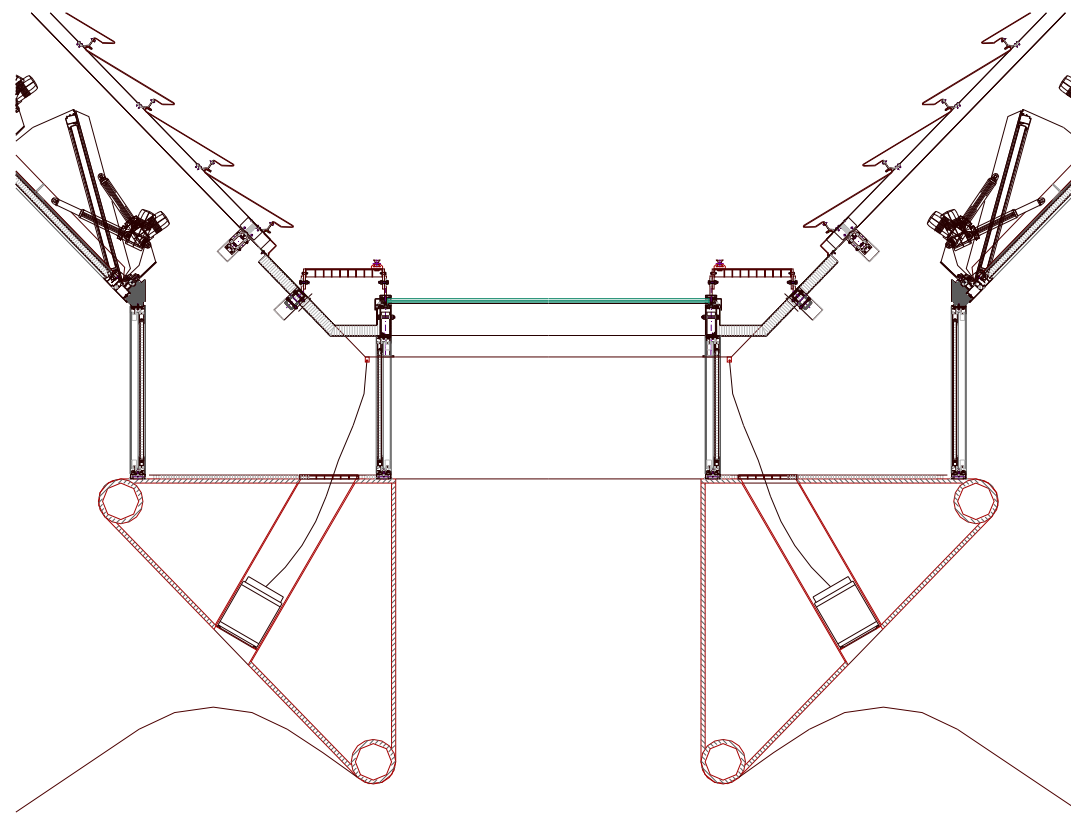
Detalles de nudos

Nudo tipo 4



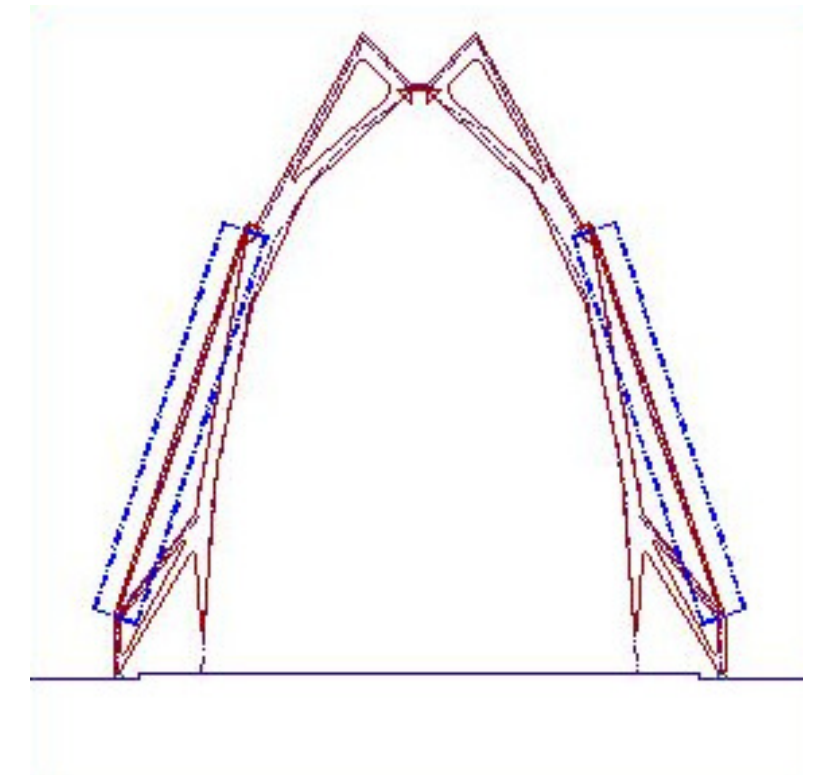
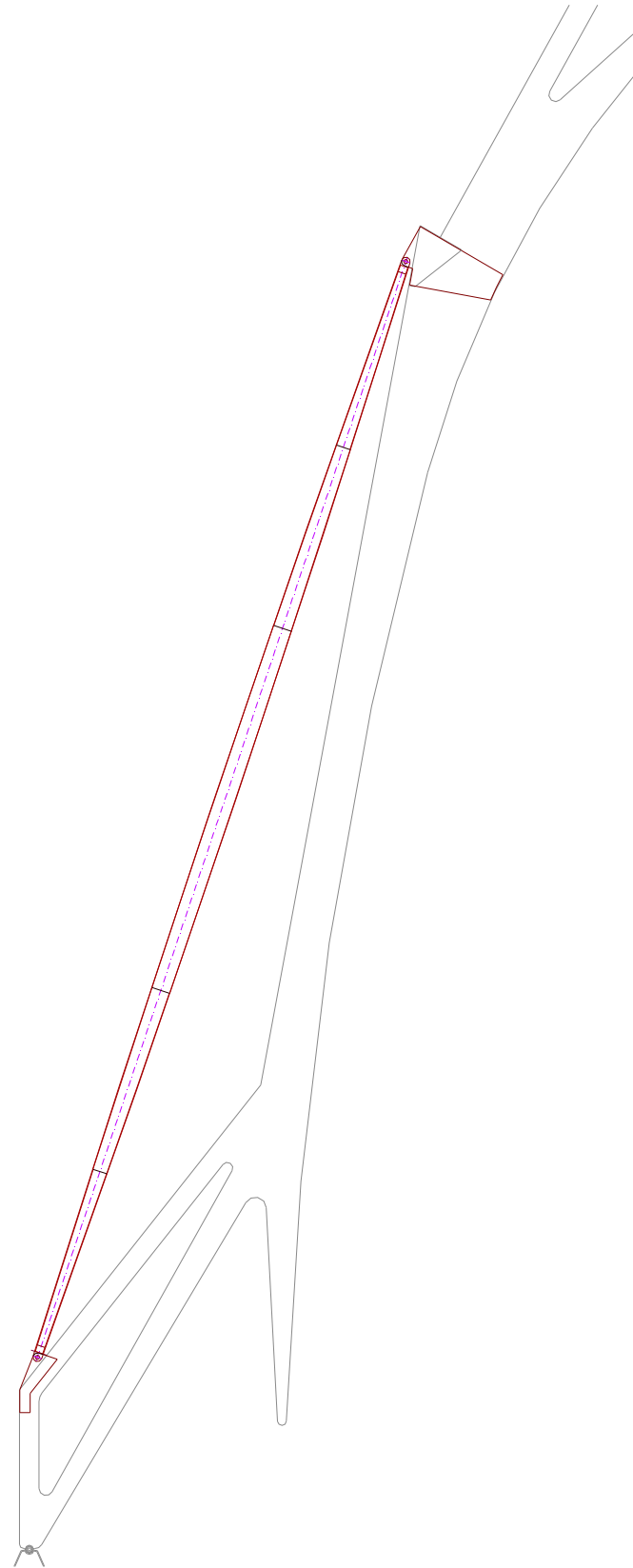
Detalles de nudos

Enlace porticos



Detalles de nudos

Tornapuntas



Los arcos transversales

Los arcos que arriostran los pórticos se desarrollan de manera continua entre los extremos Norte y Sur del edificio, con una distancia de unos 100 m entre ambos extremos de apoyo. Se trata de grandes cajones de forma triangular y trapezoidal en el caso de 4 de ellos (de dimensiones aproximadas 1.5x1.5 m y 2.2x1.75 m respectivamente), y un tubo de diámetro 508 mm en el caso de los otros 2 arcos.

Los 3 arcos de cada lado se unen en la base mediante una singular intersección (arranque de arcos), que apoya sobre una rótula esférica.

Los arcos cajón alojan en su interior buena parte de las luminarias del edificio, con objeto de alcanzar una solución de iluminación integrada en la estructura, lo que ha requerido de un esfuerzo extra de coordinación entre las partes implicadas en el diseño y fabricación del acero y las implicadas en las instalaciones.

En cuanto al arco tubular mencionado, además de desempeñar una función de atado de los pórticos, sirve de apoyo de las rótulas de giro de cada una de las lamas de la cubierta móvil.

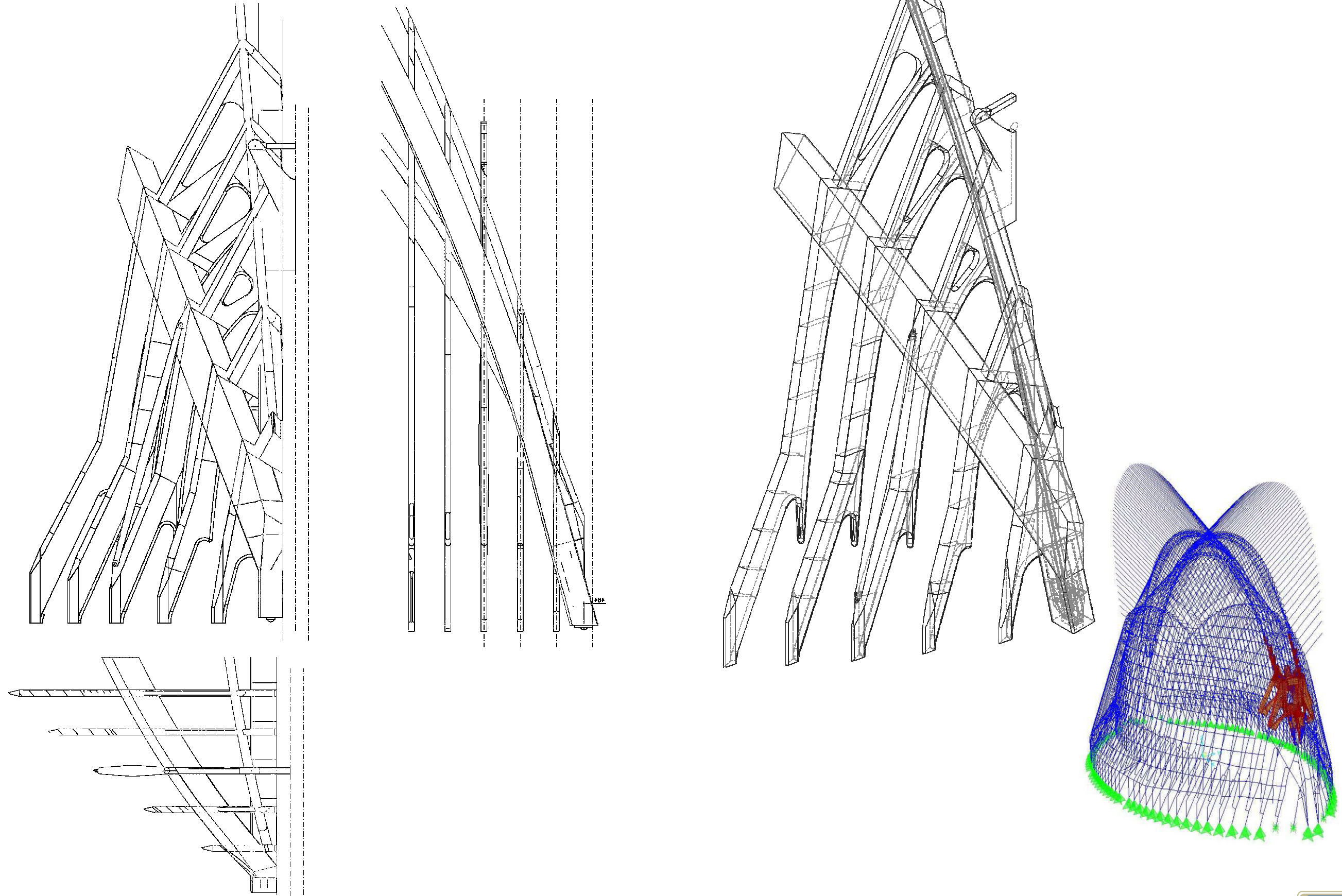
Otros elementos de atado secundarios son una serie de perfiles IPE300, que atan los pórticos entre sí en la zona de cerramiento opaco, quedando por tanto como elementos no visibles.

En definitiva, la estructura fija del edificio se caracteriza por una importante rigidez estructural y gran complejidad geométrica. El montante total de acero requerido para la formación de la estructura metálica fija ha sido de 5842 ton.



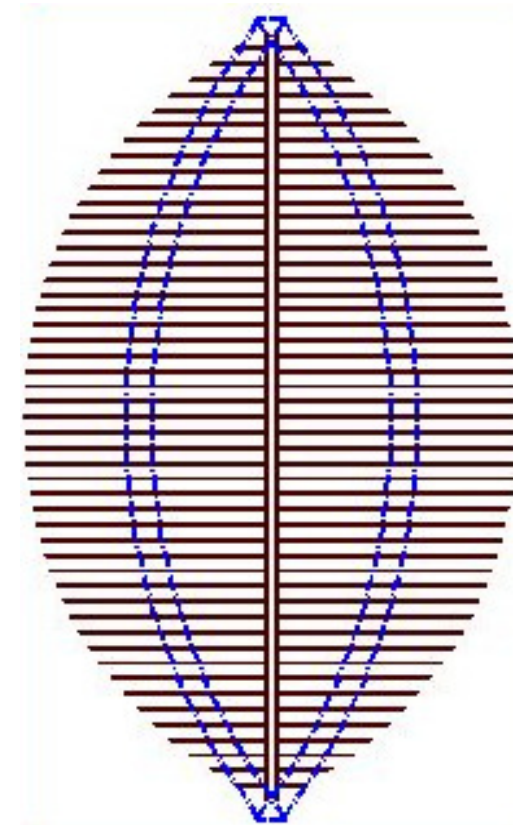
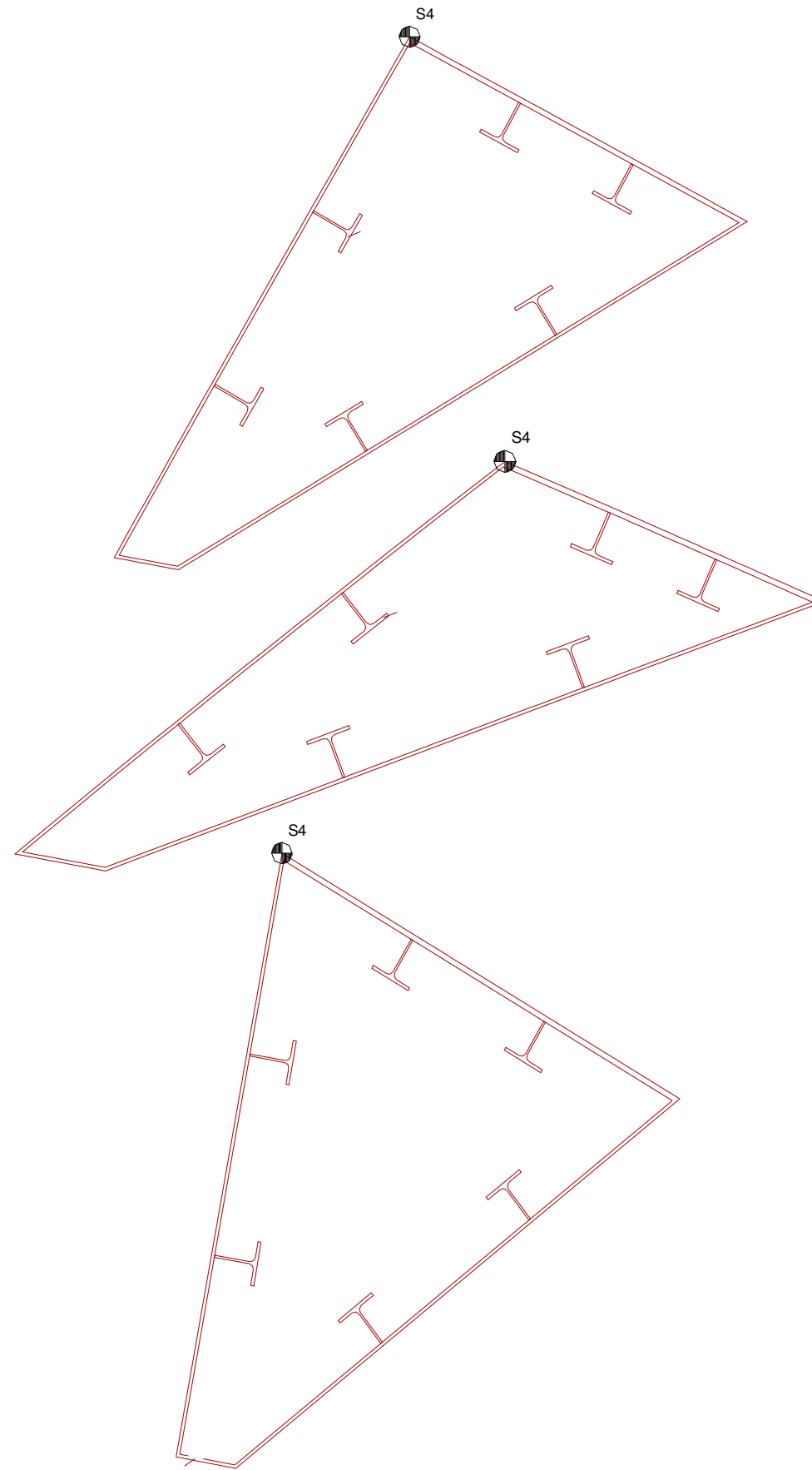
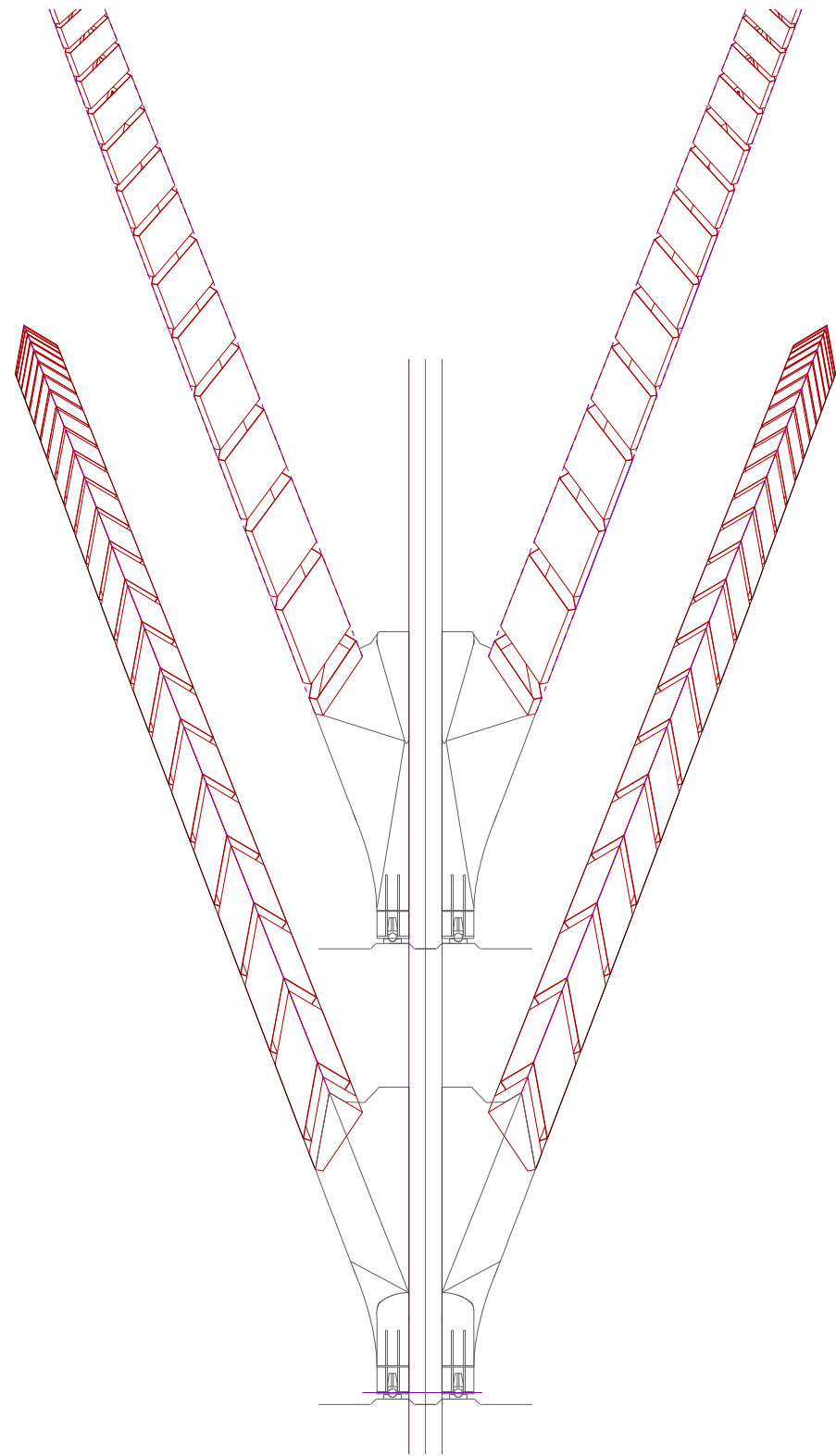
Detalles

Intersección (arranque) de los arcos



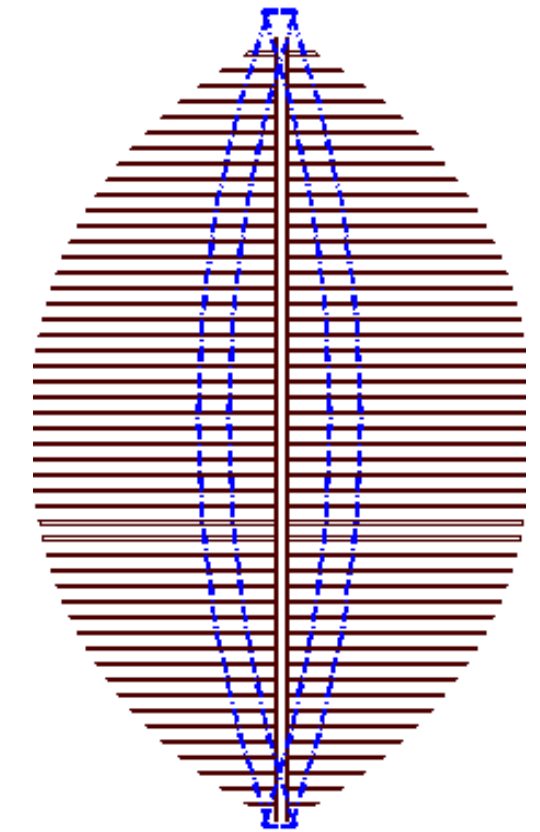
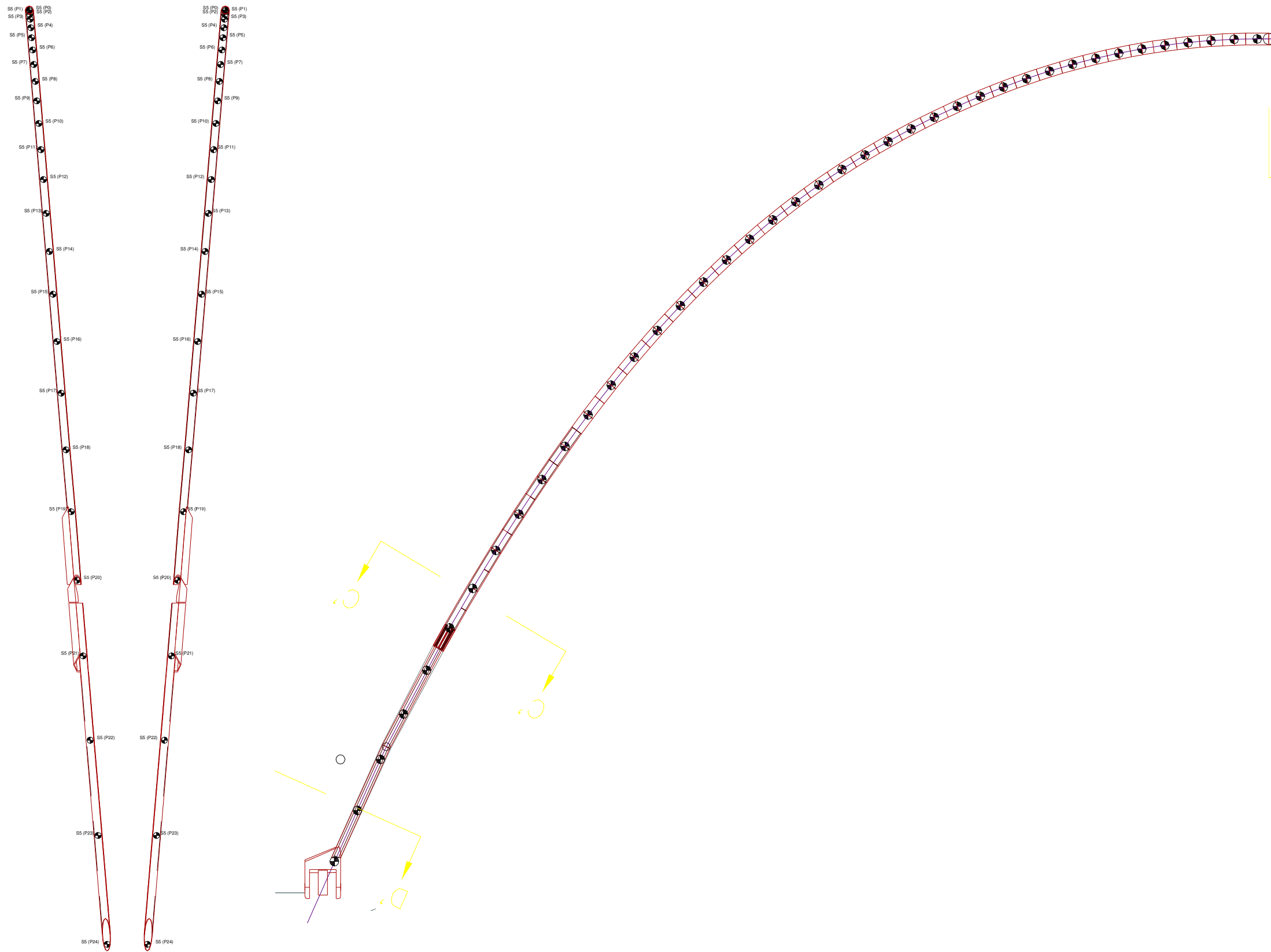
Detalles

Arcos laterales



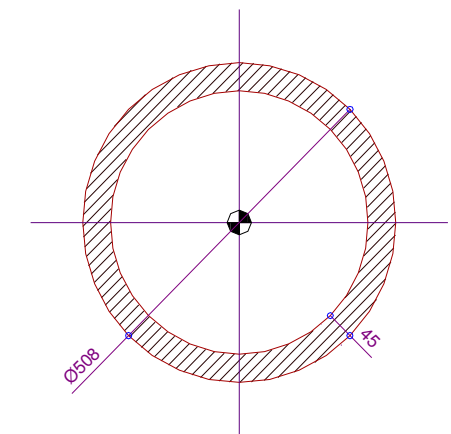
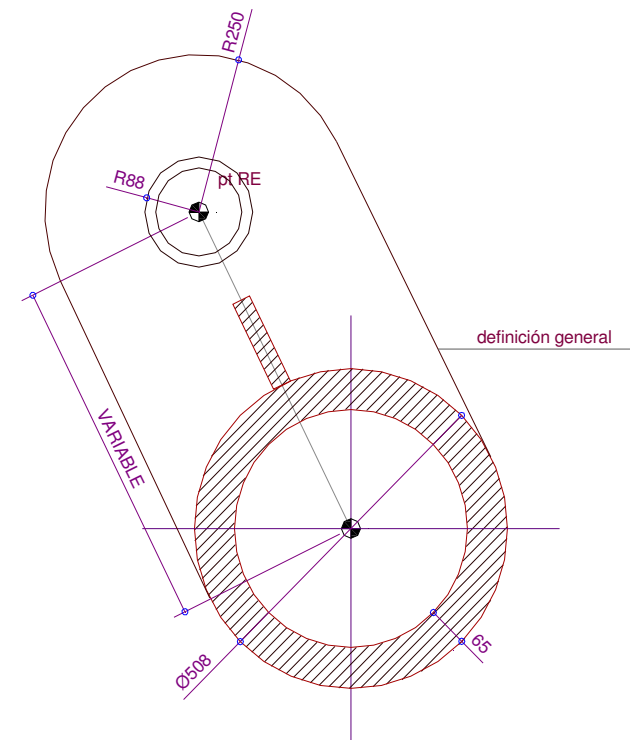
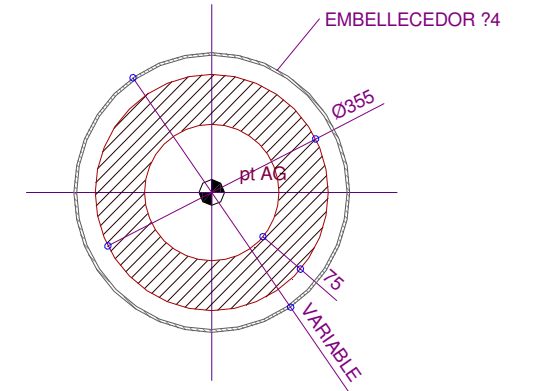
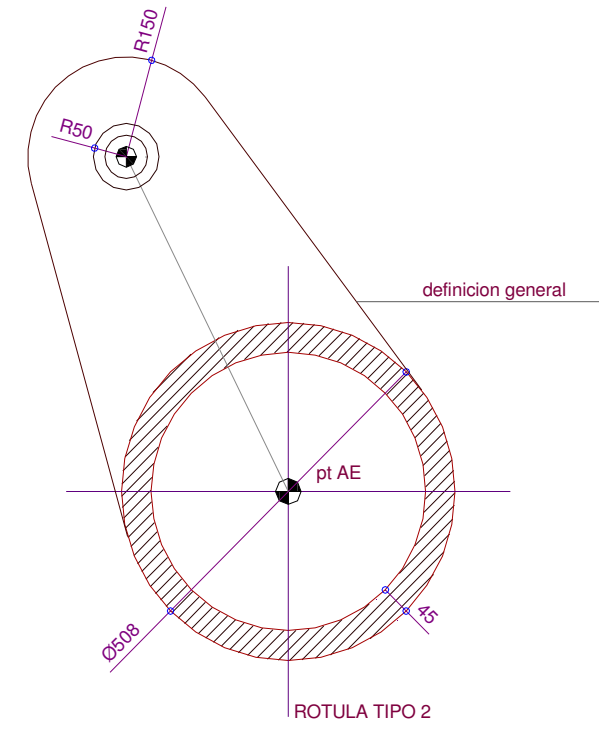
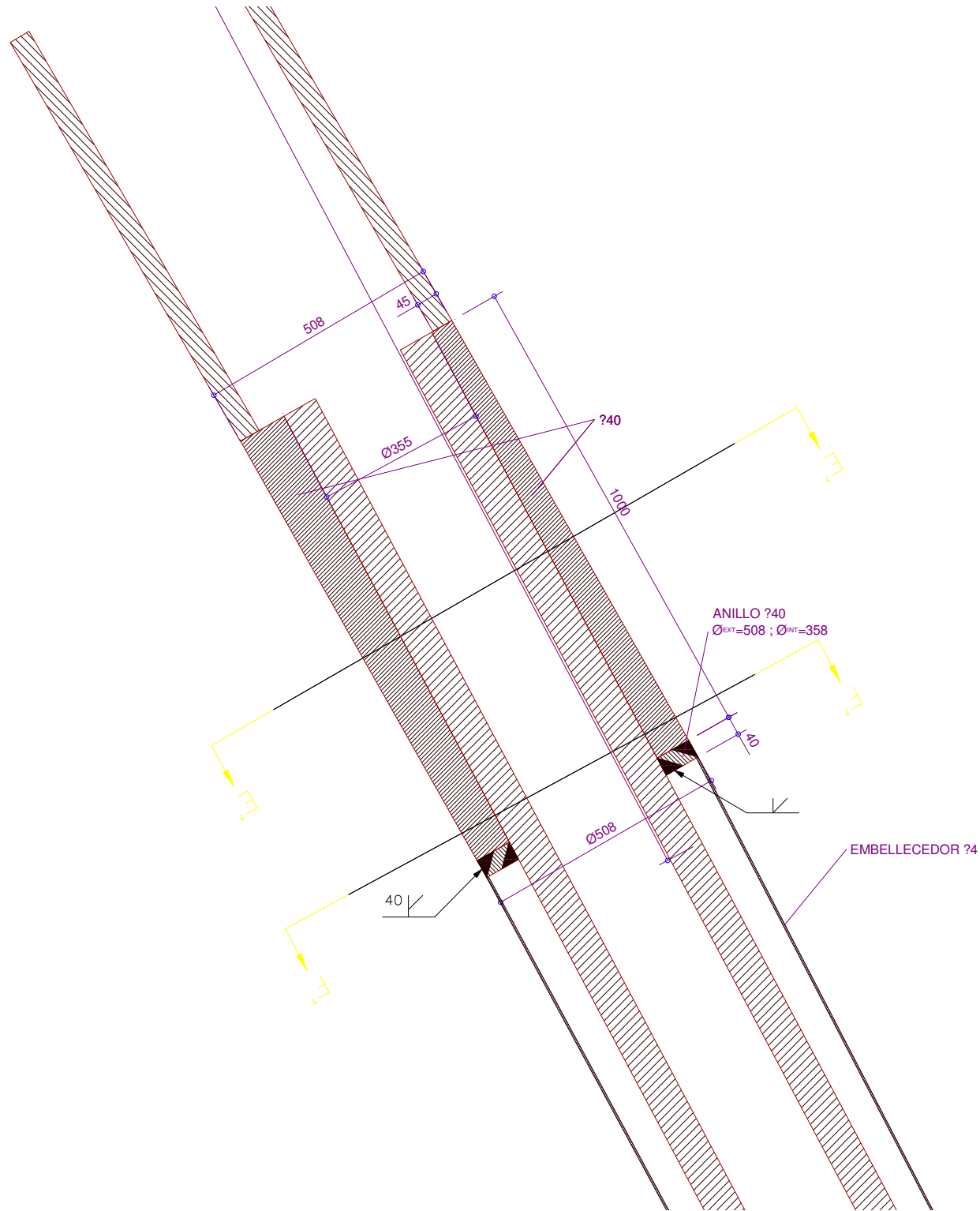
Detalles

Arcos centrales



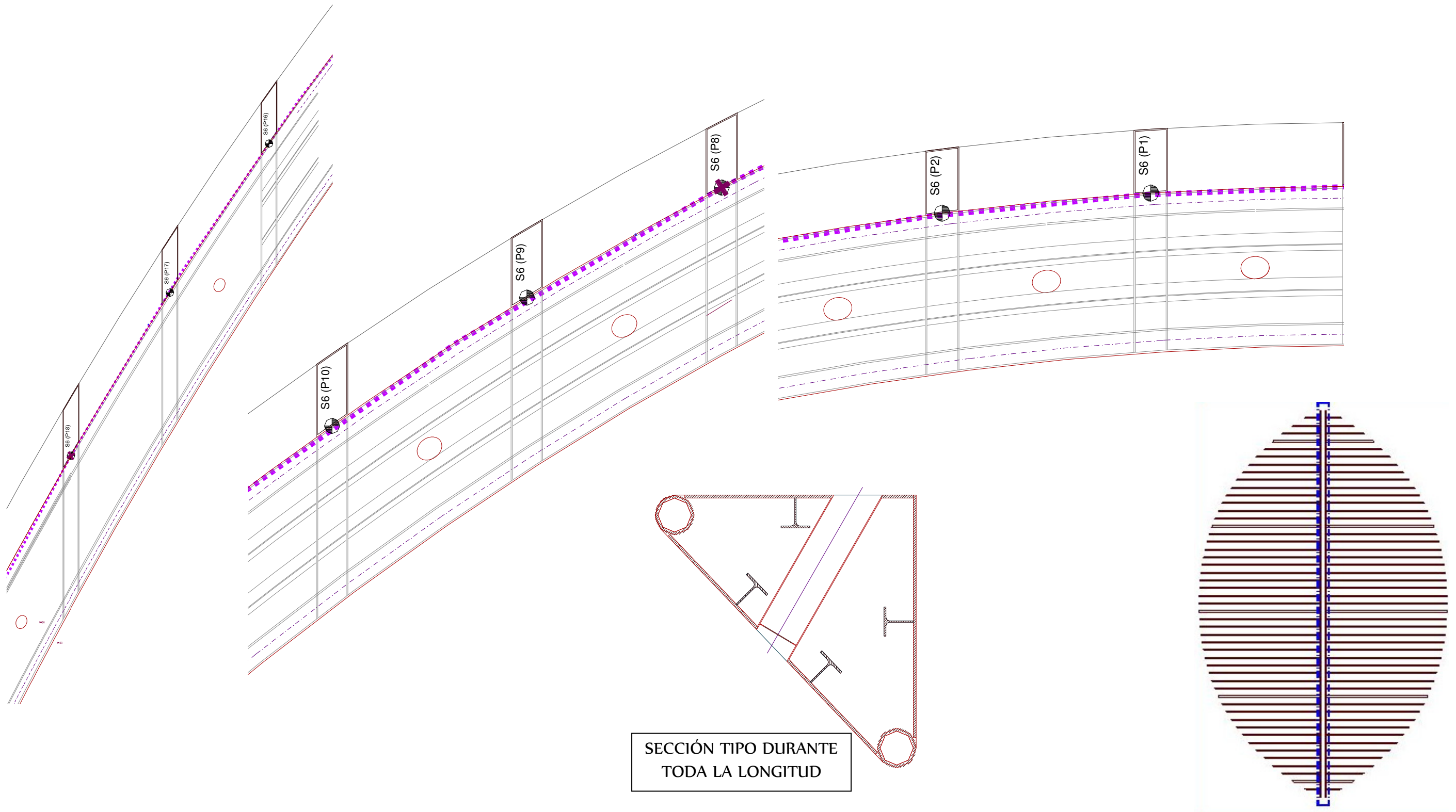
Detalles

Arcos centrales



Detalles

Arco central

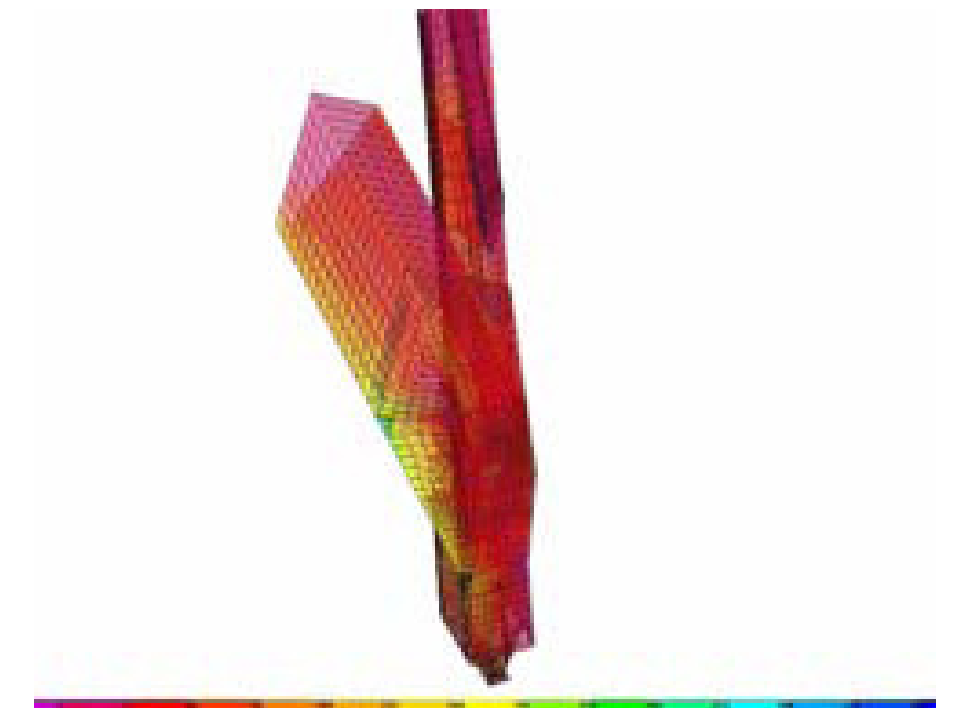
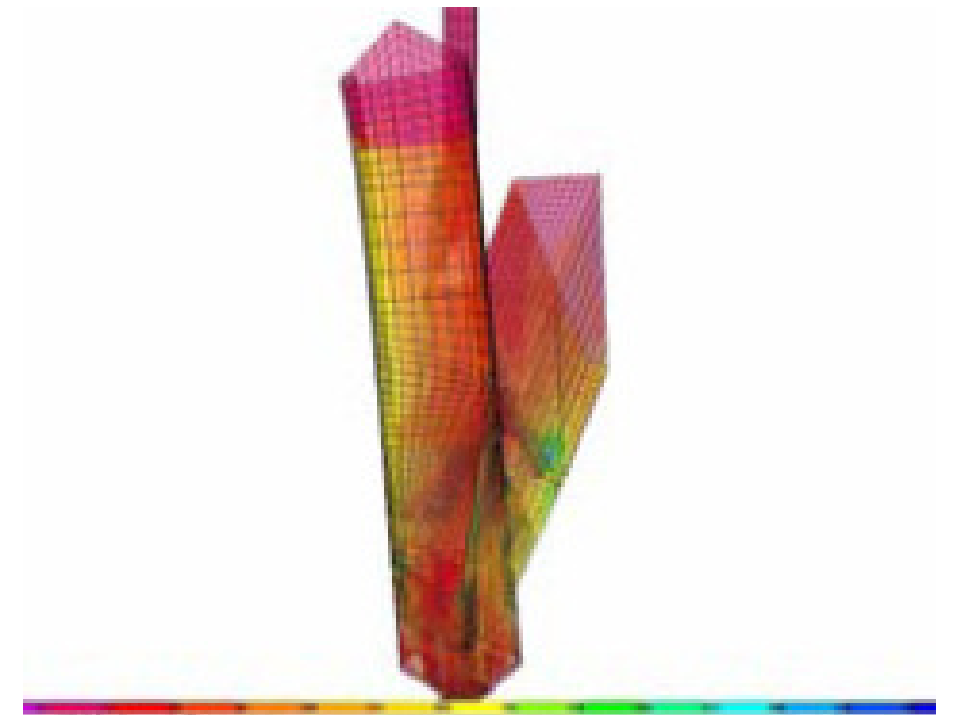


Descripción del cálculo estructural de la cubierta fija

El análisis estructural del edificio se realizó en base a un modelo general de elementos finitos unidimensionales, construido con el software SAP 2000 (versiones 8 y 11), para las posiciones abierta y cerrada de la cubierta, así como para otras posiciones intermedias de la misma. Con ello, se pretendía evaluar, tanto el comportamiento estructural de la propia cubierta móvil en cada una de sus posiciones, como la variación de la reacción transmitida por esta cubierta sobre la estructura fija, en función de la posición.

En el caso de los elementos más singulares fue necesario su estudio de detalle, más allá de los resultados obtenidos con los modelos generales de cálculo. Entre ellos destaca el estudio mediante modelo local de elementos finitos "área" (bidimensionales) del arranque de los 3 arcos de cada lado (cajones triangular y trapezoidal, y arco tubular)

Debido a los fuertes condicionantes geométricos del cerramiento, así como estéticos por quedar esta intersección claramente visible desde el interior del edificio, el resultado final fue una pieza de gran complejidad desde el punto de vista tanto de diseño como de fabricación. Interiormente la pieza se resuelve con una importante rigidización que permite canalizar los esfuerzos de los 3 arcos hacia el apoyo puntual sobre rótula esférica, que evita la transmisión de momentos a cimentación. La rótula funciona por contacto entre 2 superficies de acero de radio de curvatura ligeramente diferente para garantizar el contacto puntual, basando su comportamiento en la teoría de Hertz.



También destaca el estudio de estabilidad realizado para los tornapuntas. Estos elementos se encuentran articulados en sus extremos y su esfuerzo principal es el axil de compresión originado por la carga permanente del edificio y el viento este-oeste. Dado su diámetro variable y su esbeltez considerable, su estudio se realizó en base al eurocódigo 3 (ENV 1993-1-1:2005), analizando el elemento en 2º orden, con la imperfección inicial que especifica este código en función de las características de la pieza estructural.

Por último, el efecto de la acción del viento sobre el cerramiento de la estructura fija se estudió de manera pormenorizada mediante ensayo en túnel de viento en el laboratorio The Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, Ontario, Canada (Alan G. Davenport Wind Engineering Group). Para ello, se construyó un modelo rígido, monitorizado con tomas de presión sobre la piel exterior, y apoyado sobre balanza, lo cual permitió la medida directa de presiones en las tomas, así como la evaluación de la resultante global a través de la reacción en la balanza. En base a las conclusiones del estudio, se pudieron ajustar los valores de la acción de viento de diseño.

ESTRUCTURA MÓVIL DEL ÁGORA

INTRODUCCIÓN

En esta sección vamos a hacer referencia a la ejecución del diseño estructural del sistema móvil del Ágora. El objetivo es definir las características de la sección transversal de las alas principales con el fin de minimizar el efecto sobre la estructura de soporte.

El documento de especificaciones de la ejecución del proyecto hace que el contratista sea el responsable del diseño detallado de los mecanismos (cilindros hidráulicos, bisagras, rodamientos, etc...). Debido a la interacción entre estos elementos y la estructura de acero del techo corredizo, un análisis más estructural del mismo se ha realizado, en una estrecha coordinación con el contratista.

Por otra parte, las cargas de viento de las costillas móviles han sido investigadas en un laboratorio mediante un túnel de viento basado en un modelo aeroelástico. Además, los cálculos estructurales se han realizado sobre la base de un análisis más detallado del modelo global que incluye la estructura fija y móvil. Así que la rigidez real del soporte del techo móvil ha sido considerada.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El sistema está construido como una serie de pórticos con altos variable. El techo está cubierto por una cubierta móvil, hecha con unas alas a cada uno de los lados de la estructura que puede controlar la iluminación del espacio interior. Las alas son bisagras en la parte superior de la cúpula y un arco móvil que puede activar el movimiento simultáneo de ellos. El arco móvil es compatible con gatos hidráulicos que se encuentran en la parte inferior de la misma.

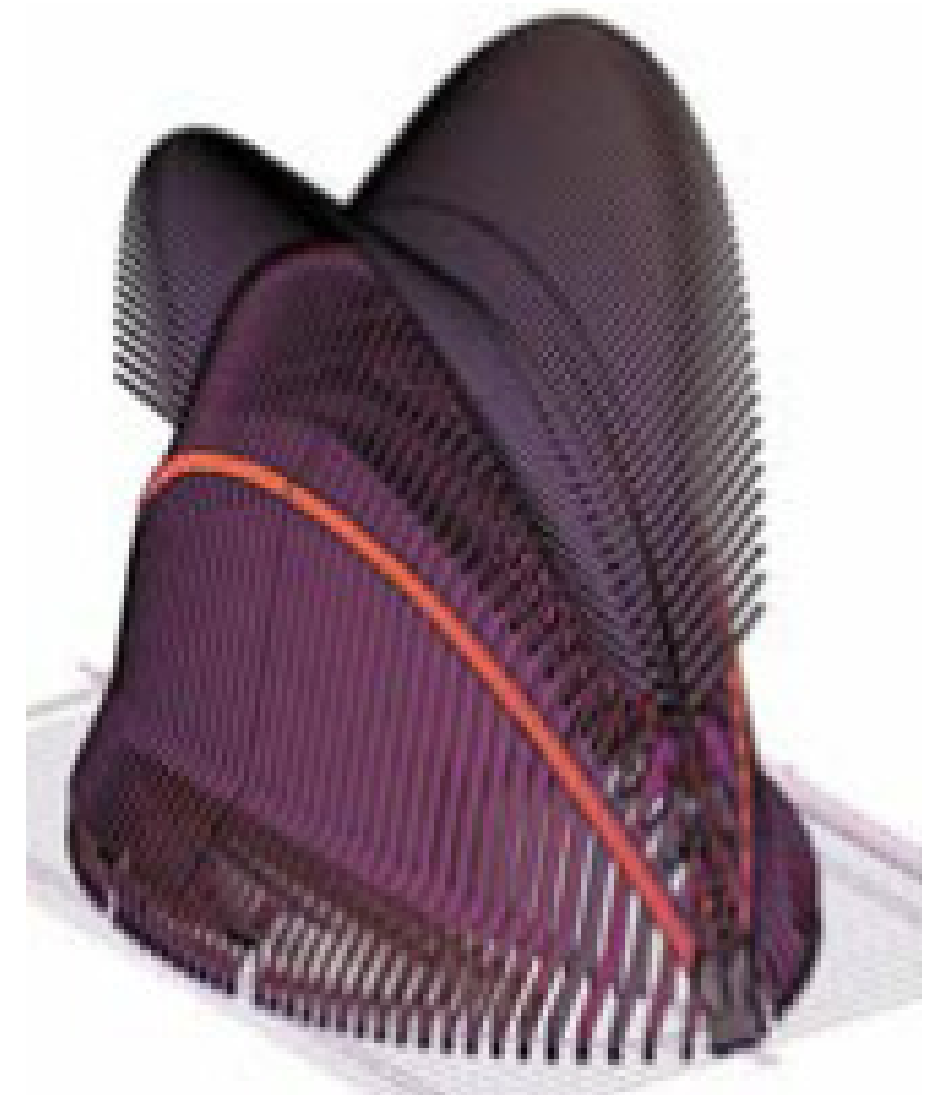


ESTRUCTURA MÓVIL DEL ÁGORA

Cada una de las dos mitades de la cubierta móvil está formada por una estructura independiente, que apoya sobre la estructura fija anteriormente descrita. Esta cubierta está compuesta por 163 elementos lineales de acero denominados lamas (82 a un lado y 81 al otro), que en posición abierta apoyan en dos rótulas: una sobre la estructura fija y la otra sobre un arco tubular de diámetro 508 mm. Este último elemento se denomina arco móvil, y constituye uno de los elementos más singulares del edificio, ya que gobierna el movimiento del conjunto de lamas, siendo un elemento estructural crítico por su esbeltez (la distancia entre apoyos es 82 m), que ha requerido un estudio analítico de su estabilidad muy profundo.

La configuración estructural de la cubierta móvil viene condicionada por su geometría del movimiento, puesto que el movimiento de traslación de los 2 arcos móviles, generado por sendos pistones hidráulicos situados en sus extremos de apoyo, origina un movimiento de rotación compatible en todas las lamas. Cada apoyo de arco móvil se resuelve con 2 cilindros hidráulicos, cuyo movimiento se restringe a una traslación circular gracias a un elemento metálico móvil, denominado guía.

Con objeto de reducir al mínimo la carga sobre el arco móvil, cada una de las lamas se contrapesa mediante un volumen de hormigón determinado alojado en su parte trasera. La sección transversal de las lamas es trapezoidal de ancho inferior constante de 600 mm y ancho superior 200 mm, siendo el canto variable entre 2500 mm en la parte trasera hasta 300 mm en la punta. Cuando la cubierta se cierra, las lamas también apoyan en su extremo, sobre un apoyo combinado de compresión y antilevantamiento, para evitar vibraciones y ruidos en esta posición cerrada de la cubierta.



CARGAS DE DISEÑO

1.1 Cargas muertas de la estructura del Ágora.

Normalmente, el acero se considera que tiene una densidad de $7,850 \text{ kg/m}^3$ que corresponde a 77 KN/m^3 . Para tener en cuenta el peso de los refuerzos que se utilizarán, las telas finas o placas de las secciones del cuadro de copa viga y el apoyo de los arcos de carga de peso propio se ha aumentó un 20%. Esto significa que la carga de peso propio considera una densidad de acero de 9.400 Kg. / m^3 .

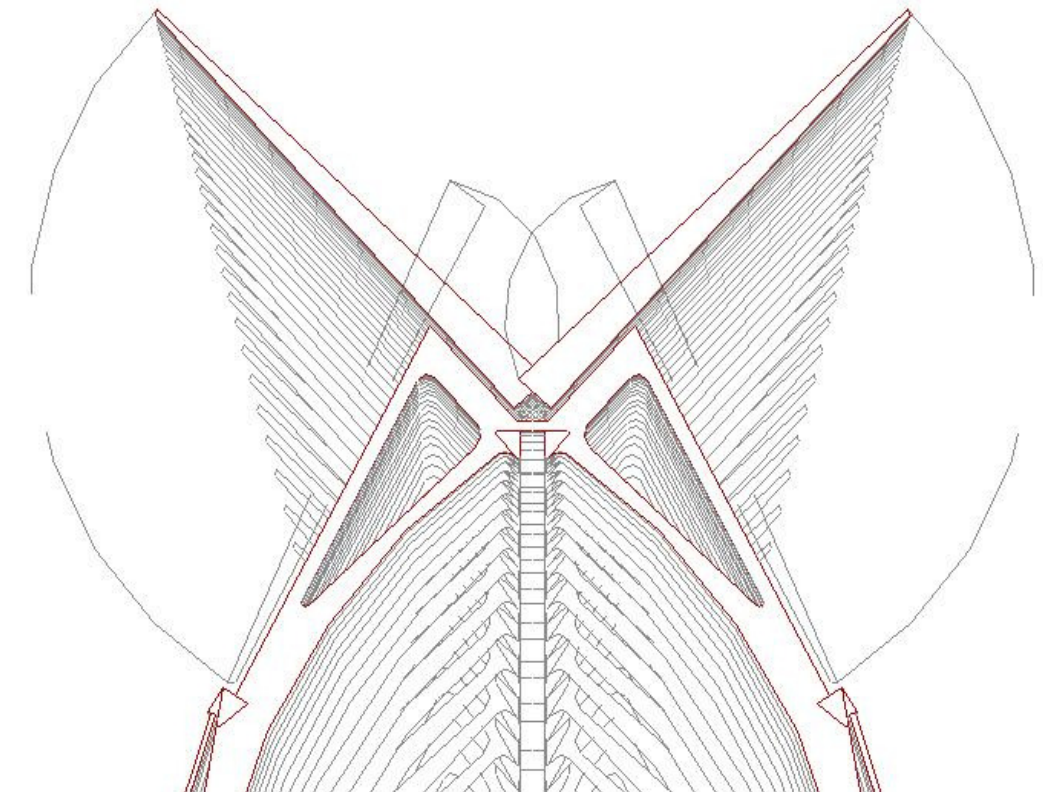
La cubierta móvil está formada por un total de acero de 1388 ton.

1.2 - Carga viva.

Carga viva no se consideran en las alas y el sistema móvil.

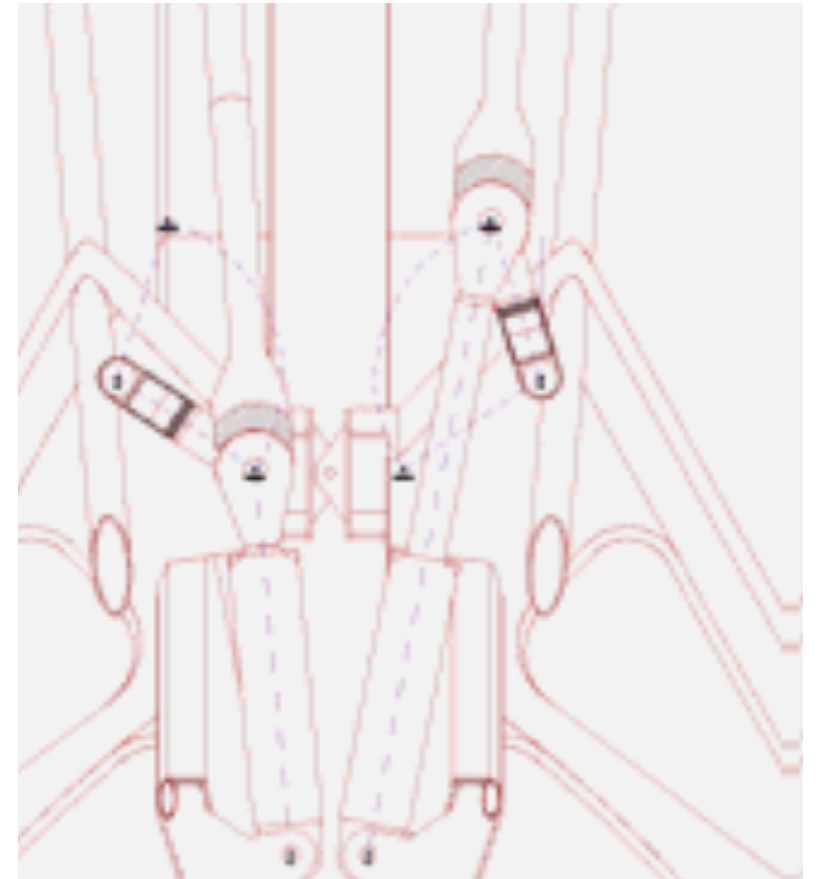
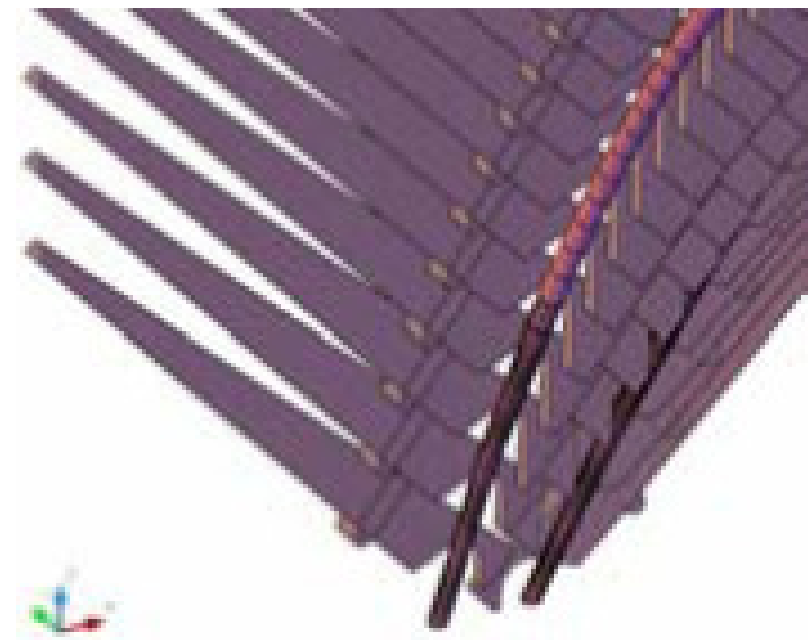
1.3 - Cargas de viento.

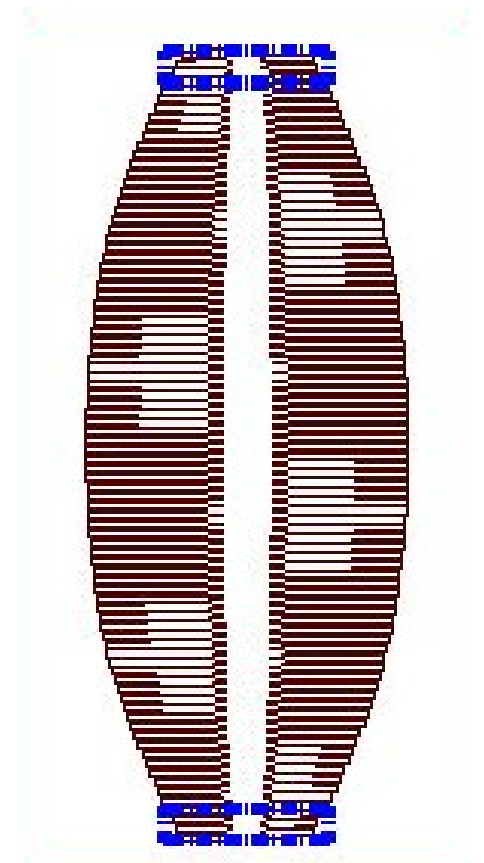
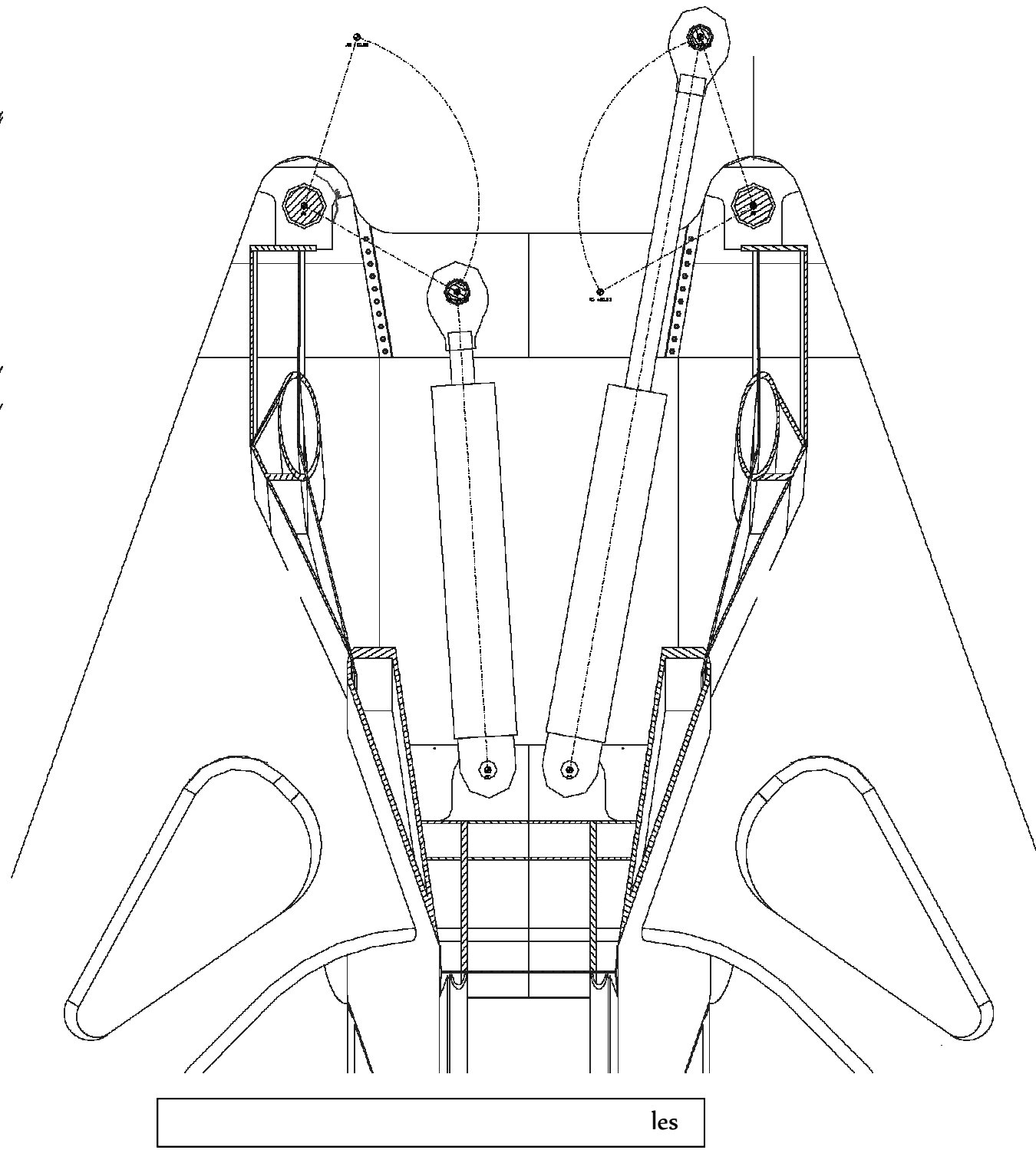
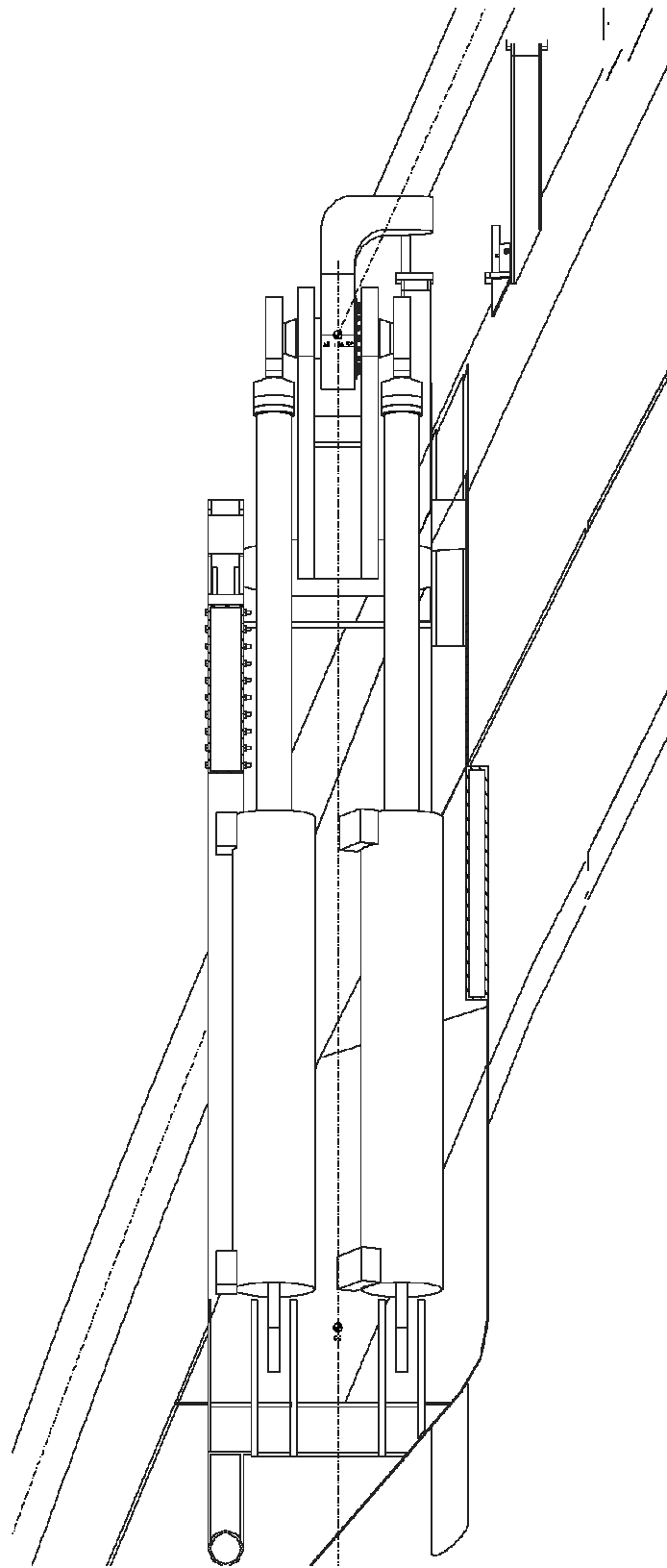
Las costillas están diseñados teniendo en cuenta dos situaciones diferentes: el diseño y el estado final del diseño de servicio. La velocidad del viento a tener en cuenta para el diseño de la cúpula es de 27 m/s (100 km/h), que es la considerada para la zona de Valencia. El diseño de las alas se hace considerando una referencia de velocidad igual a 17 m/s (60 Km/h) que es un valor evaluado por un estudio de los efectos del viento para la "Casa de la Ópera de Valencia". Para el diseño la velocidad del viento considerada es igual a 11 m/s (40 Km/h) que se considera el límite para que el sistema esté abierto. De hecho la cubierta dispone de un sensor específico que tiene como finalidad la de detectar la velocidad del viento y hacer que se cierren automáticamente las alas cuando el viento supera los 40 Km / h , para evitar el riesgo de un posible desprendimiento.



Detalles

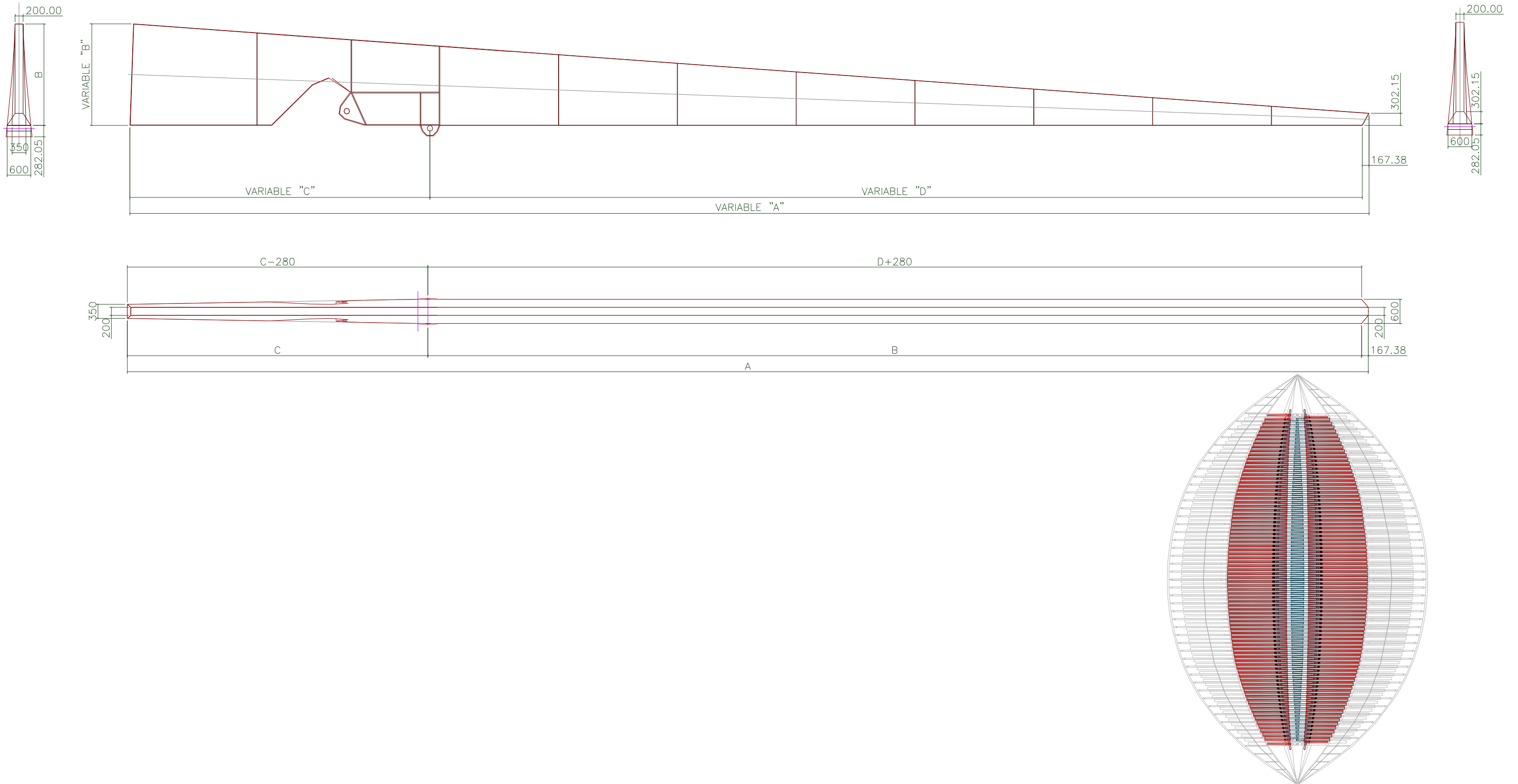
Mecanismo de movimiento del arco móvil





Detalles

Lamas

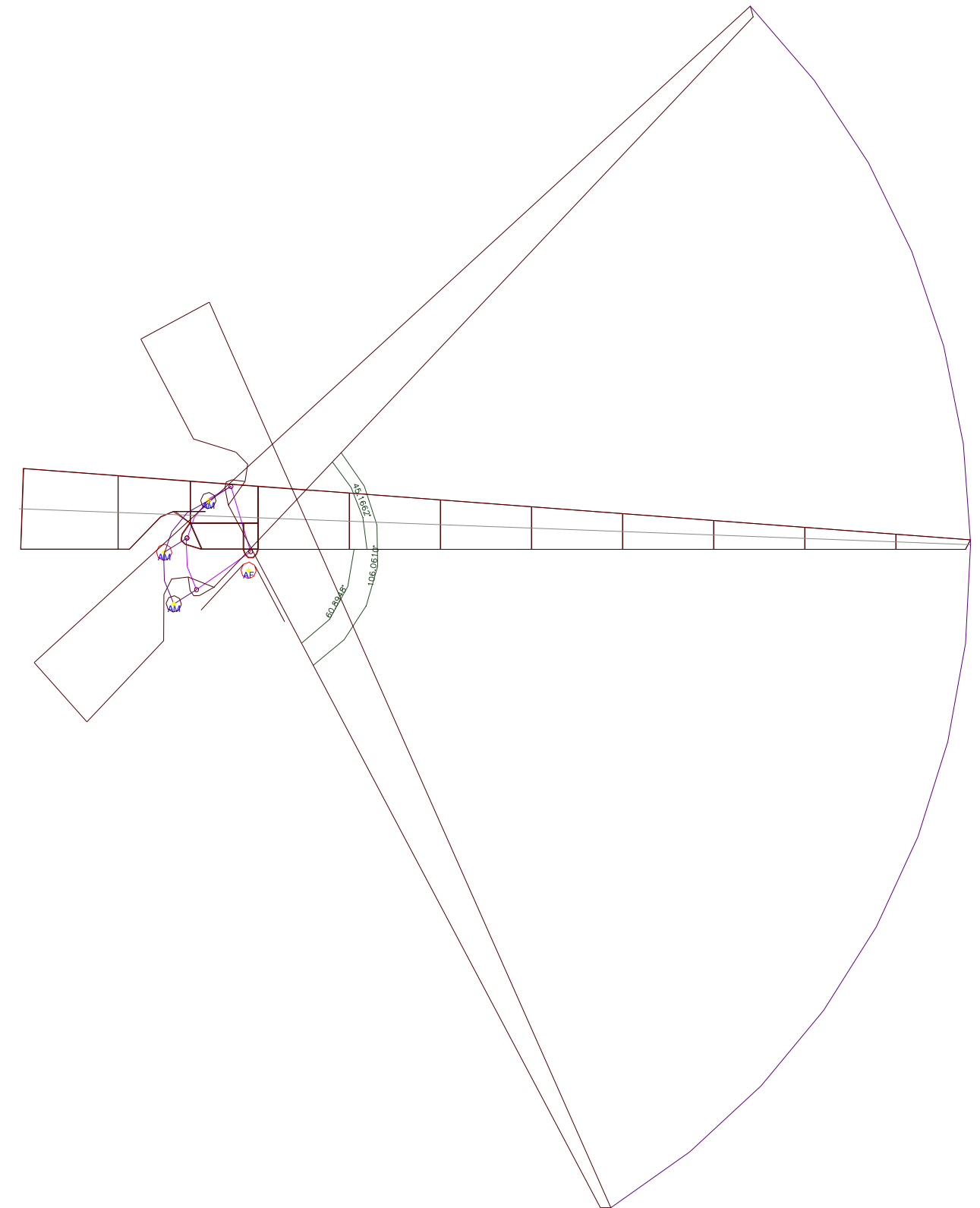


Descripción del cálculo estructural de la cubierta móvil

Se ha realizado un ajuste del contrapeso de las lamas, de manera que el centro de gravedad de las mismas en posición horizontal se sitúe en la vertical del apoyo sobre la rótula fija, y así minimizar la carga introducida en el arco móvil. Sin embargo, debido al giro de las lamas, fuera de su posición horizontal, el centro de gravedad quedará ligeramente desplazado respecto a la rótula fija, con lo que será inevitable solicitar el arco móvil bajo peso propio. Por otra parte, la acción del viento también originará esfuerzos en el arco móvil, aunque limitados, pues la apertura de la cubierta sólo se permitirá bajo la acción de vientos moderados.

El arco móvil es un elemento solicitado esencialmente a axil de compresión, en la posición abierta de las lamas, y de tracción, para las posiciones próximas al cierre de la cubierta. Así, en posición abierta el centro de gravedad de las lamas queda desplazado ligeramente hacia su parte trasera respecto a la rótula fija, por lo que se introducen cargas hacia abajo sobre el arco móvil. En la posición casi cerrada, ocurre al revés, y las cargas sobre el arco móvil resultan hacia arriba.

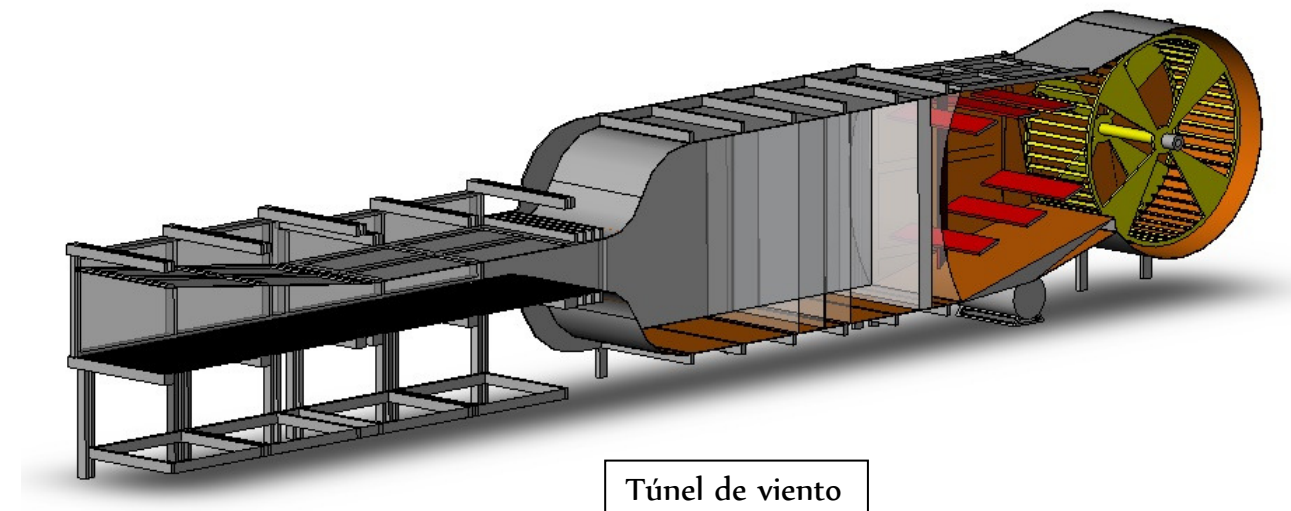
Teniendo en cuenta la gran esbeltez del arco móvil (diámetro 508 mm frente a una distancia entre apoyos de 82 m), su capacidad para absorber axiles se explica gracias a la perfecta "simbiosis" entre lamas y arco. Efectivamente, las lamas en posición abierta se apoyan sobre el arco, mientras que el arco es estable gracias al arriostramiento que le proporcionan las lamas, así como a la coacción a momento que también le proporcionan en 2 direcciones (las que no corresponden a la dirección del obligado eje de giro). Para que esto sea posible, ha sido necesario dotar al tramo de lama entre las rótulas fija y móvil de una rigidez importante, estando el resto de la lama formada por chapas de espesor mínimo (5 mm) para reducir la reacción transmitida.



Otro análisis de la cubierta móvil que merece destacarse ha sido el estudio de los esfuerzos introducidos en el sistema durante el cierre de la misma. Determinados factores, como la acción del viento o las variaciones de temperatura del arco móvil, llevan asociados desplazamientos de la punta de las lamas, que provocan que algunas lamas apoyen en su extremo antes que otras durante el cierre. Los esfuerzos internos que se introducen al cerrar la cubierta en las situaciones extremas fueron evaluados analíticamente, con objeto de garantizar que todas las lamas apoyen y que el cierre de la misma es viable en cualquier situación.

De gran complejidad resultó también la definición de la estructura fija de apoyo de los mecanismos (cilindros hidráulicos y guías). Esta estructura debía aportar espacio y capacidad de soporte suficiente para los mecanismos, a la vez que quedar integrada dentro de los condicionantes que imponen los acabados del edificio.

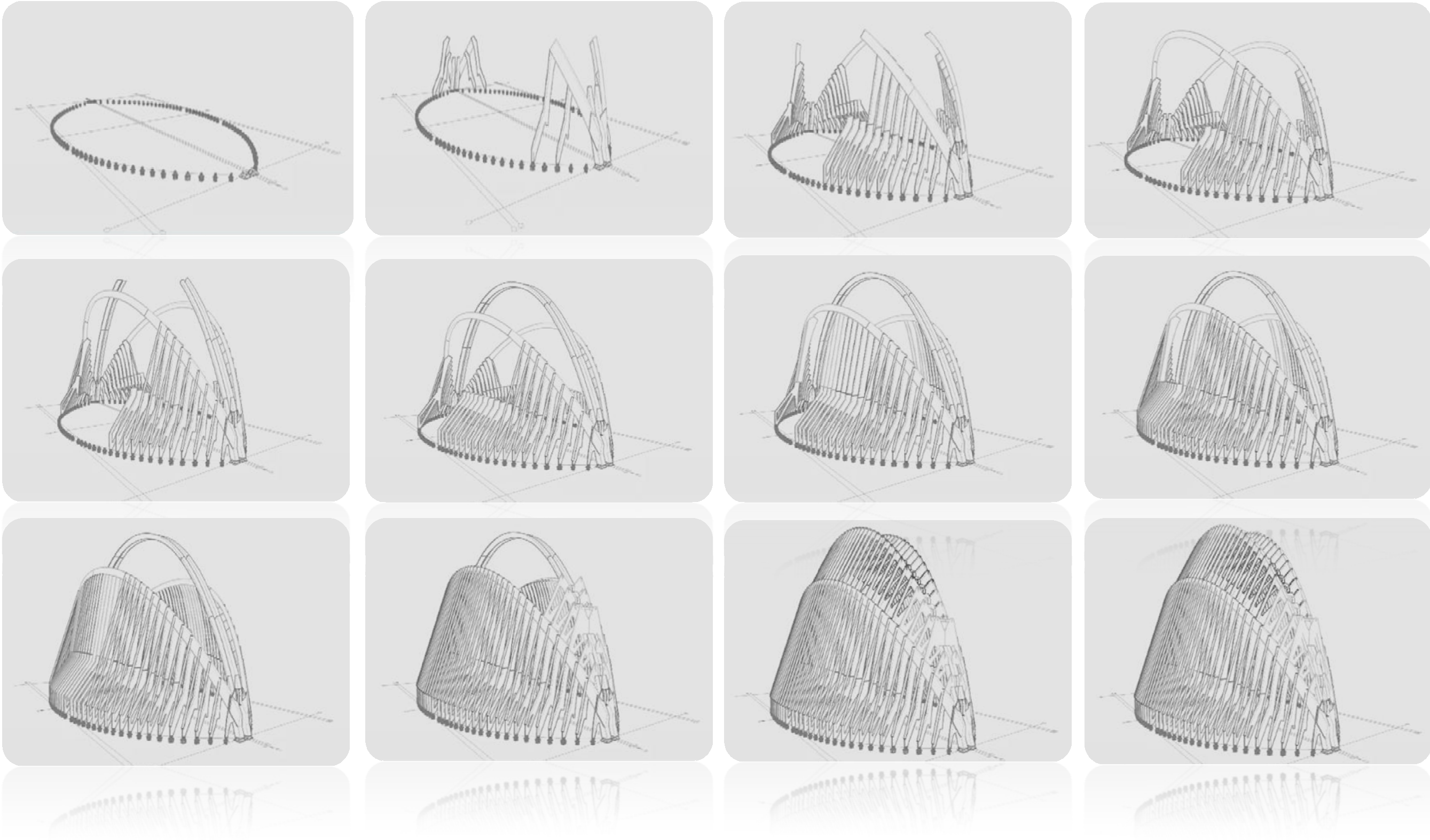
El mismo laboratorio de ensayos de túnel de viento referido para la estructura fija (The Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory) analizó también el comportamiento aerodinámico de la cubierta móvil y realizó una estimación de las cargas de viento sobre la estructura. Se realizaron ensayos sobre 2 modelos diferentes para valorar la respuesta de la cubierta en las posiciones extremas que mayores dudas suscitaban en cuanto a su respuesta aerodinámica, esto es, la posición abierta y la posición un instante anterior al cierre de las lamas. Se construyó un modelo aeroelástico que incorporaba las propiedades elásticas tanto de las lamas como del arco móvil, disponiéndose las lamas en las 2 posiciones descritas, lo que permitió descartar las posibles inestabilidades aerodinámicas. Durante estos ensayos, también se midieron las reacciones en los modelos aeroelásticos que originaba la acción del viento, con lo que se pudo ajustar los valores de las cargas de viento de diseño.



5. CONSTRUCCIÓN



SECUENCIA DEL PROCESO DE MONTAJE DEL ÁGORA

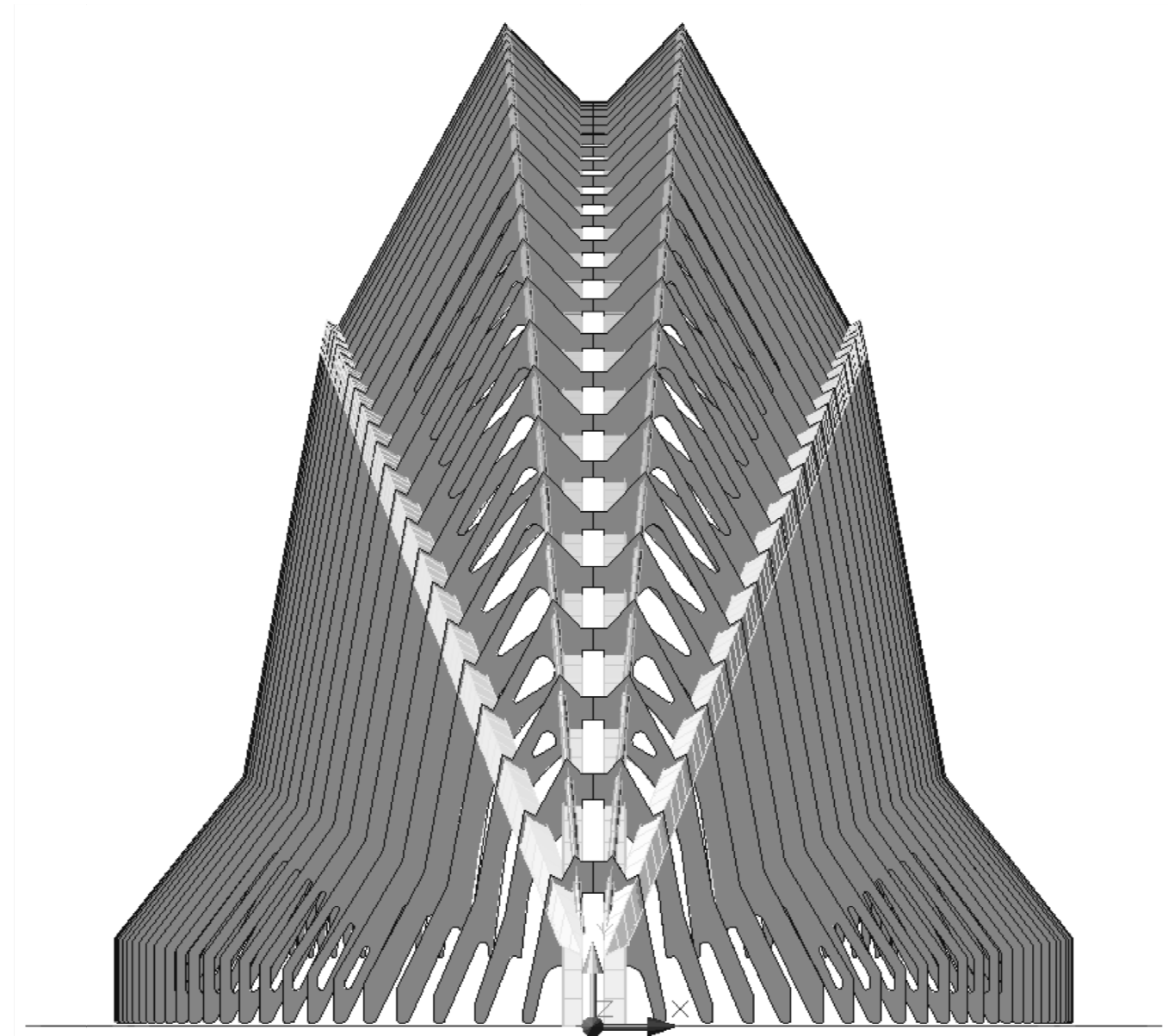
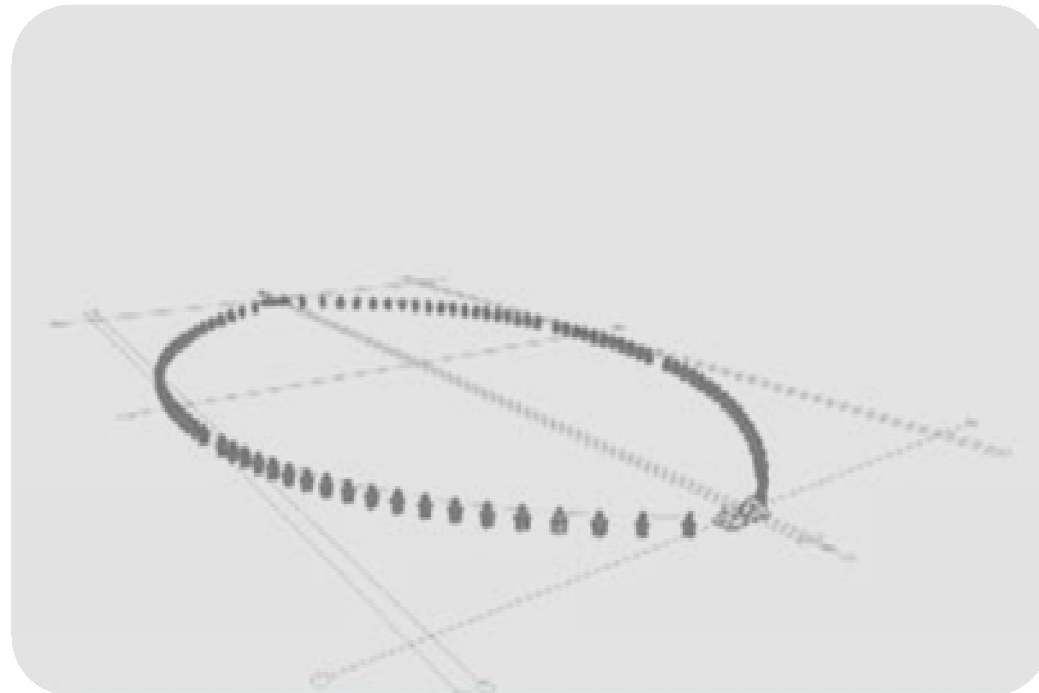


PROCESO DE MONTAJE DEL ÁGORA

En el edificio ágora se lleva a cabo un proceso constructivo de gran complejidad, sobre todo por el hecho de que no se trata de una superficie autoportante y necesita un gigantesco entramado de apeos que la sustenten hasta el momento en que se llegue a la parte superior del edificio y la estructura se articule.

1. ELEMENTOS PRINCIPALES DEL EDIFICIO

La estructura fija del Ágora consta de 49 pórticos arriostrados por 2 parejas de arcos longitudinales, arcos S4 y Arcos E-G. Así mismo, aunque forma parte de la cubierta móvil, los pórticos quedan arriostrados por los arcos S5 situados en la coronación de los mismos. La geometría en planta consiste en un rectángulo sobre el que se da forma a la base que configura el Ágora mediante la intersección de dos círculos, cuyas diagonales mayor y menor son los ejes de simetría del edificio.



2. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE

El montaje del edificio se realiza de forma evolutiva en 7 fases, realizándose de forma simultánea desde ambos extremos.

El sistema de apeo previsto para el montaje está constituido por torres de apeo arriostradas longitudinal y transversalmente sobre las que apoyan los arcos.

Las alineaciones en las que se sitúan las torres, son las siguientes: ± 22.5 , ± 18.5 , ± 14.5 , ± 9.5 y ± 3.5 .

Para evitar la afeción a la losa del Ágora y al aliviadero, las torres apoyan sobre zapatas de hormigón y sobre bastidores metálicos, respectivamente.

En el caso de las torres de apeo de los arcos E-G de las alineaciones -18.5 y -14.5 , así como de los arcos S4 de la alineación -18.5 , para evitar la afeción al forjado de la sala técnica, se reapea éste último, llevando las torres hasta la losa de cimentación.

Para el montaje de la estructura se emplearán grúas de tonelaje variable en función del tamaño de las piezas y de la posición de éstas. El paso de las grúas por la losa del Ágora sólo podrá realizarse en las zonas libres marcadas por las zapatas, sin atravesar bajo ningún concepto el aliviadero ni el forjado de la sala técnica. Por ello se han habilitado dos accesos a la losa. Así mismo, remarcar que se debe poner una cama de arena bajo las placas de reparto de las grúas una vez se posicionen para conseguir un reparto uniforme de la carga.

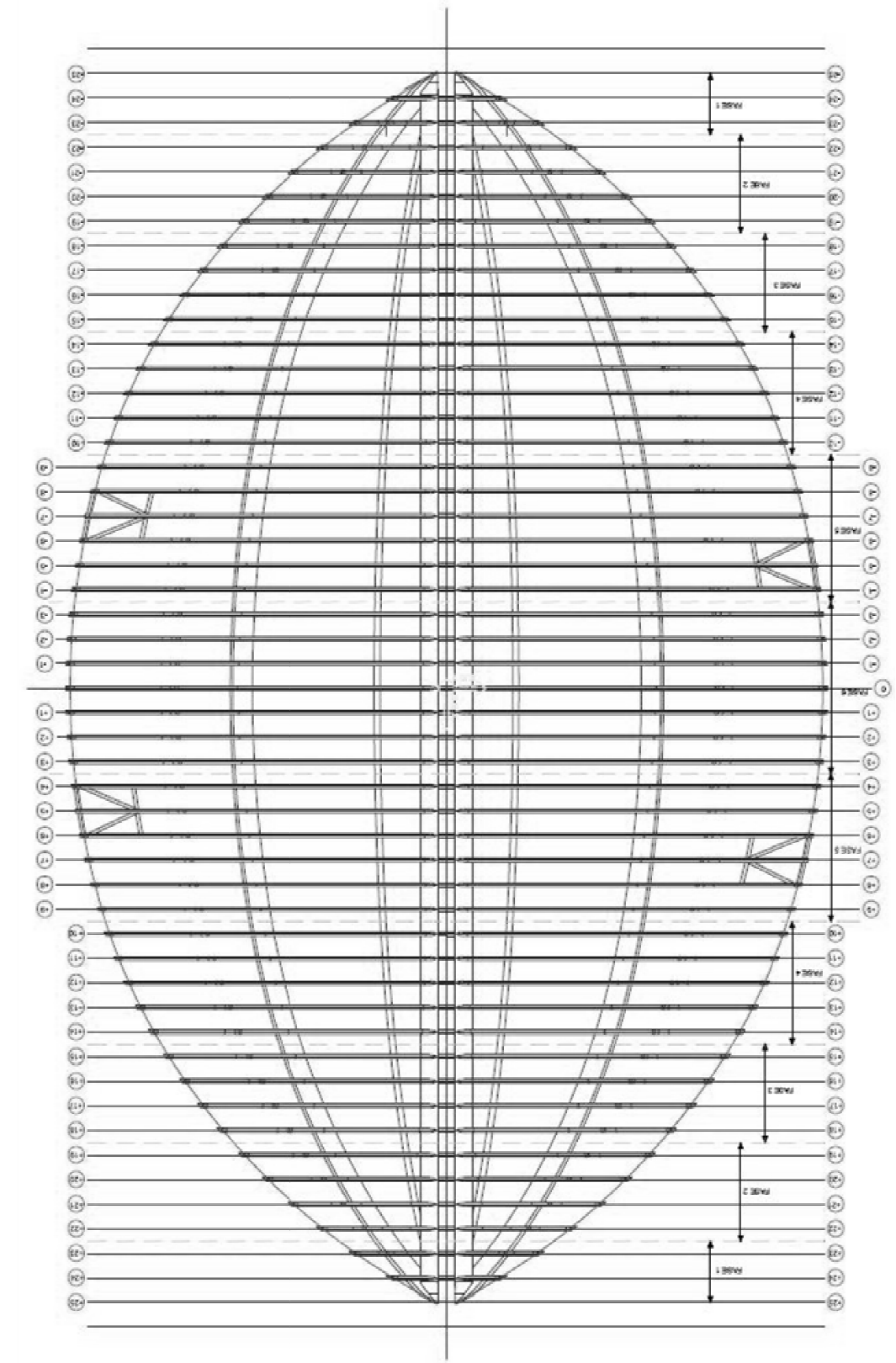


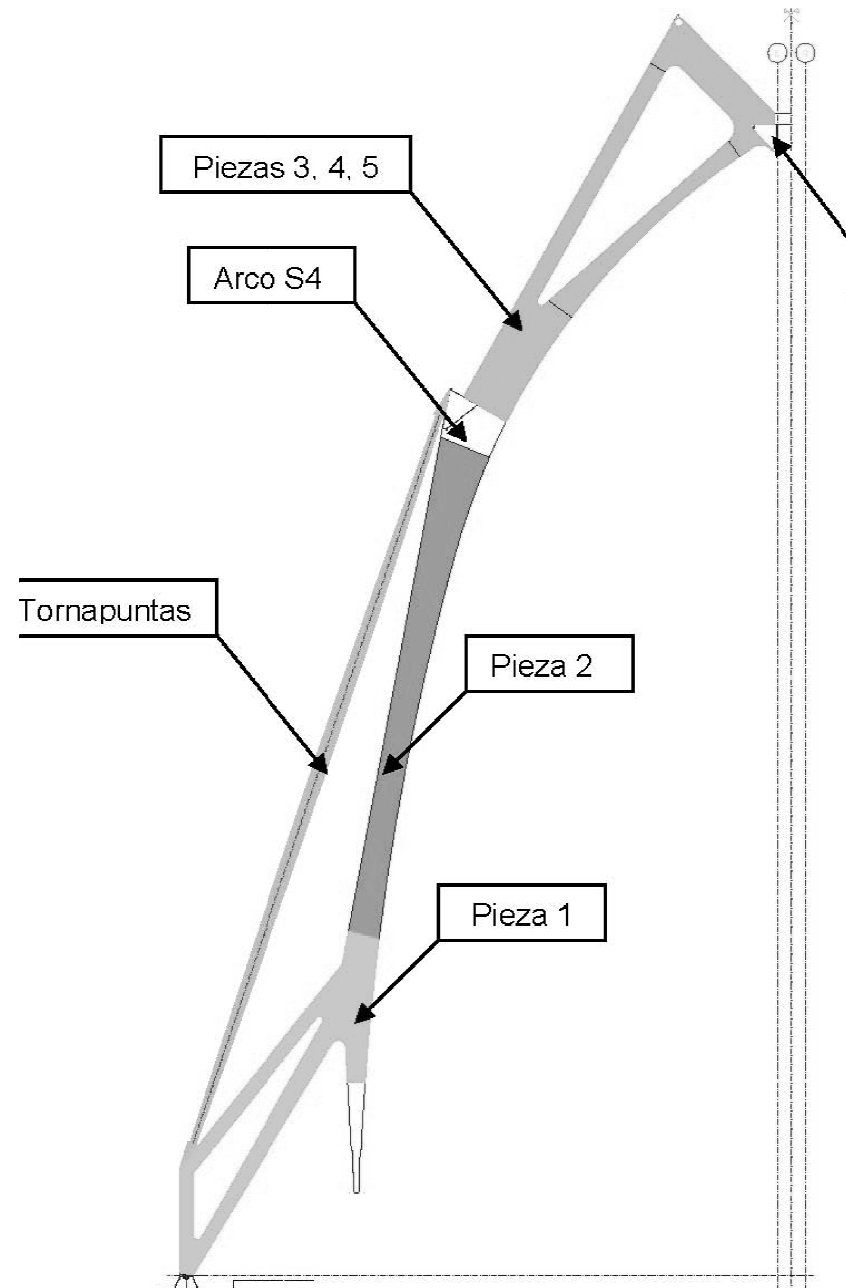
Fig. 1. a de la situación de las alineaciones

Los pórticos se dividen en 5 piezas, que son las siguientes:

- Piezas 1 y 2, tramo de pórtico situado entre el apoyo hasta el arco S4
- Piezas 3, 4 y 5, tramo de pórtico situado entre los arcos S4 y los arcos E-G.

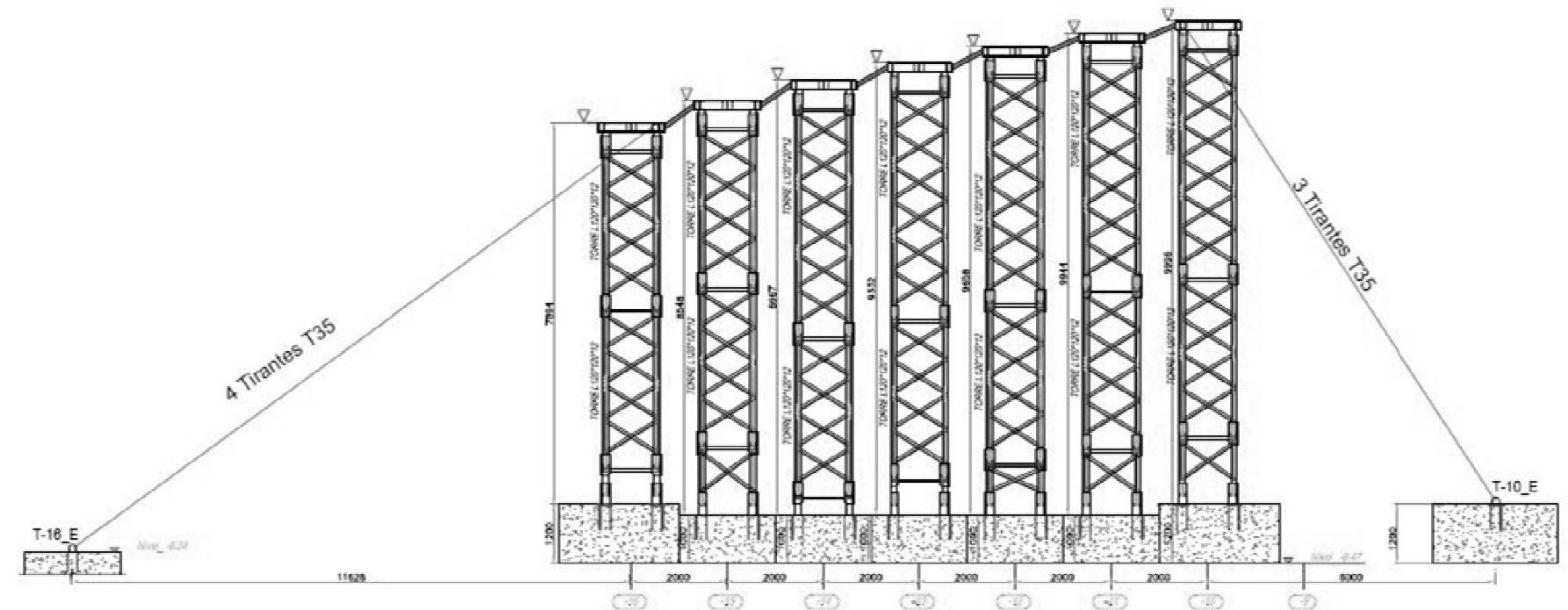
En el caso de las piezas 3,4 y 5, se iza el conjunto de piezas previo armado en obra.

Respecto al montaje de las piezas 1 indicar que se prevé disponer una torre de apeo por pieza, salvo en los pórticos 24 a 17, cuyas dimensiones permiten el izado de las piezas 1-2, previo armado en obra. Dichas torres apoyan sobre zapatas para evitar la afección a la losa.



Debido a la afección de los mecanismos y estructura móvil sobre la estructura fija hay diversos elementos que no se pueden montar por lo que se prevé disponer elementos provisionales. Los elementos afectados son los siguientes:

- Pórticos 23 y 24
- Tramo 1 del arco E-G entre las alineaciones 22.5 y 18.5
- Piezas 3-4 de los pórticos 22 a 19
- ArcoS5



3. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE MONTAJE

Las fases analizadas en el cálculo, se resumen a continuación. En cada fase se hace referencia a los pórticos y alineaciones de torres sin indicar si es Norte o Sur, ya que se procede al montaje simultáneo por ambos extremos. Los arcos y pórticos se han descompuesto en piezas de fabricación en taller del máximo tamaño transportable, con objeto de simplificar las labores de montaje.

FASE 1

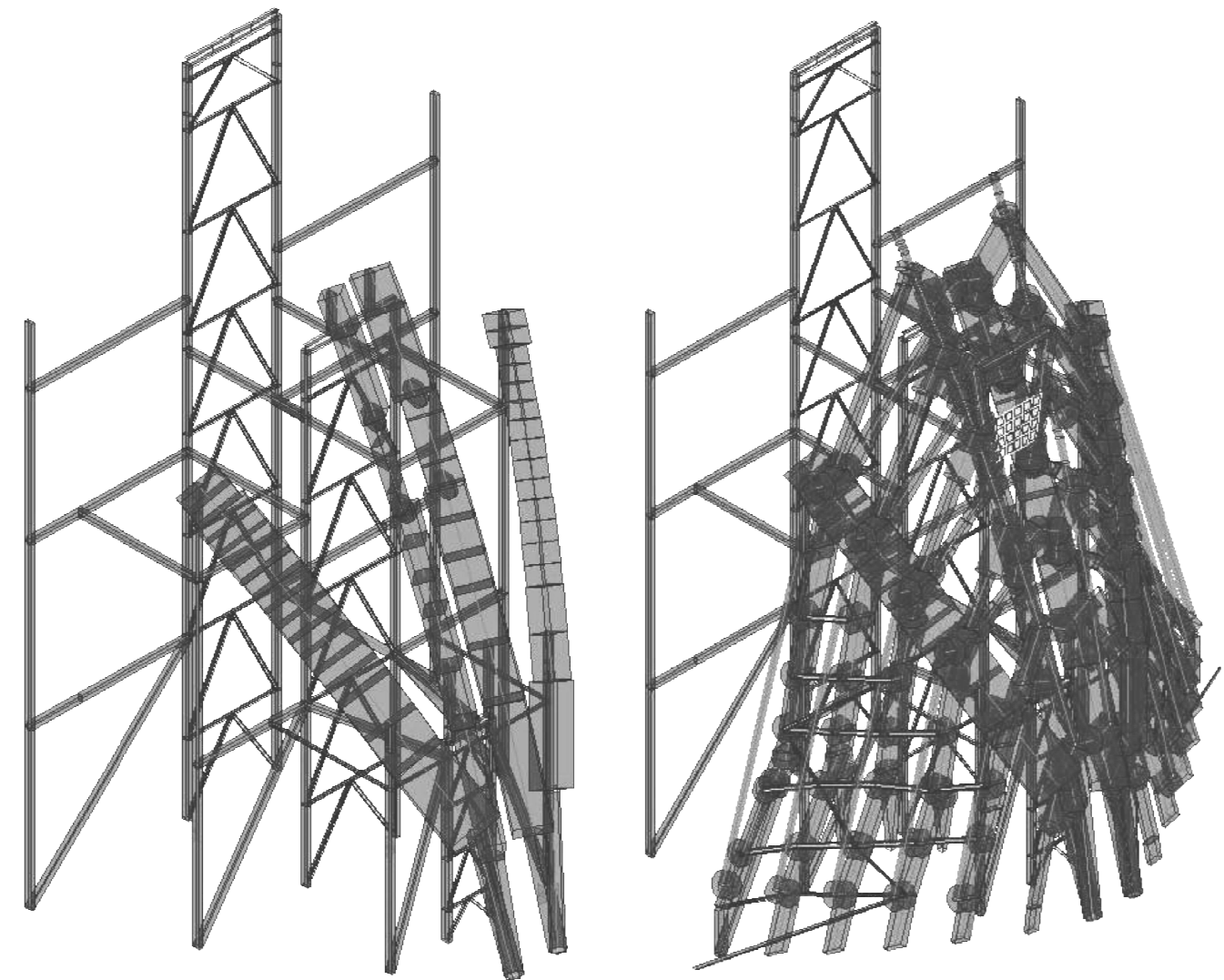
Sobre el perímetro se apoya la estructura en 92 articulaciones que permiten el mínimo momento necesario en estructuras de este tamaño. Inicialmente se colocan las dos primeras “costillas” o piezas tipo 1 apoyadas sobre las articulaciones 3 y 5 y que sustentan el primer tramo de los arcos laterales. A su vez se sitúan las primeras piezas de los arcos centrales y laterales. Sobre las costillas 3 y 5 y partiendo de la pieza dispuestas anteriormente se suelda el primer tramo de cada arco lateral. Seguidamente se montan las piezas tipo 1 de los pórticos 16 a 10 con sus respectivas torres de apeo.

A continuación se realiza el montaje de las torres de apeo de los arcos longitudinales E-G y S4, en las alineaciones 22.5 y 18.5. Una vez acabadas de montar las torres se disponen los arranques de los arcos citados. Para evitar el vuelco del arranque del arco S4 se dispone en la alineación 24 un puntal provisional que se eliminará una vez se haya montado el siguiente tramos del arco.

Una vez realizado este tramo se repiten las mismas operaciones para el tramo situado entre las alineaciones 18.5 y 14.5, después de lo cual se montará el tramo de arco S4 comprendido entre el arranque y la alineación 18.5, por lo cual se podrá retirar el puntal colocado para evitar el vuelco del arranque del arco S4.

El siguiente paso consiste en el montaje de las piezas 1 y 2 de los pórticos 19, 20, 21 y 22 de una pieza, previo armado en la obra antes de izarse, y también en el montaje de las tornapuntas y correas de arriostamiento.

Cada una de las “costillas” terminadas se atiranta al arco lateral individualmente, trabajando los tirantes a tracción. Para terminar la Fase 1 del Proceso de Montaje se realiza el arco provisional que sustituye al tramo de arco E-G afectado por los mecanismos.



FASE 2

La fase 2 comienza con el montaje de las torres de apeo de los arcos longitudinales E-G y S4 para el tramo situado entre las alineaciones 14.5 y 9.5 con la posterior colocación del tramo de arco S4 desde la alineación 18.5 hasta la 14.5.

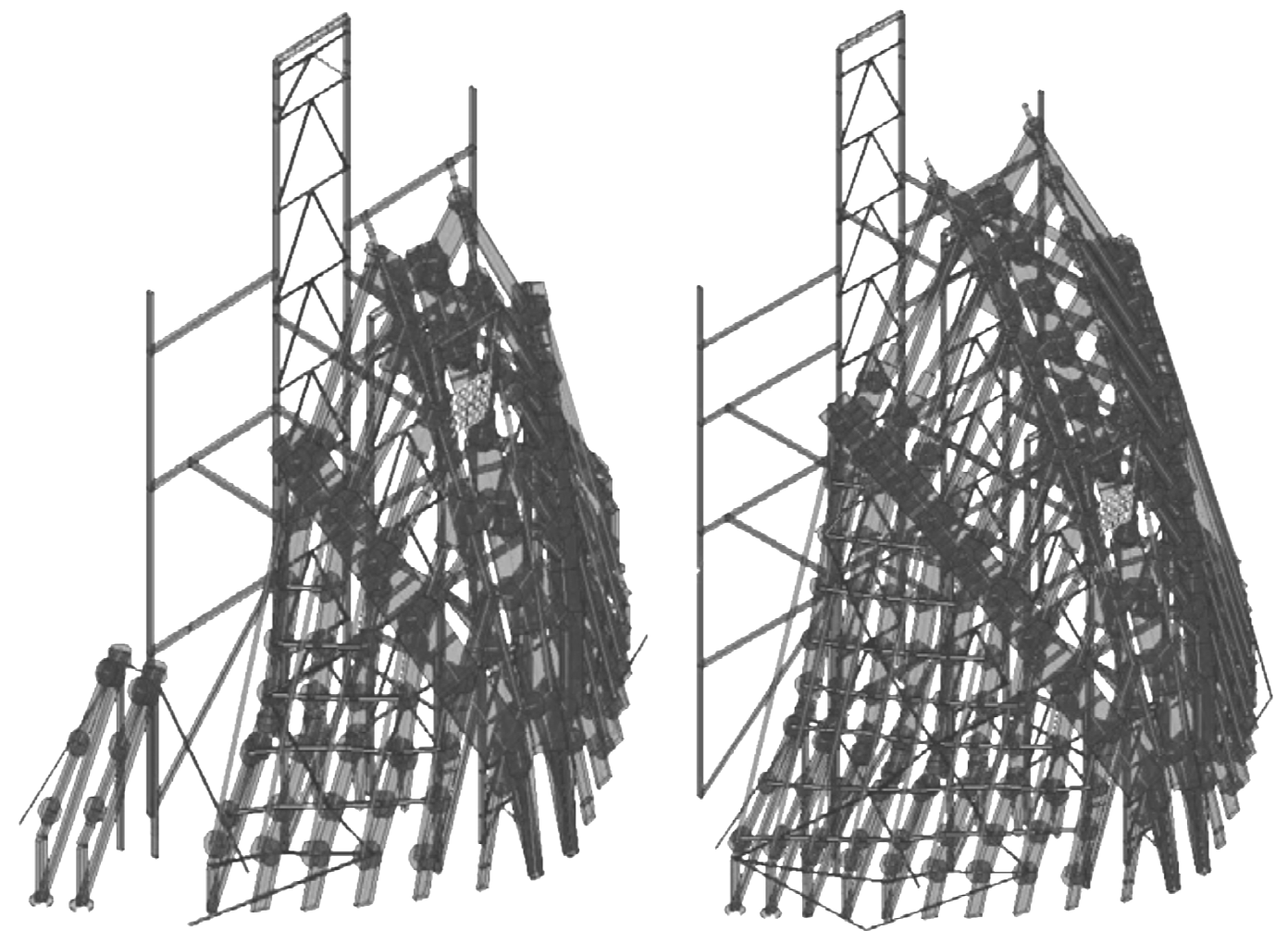
Seguidamente se colocan las piezas tipo 1 y 2 de los pórticos 17 y 18, previo armado en obra, articuladas sobre las bases colocadas al inicio. También se colocan las piezas tipo 2 en los pórticos 15 y 16. A todos estos se les montan las correspondientes tornapuntas y correas.

Hay que desapear las piezas 1 de los pórticos 15 y 16 y parcialmente la estructura, retirando las torres de apeo situadas en las alineaciones 22.5 a ambos lados.

Las “costillas” cuyas dos piezas han sido soldadas perfectamente se atirantan como se ha hecho con anterioridad y posteriormente se procede al montaje del arco longitudinal E-G y de las piezas 3-4 de los pórticos recientemente atirantados, los cuales hay que unir montando unas rótulas de conexión.

Posteriormente se cierran los arcos laterales uniéndolos mediante soldadura, siendo la pieza central la de mayor tamaño colocada en el edificio, y su colocación permite retirar los apeos de las costillas atirantadas hasta el momento.

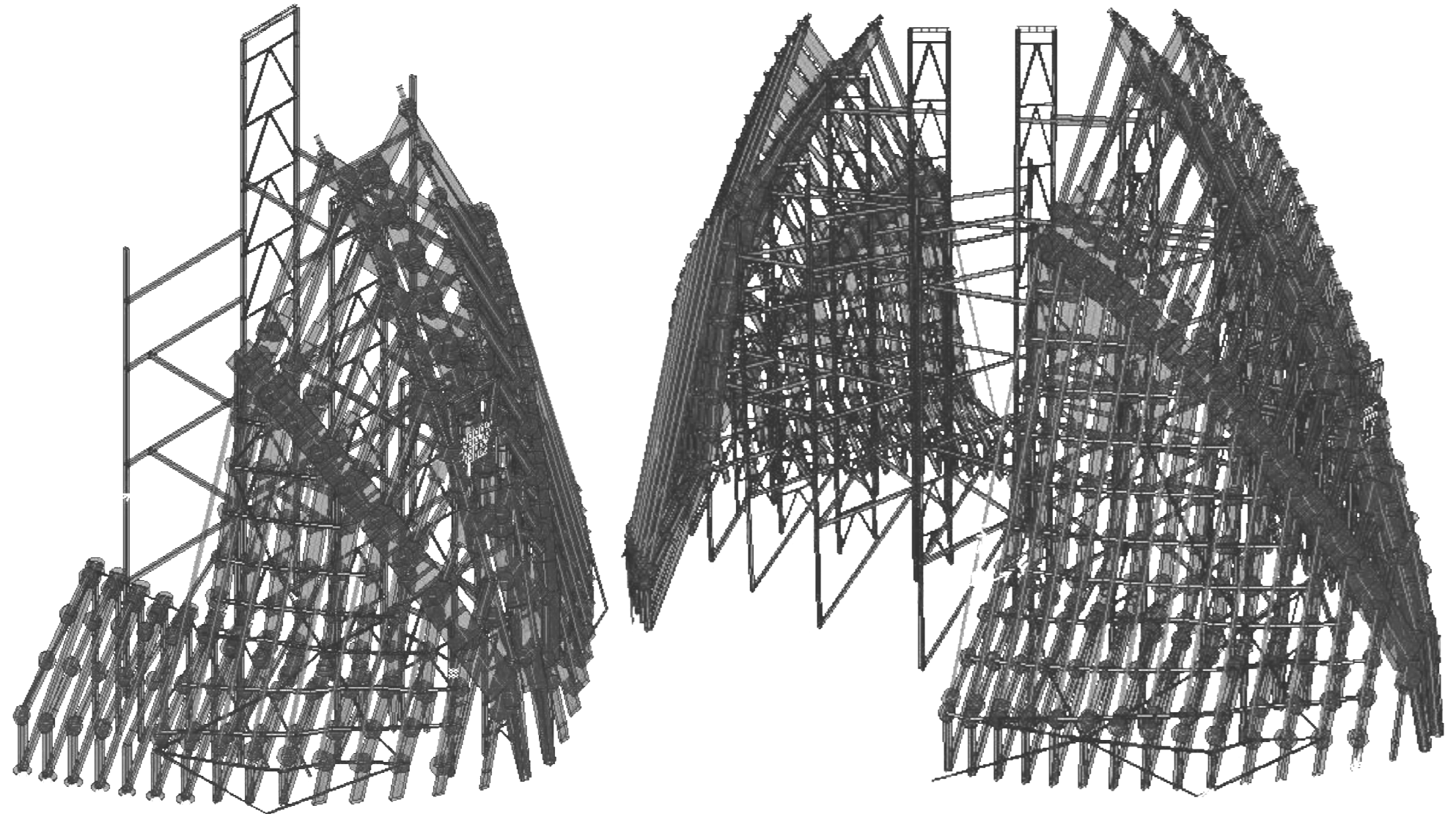
A continuación se dispone la primera parte de cada arco central que da rigidez a la estructura en dirección Norte-Sur. Sobre este arco se colocan posteriormente las piezas que llamaremos tipo 3 que configuran cada costilla. Son necesarios apeos de grandes dimensiones para soportar los arcos centrales.



FASE 3

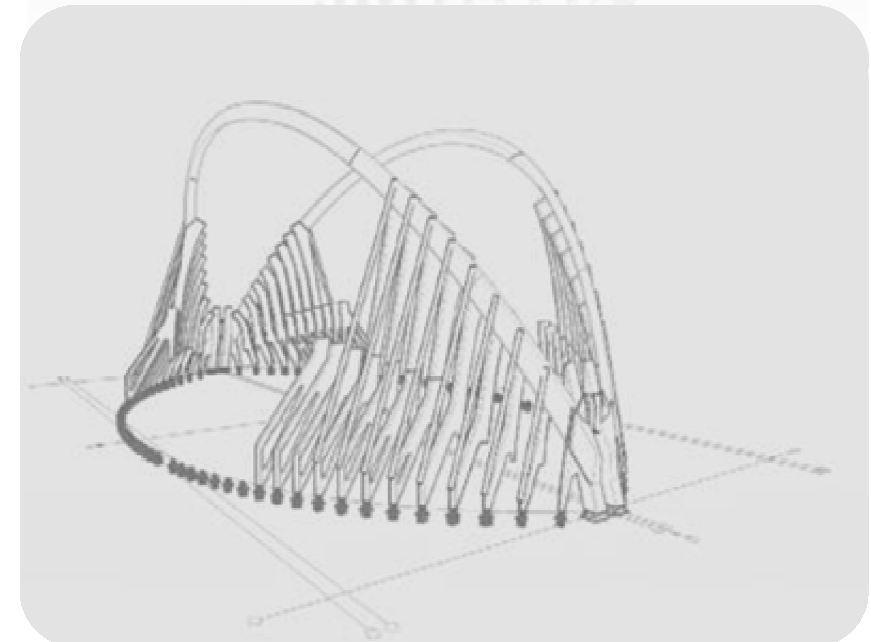
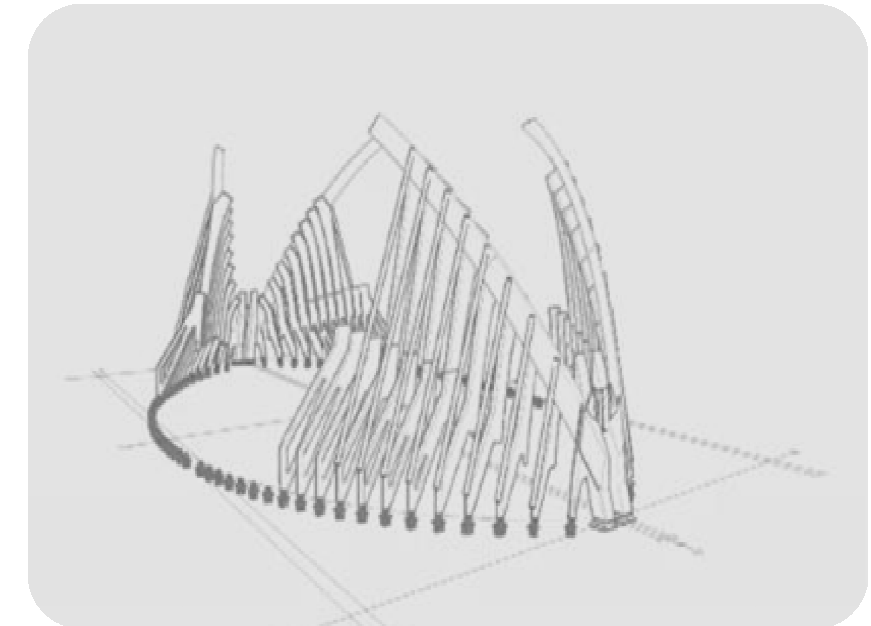
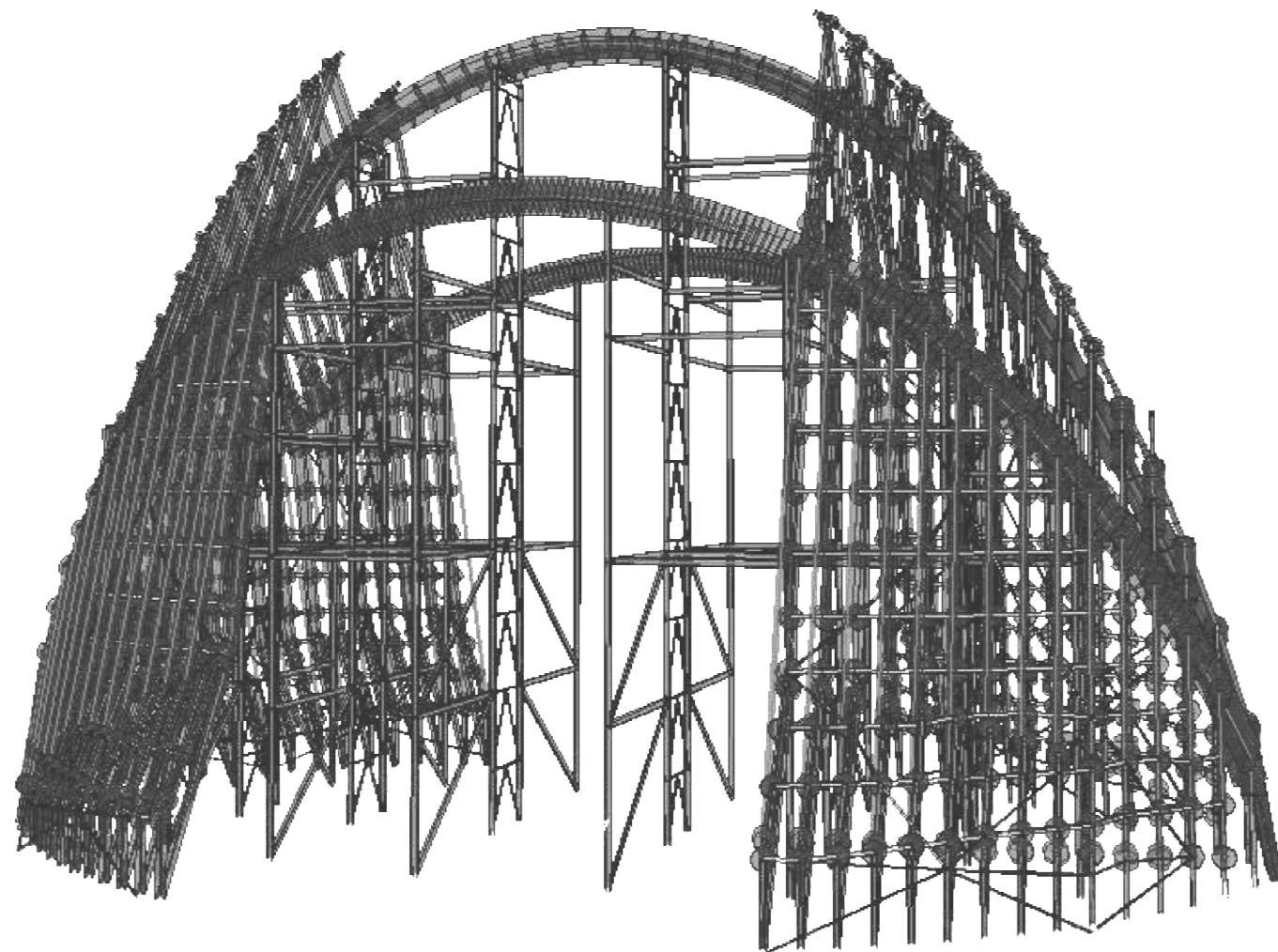
Esta fase igual que la anterior comienza con el montaje de las torres de apeo de los arcos longitudinales E-G y arcos S4 para el tramo central, entre las alineaciones +9.5 y -9.5. Una vez situadas, se monta el tramo del arco S4 entre las alineaciones 14.5 y 9.5.

Seguidamente se montan las piezas 2, correas y tornapuntas de los pórticos 14 a 10, se desapean las piezas 1 y se les monta el arriostramiento lateral. A continuación se monta el arco E-G y las piezas 3 y 4 de los mismos pórticos y las rótulas de conexión entre ellos.



FASE 4

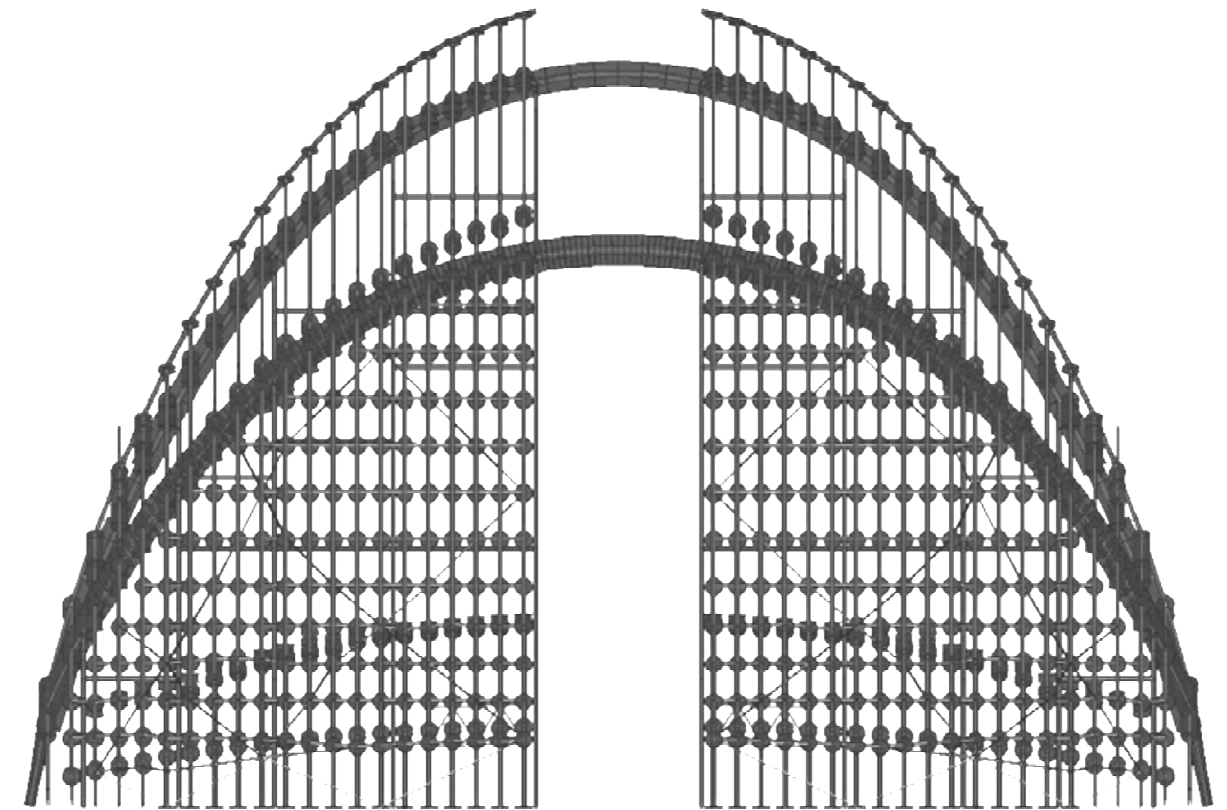
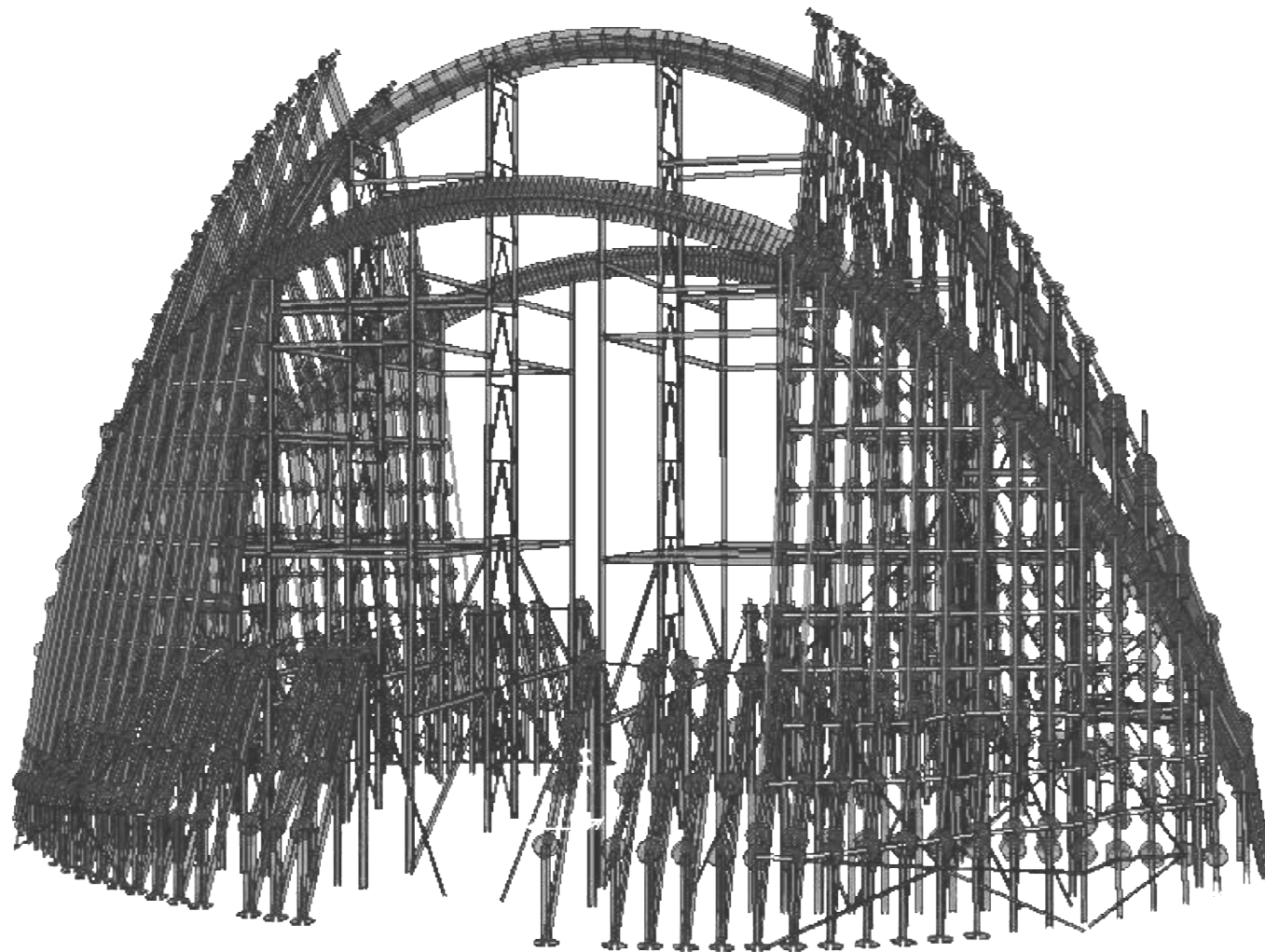
En esta fase se terminarán de cerrar los arcos longitudinales, primero montando el tramo del E-G entre los pórticos +9 y +4 y entre -9 y -4, terminándolo con la colocación de la pieza central entre los pórticos +3 y -3, realizando el mismo procedimiento para cerrar a continuación el arco S4.



FASE 5

Una vez cerrados todos los arcos se continúa con el montaje de forma simultánea del resto de piezas.

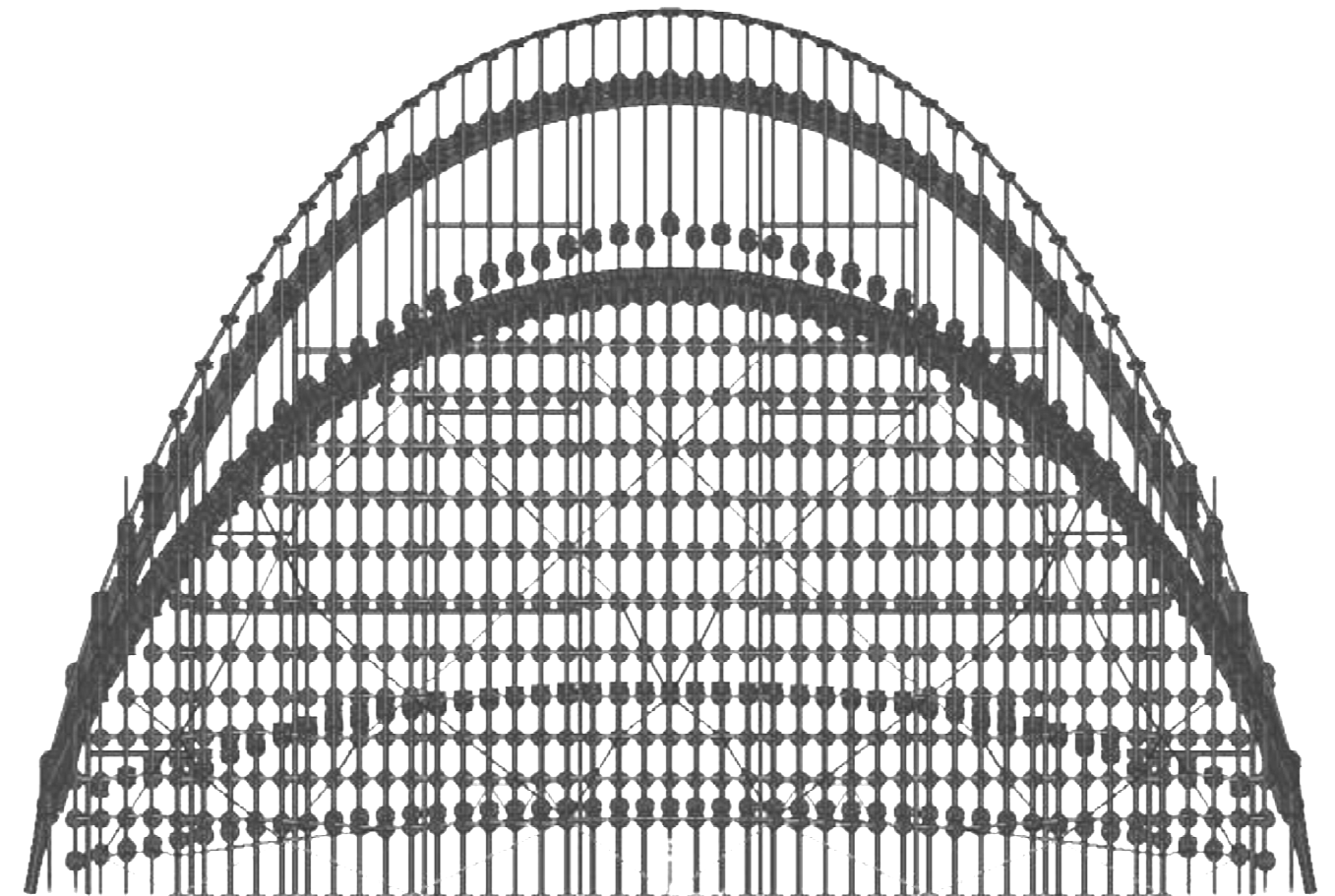
Se colocan las torres de apeo de los pórticos 9 a 4 y se montan las piezas 1 de cada uno de ellos. Seguidamente se montan las piezas tipo 2, las correas y los tornapuntas se procede al desapeo de las piezas 1 y se arriostran las “costillas” lateralmente. Para terminar se montan las piezas 3- 4 y las rótulas de conexión entre los pórticos.



FASE 6

En esta penúltima fase se termina de cerrar exteriormente el Ágora.

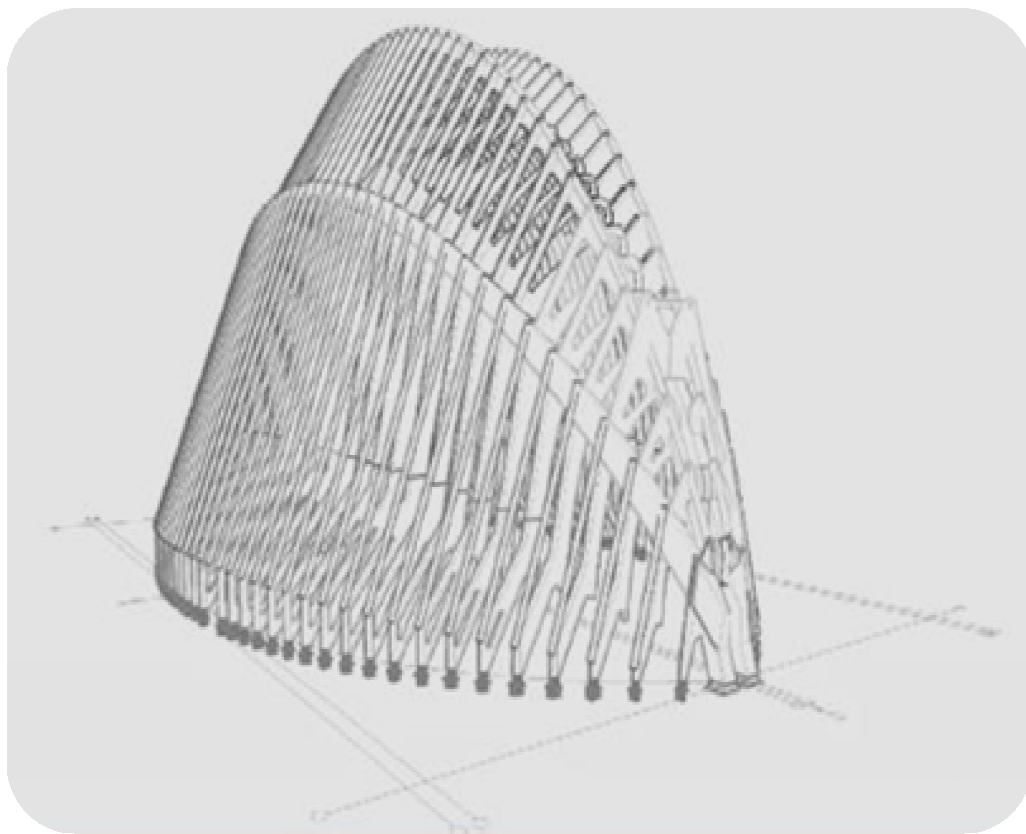
Comienza montando las piezas 1 de los pórticos centrales, situados entre el +3 y el -3, continuando con las piezas 2, las correas y los tornapuntas. Al terminar esto se desapean las piezas 1 de los pórticos citados y se arriostran lateralmente. Para facilitar el acceso al edificio existen dos “costillas” especiales en cada mitad del Ágora que se apoyan en sus contiguas mediante una viga. Para terminar se montan las piezas 3-4 de los pórticos y las rótulas de conexión entre ellos.



FASE 7

En esta última fase montan los arcos longitudinales E-G entre los pórticos 22 y 19, que es el tramo afectado por los mecanismos y se procede al desapeo del arco provisional. A continuación se montan las piezas 3-4 de los pórticos citados y las rótulas de conexión entre ellos.

Para terminar se montan los pórticos 23 y 24 y ya se puede desapear la estructura metálica y suprimirse los arriostramientos laterales entre pórticos.



4. MATERIALES

CIMENTACIONES

Como característica singular cabe mencionar la existencia de un aliviadero enterrado de aguas pluviales que atraviesa en diagonal la parcela. Este colector se ha puentado debidamente para que no se viera afectado lo que ha supuesto grandes retos para las fases de diseño y de ejecución.

Pilotes reforzados.

Una vez revisada la estructura de cimentación se estima necesario el refuerzo de 33 pilotes en sus primeros metros mediante la sustitución del armado inicial por 12 barras de diámetro 25.

Manguitos roscados

En la sección CC del anclaje del arco sur aparecen dos grandes pilares cuya armadura principal es de 72 barras del diámetro 32 con una distancia entre armaduras de 100mm esto implica una elevada dificultad a la hora de ejecutar los solapes con una disminución importante de la distancia entre armaduras y unos pesos totales de pieza que hacen muy difícil su maniobrabilidad, con el fin de evitar esto se propone unos manguitos roscados que evitan la prolongación de armaduras para solapes y permiten un más fiable hormigonado.

Suplementos hormigón

Dada la congestión de armaduras en la losa inferior de la sala técnica y más concretamente en la zona del anclaje del ascensor se estima necesario utilizar un HA35/F/12/IIIa+Qa en el hormigonado de esta zona, esto es un hormigón de consistencia fluida y tamaño máximo del árido de 12mm, en vez del HA35/B/20/IIIa+Qa existente en proyecto (consistencia blanda y tamaño máximo del árido 20).

Cimentaciones

Para la colocación de las barras Macalloy correspondientes a las placas de anclaje del encepado zona D es necesario realizar unos taladros en la losa superior del aliviadero.

MATERIAL	DEFINICIÓN	RECUBRIMIENTOS ARMADURA	
HORMIGÓN	PILOTES PREFABRICADOS	HA-45/B/20/IIIa+Qa	
	ENCEPADO ANULAR, LOSA ÁGORA	HA-35/B/20/IIIa+Qa	45
	MUROS, LOSAS DE SALA SOTERRADA	HA-35/B/20/IIIa+Qa	45
	SOLERA ESTANQUES, VIALES	HA-25/B/20/IIIa+Qa	30
	LOSA TÉRMICA ÁGORA	HA-25/B/20/IIIa+Qa	20
ACERO	ARMADURAS PASIVAS	B 500 S	
EJECUCIÓN	TODOS LOS ELEMENTOS		

ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.

Hormigones vistos

Los hormigones vistos son una de las constantes a lo largo de los proyectos de la Ciudad de las Ciencias y su correcta ejecución es una de las prioridades del proyectista. Para dar unidad a estos hormigones, con respecto a los ya ejecutados en el resto del complejo, surgen estas nuevas partidas:

Encofrado muro a dos caras vistas recto y curvo

Berengeno en muros rectos

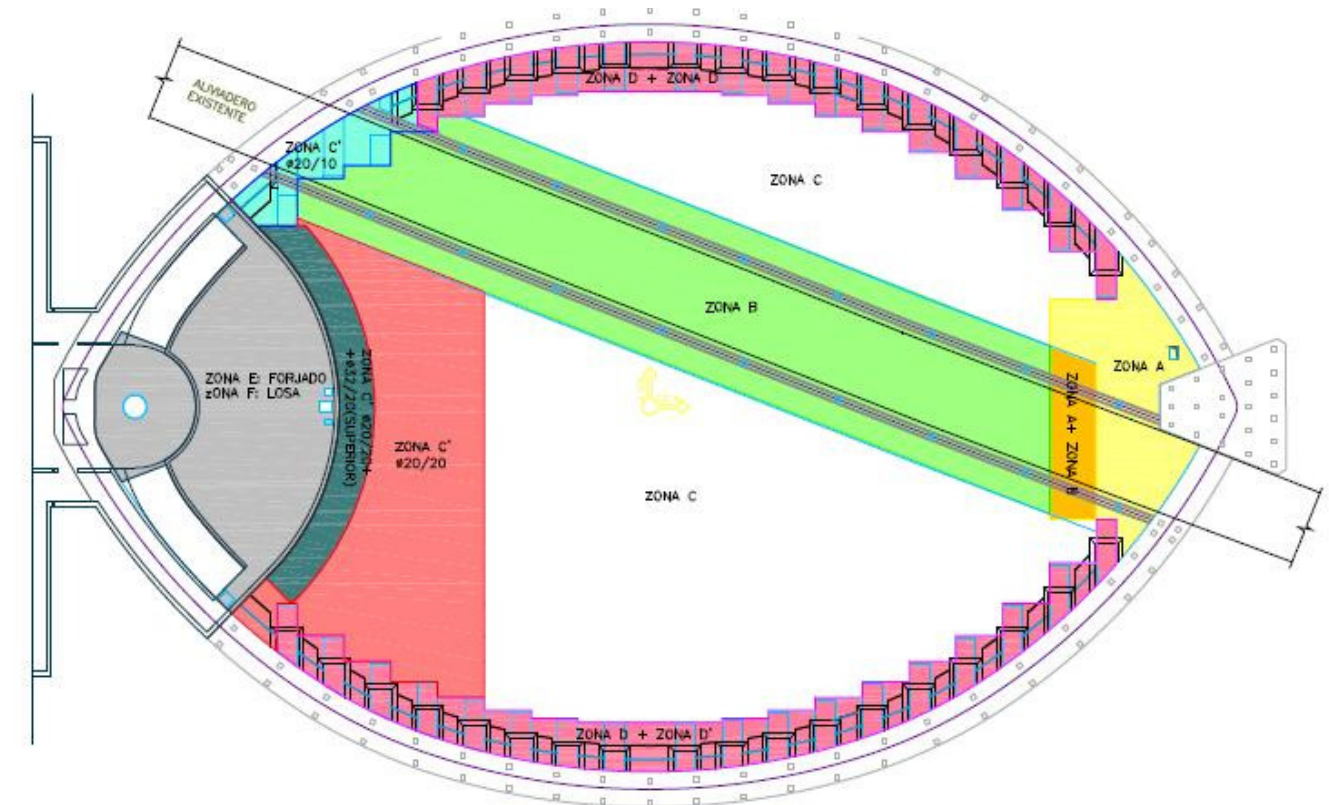
Berengeno en muros curvos

Berengeno para rodapié

Encofrado losa forjado plano no vista

Cimbras

Cimbrado de la zona inferior a los encepados puente que sostienen los arranques de los arcos en la sala técnica, está situado entre el muro 4 y el muro 2.



ESTRUCTURAS METÁLICAS.

Bulones

Se colocan bulones de 150 mm de diámetro en el apoyo de la estructura y se protegen estos mediante embellecedores de 300mm de diámetro, asimismo se dispone el galvanizado de las partes inferiores de la estructura y de sus placas de anclaje para evitar su corrosión. Aparecen por tanto estas nuevas partidas:

Bulón de 150 mm

Embellecedor Bulón

Galvanizado en caliente

Pinturas

Si bien en el pliego se solicitaba una clasificación C5M con una garantía de cinco años para la pintura que recubre la estructura metálica, se ha decidido ampliar dicha garantía hasta los quince años, por lo que se aplica un suplemento al precio del acero en este sentido.

Uniones

Todas las piezas metálicas están unidas mediante soldaduras a tope al ser prefabricadas y montadas in situ, excepto los tirantes y tornapuntas los cuales se acoplan mediante tornillos y tuercas a las piezas especialmente preparadas para ello, y las uniones en los apoyos de la estructura.



FACHADAS Y CUBIERTAS

Revestimiento interior

Para el ajuste de las características constructivas a los estudios acústicos, en cuanto a espesor de la chapa, perforaciones, absorbente acústico, etc.... Adecuación geométrica a la envolvente del edificio con piezas planas. Satisfacción de las exigencias formales en cuanto a disposición de paneles, juntas, etc. y resolución del sistema constructivo modular.

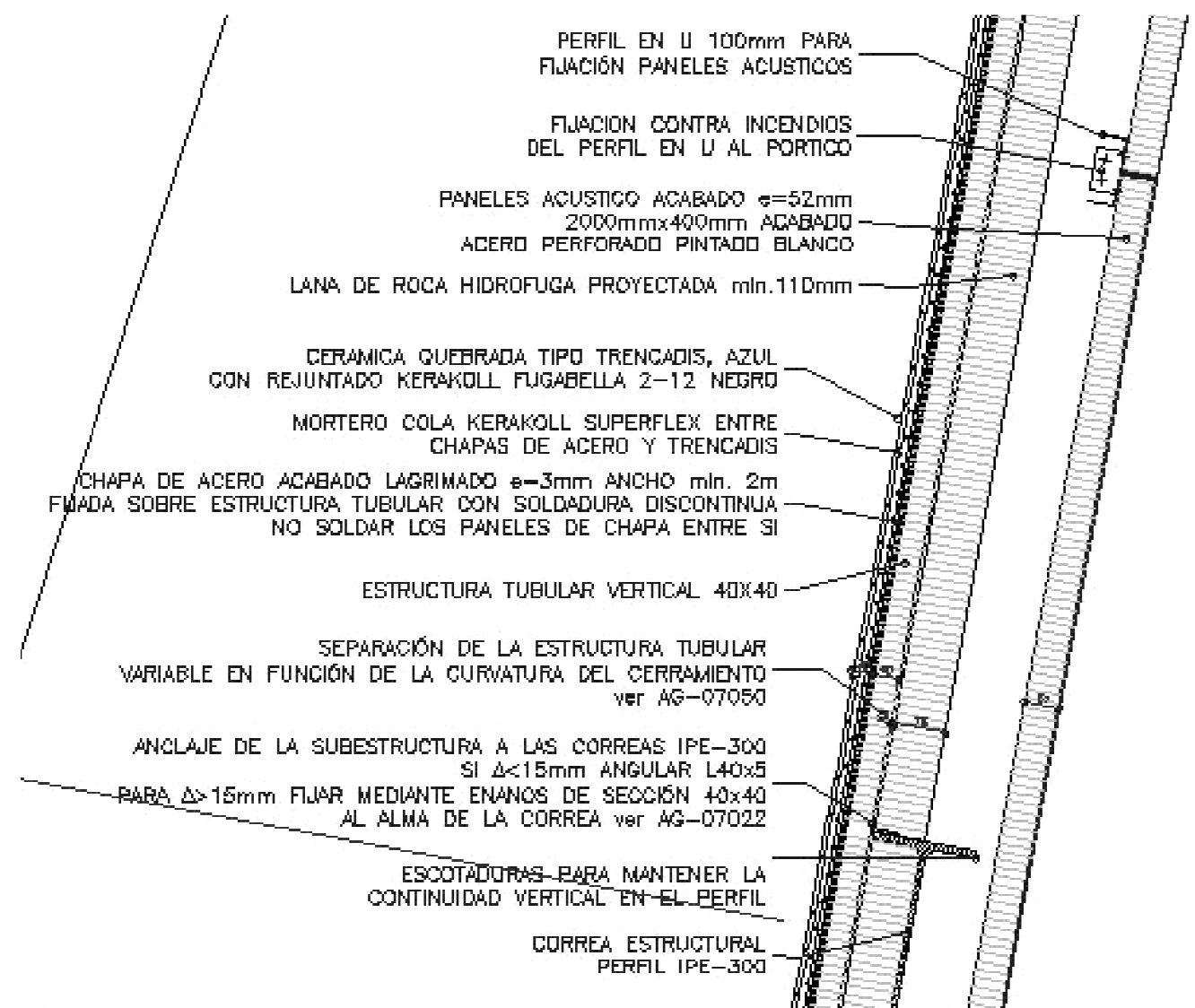
Se propone el siguiente elemento:

Revestimiento de panel metálico de acero pre-galvanizado con perforación del 30%, espesor 0,6 mm, relleno de lana mineral de 30 Kg/m³ y velo blanco.

Muro Cortina

En cuanto al muro cortina se varía su sistema de fijación y estabilidad usándose silicona estructural, sus características son:

Cubierta acristalada compuesta por módulos fijos de distintas medidas según despiece de planos AG-07120, siendo el despiece de los vidrios planos, con esquinas distintas de 90°, que se colocarán mediante perfilera de aluminio pegada con silicona estructural, y perfil de apoyo de aluminio colocado siguiendo el eje longitudinal de pórticos, para canalización de posibles condensaciones. Los bastidores con vidrio se adaptarán a la geometría de la cubierta y se incluye travesaño de acero de tubo de 60x60x4 con rótulas en los extremos, para colocación mediante pernos roscados a los pórticos de acero, con acabado imprimado y pintado. El conjunto bastidor de aluminio con vidrio y travesaños de acero con rótulas, conforma una malla poligonal que se adapta a la geometría de la cubierta, con un aspecto de todo vidrio con sellado de fosa entre vidrios. Acristalamiento crisunid california color 1010.3, compuesto por dos lunas incoloras de 10 mm, provisto en su interior de un film de control solar california sobre base encapsulada de butyral color azul. Los vidrios llevan el canto pulido. Incluso medios de elevación, estructuras auxiliares, andamios, y montaje para perfilera y vidrio. Planos de taller, fabricación y montaje de los elementos citados.



RECUBRIMIENTOS

El revestimiento de la cubierta se realiza mediante paneles de vidrio laminado con tratamiento de protección solar en la parte superior, y en la zona inferior mediante cerramiento opaco formado por trencadís exterior recibido con mortero sobre chapa de acero.

La falta de especialización en trencadís de los alicatadores actuales y la necesidad de ahorrar costes en la construcción, ha hecho que actualmente el trencadís se fabrique en naves alejadas del lugar de colocación final. El trencadís se monta sobre unas mallas que se adaptan a las curvas que pueda poseerla superficie de colocación final. Las mallas tienen normalmente una superficie de 1m² o menos y son rellenas con pedazos de azulejo por operarios especializados en el montaje de trencadís. Las mallas han de encajar perfectamente entre ellas, el resultado es un trabajo a medida que evita mermas y rectificaciones de las piezas en obra.

El material utilizado para la colocación del trencadís consiste en un cemento cola a base de una resina de reacción (epoxi o poliuretano), un endurecedor (poliaminas o polisocianato), y cargas minerales (arena silícea), aplicado sobre la superficie metálica limpia de posibles impurezas.

Con estos componentes se consigue un adhesivo orgánico mineral, elástico y muy útil para la colocación de alta resistencia, debido a su elevada adhesión y deslizamiento vertical nulo sobre soportes deformables, con lo que garantiza la colocación incluso en diagonal o de arriba hacia abajo del trencadís sobre superficies absorbentes y no absorbentes de elevada deformabilidad y dilatación.



5. EQUIPOS UTILIZADOS DURANTE EL PROCESO DE MONTAJE

Andamio de construcción

El sistema de apeo previsto para el montaje está constituido por torres de apeo arriostradas longitudinal y transversalmente sobre las que apoyan los arcos. Para evitar la afección a la losa del Ágora y al aliviadero, las torres apoyan sobre zapatas de hormigón y sobre bastidores metálicos, respectivamente.

Las alineaciones en las que se sitúan las torres, son las siguientes: ± 22.5 , ± 18.5 , ± 14.5 , ± 9.5 y ± 3.5 . En el caso de las torres de apeo de los arcos E-G de las alineaciones -18.5 y -14.5 , así como de los arcos S4 de la alineación -18.5 , para evitar la afección al forjado de la sala técnica, se reapea éste último, llevando las torres hasta la losa de cimentación.

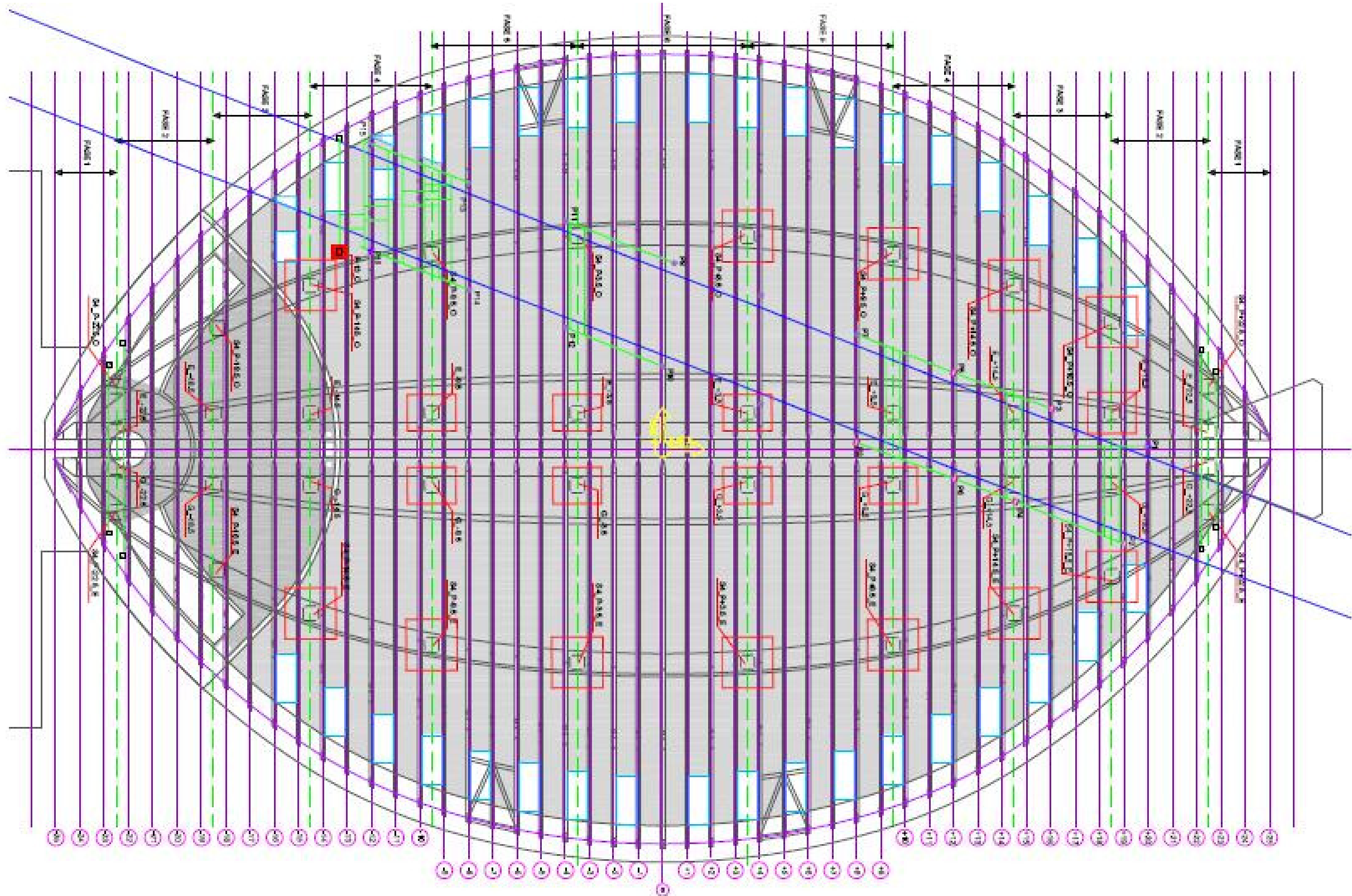
El andamio es utilizado para diferentes operaciones de trabajo – desde el armado de la notable estructura de acero y vidrio hasta la instalación de la tecnología de iluminación. Los diferentes requerimientos con respecto a los accesos y a las plataformas de trabajo requirieron de ajustes continuos del andamio correspondiendo al avance de la construcción.

El requerimiento clave del andamio era que debía proveer de accesos seguros y áreas de trabajo. El complejo diseño del edificio y las amplias actividades, que son llevadas a cabo desde el mismo andamio, han determinado el grado de dificultad para esta tarea en particular.

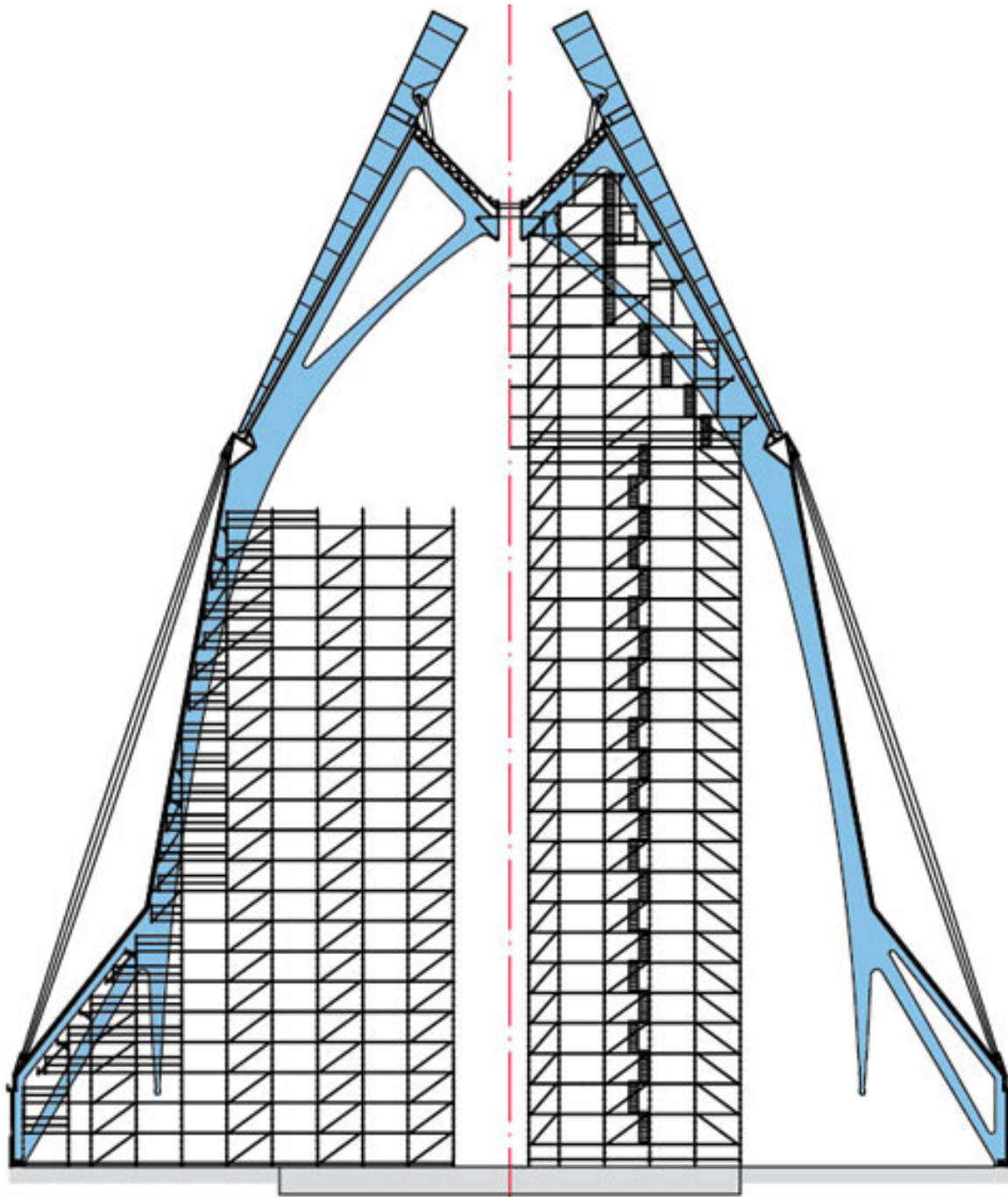
Para el armado de la estructura de gran capacidad - el ensamblaje de los segmentos de acero así como el de soldadura y los trabajos de revestimiento – las aletas de acero deben ser accesibles desde todos los ángulos. Estas están dispuestas con dos metros de distancia respecto al eje central, y curvadas en ambos sentidos horizontal y vertical. Todas las vías de acceso y las plataformas de trabajo deben ser constantemente adaptadas para coincidir con la forma. Para trabajos posteriores como la instalación del aislamiento o el montaje de la fachada de vidrio, el andamio está limitado en dimensión al interior del Ágora, es decir, dimensionalmente reducido. Para el ensamblaje de la estructura de acero, la maquinaria y los

mecanismos para la techumbre deslizable, el andamio ha tenido que extenderse hasta una altura cerca de los 75 metros.

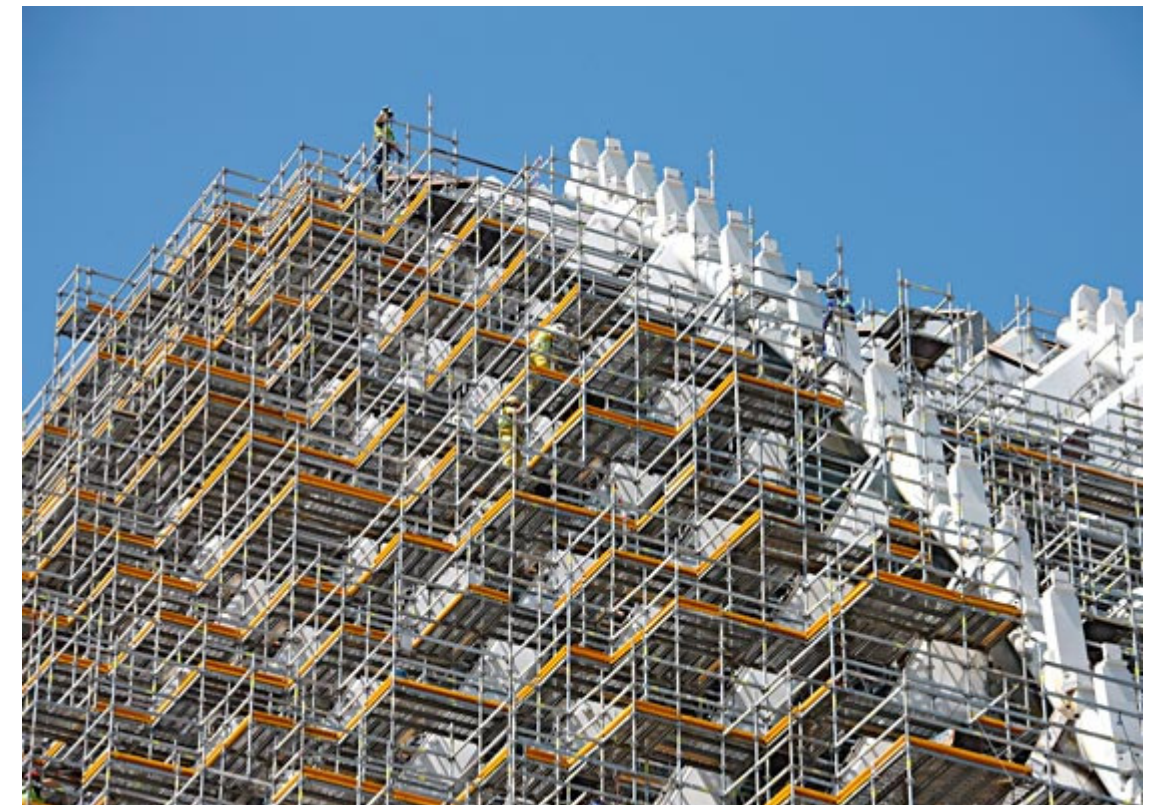




Esquema de la situación de las torres de apeo



Esquema del alzado de las torres de apeo



Grúas

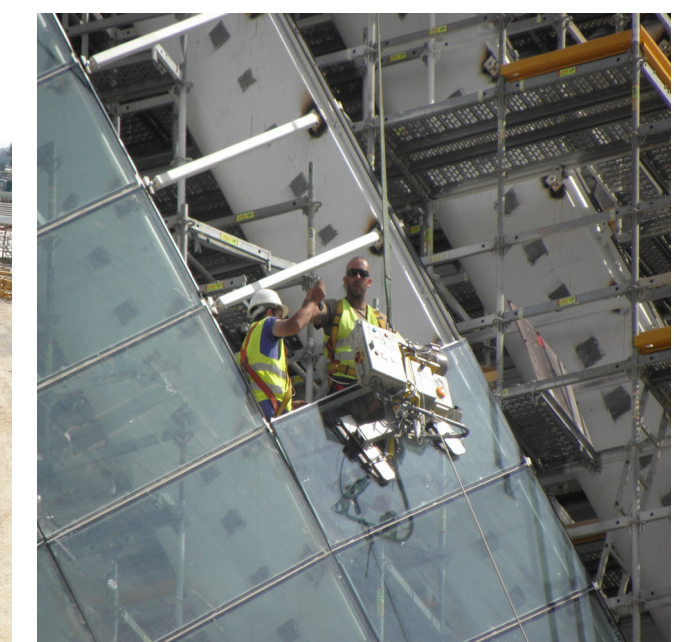
Para el montaje de la estructura se emplearán grúas de tonelaje variable en función del tamaño de las piezas y de la posición de éstas. El paso de las grúas por la losa del Ágora sólo podrá realizarse en las zonas libres marcadas por las zapatas, sin atravesar bajo ningún concepto el aliviadero ni el forjado de la sala técnica. Por ello se han habilitado dos accesos a la losa. Así mismo, remarcar que se debe poner una cama de arena bajo las placas de reparto de las grúas una vez se posicionen para conseguir un reparto uniforme de la carga.

Los camiones con grúa se utilizan para las piezas laterales, más pequeñas, debido a su limitada altura y capacidad de carga.

También se utilizan plataformas articuladas diesel de 32 m de alto para que los empleados puedan trabajar por la parte exterior del Ágora.

Para las piezas situadas en la parte superior del Ágora se necesitan grúas hidráulicas telescópicas para poder alcanzar la altura deseada de 70 m y con una capacidad de carga considerable para poder alzar las piezas.

También se necesitan equipos especiales para la colocación de los cristales en toda la superficie correspondiente. Estos están formados por un carro con fuertes ventosas que permiten la perfecta sujeción de las piezas.



6. BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

La mayoría de la información se ha conseguido gracias a las memorias del proyecto y los distintos documentos cedidos por la empresa Santiago Calatrava S.A.

Se han consultado varias páginas web para conseguir información sobre la Ciudad de las Artes y las Ciencias, los hechos históricos, los equipos utilizados en el proceso constructivo, para la obtención de catálogos de distintas empresas de los que poder sacar información, para consultar datos relativos a la geometría del edificio, así como para la obtención de gran parte del material fotográfico.

www.cac.es/

Web oficial de la Ciudad de las Artes y las Ciencias. (10/03/2011)

www.urbanity.es/foro/espacios-de-deporte-comercio-y-ocio-cva/12108-valencia-agera-calatrava-2.html

documentación gráfica del proceso constructivo. (01/07/2011)

Foro de arquitectura de donde se ha obtenido

www.parro.com

(09/06/2011)

Web correspondiente a un diccionario de arquitectura y construcción.

www.peri.es/proyectos

andamio.(20/02/2011)

Página correspondiente a la empresa encargada del montaje del

www.e-ache.com/modules/ache/ficheros/Realizaciones/Obra143

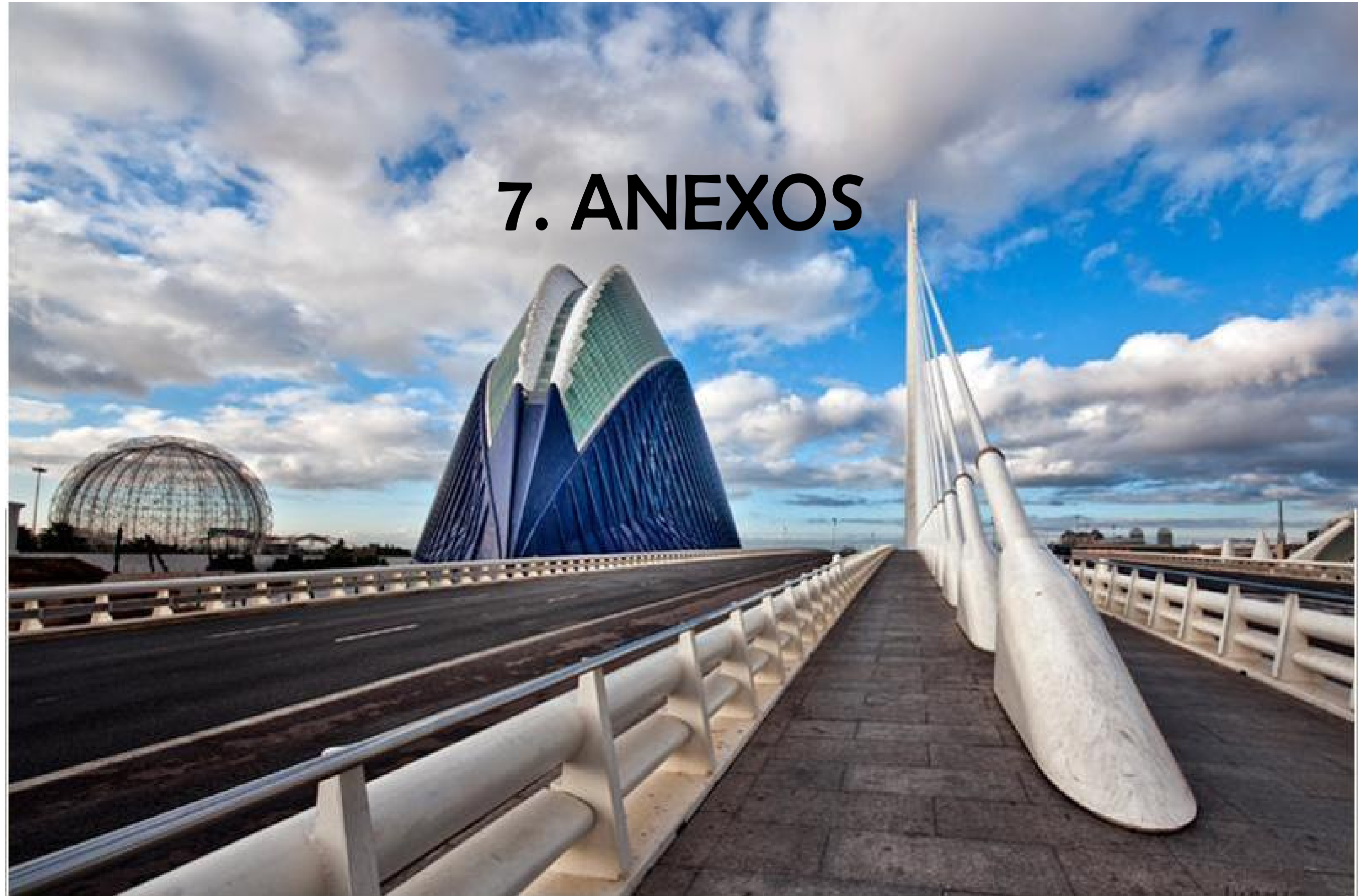
resumidamente la ejecución del Ágora. (15/07/2011)

Archivo en el que varios miembros del despacho de Calatrava explican

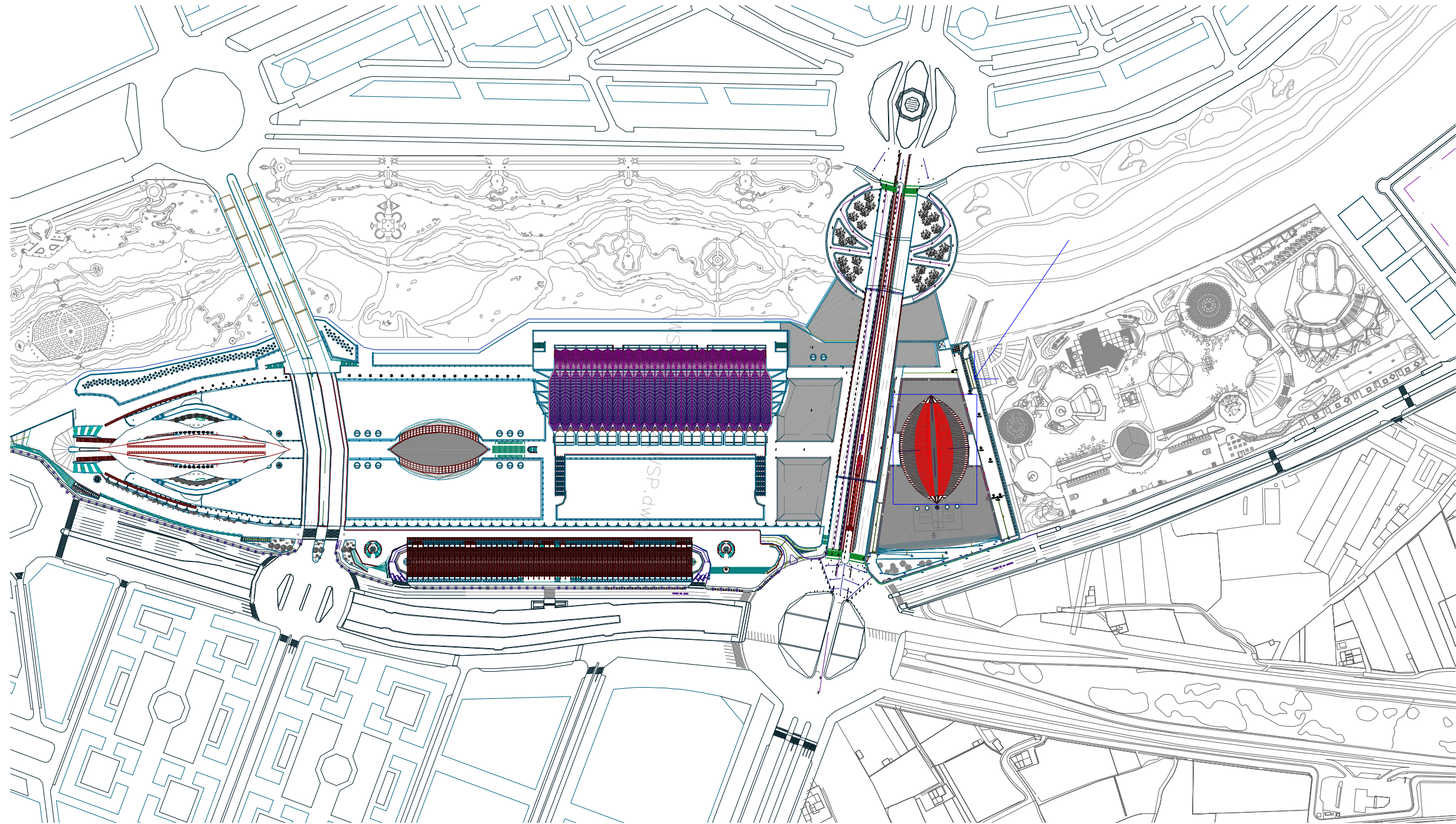
Bibliografía

Ciarlet, Philippe G. (en inglés). Mathematical Elasticity: Volume 1: Three Dimensional Elasticity. North-Holland.

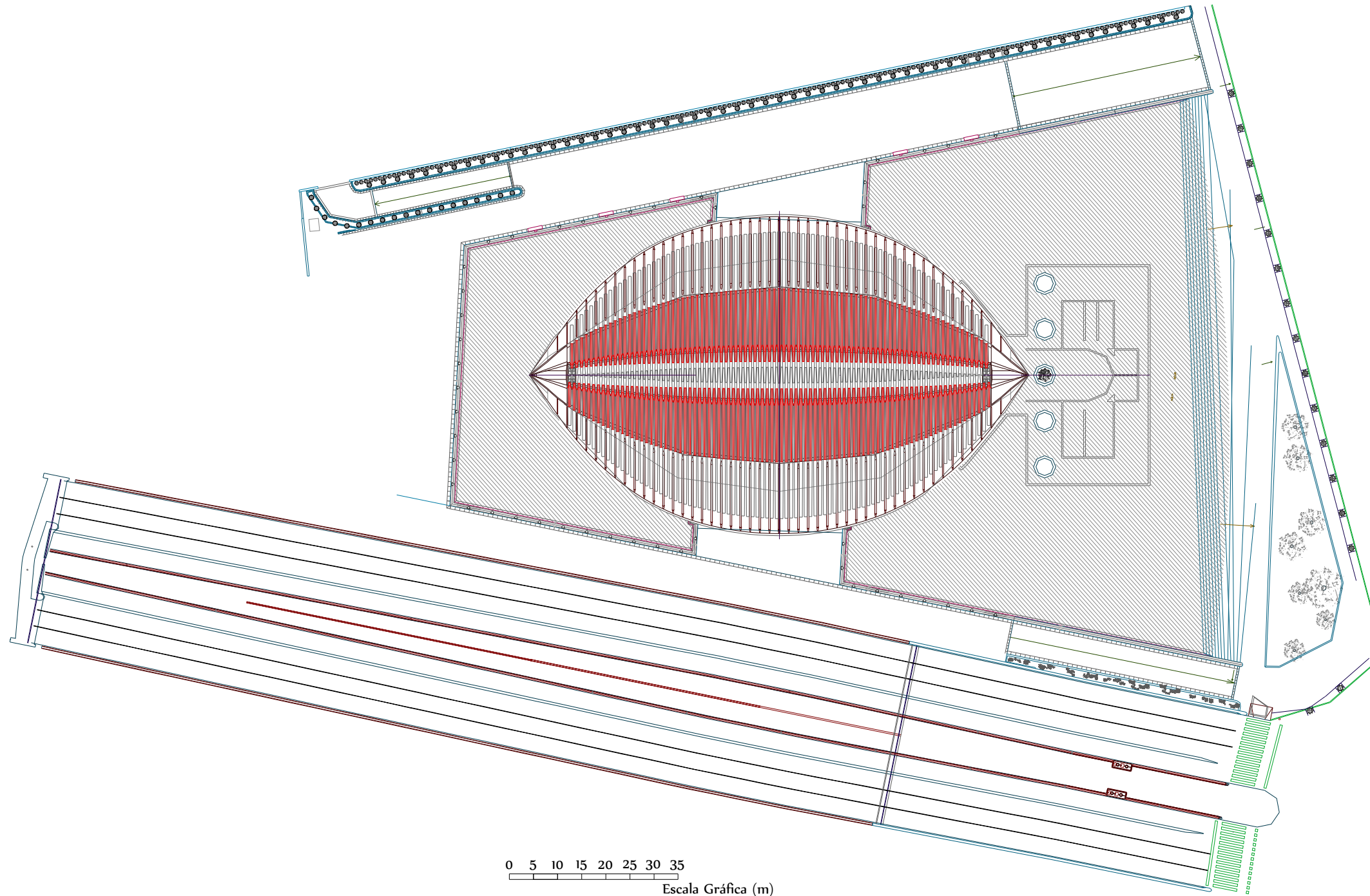
Atkin, Raymond John; Fox, Norman (en inglés). An introduction to the Theory of Elasticity. North-Holland.



PLANO DE EMPLAZAMIENTO

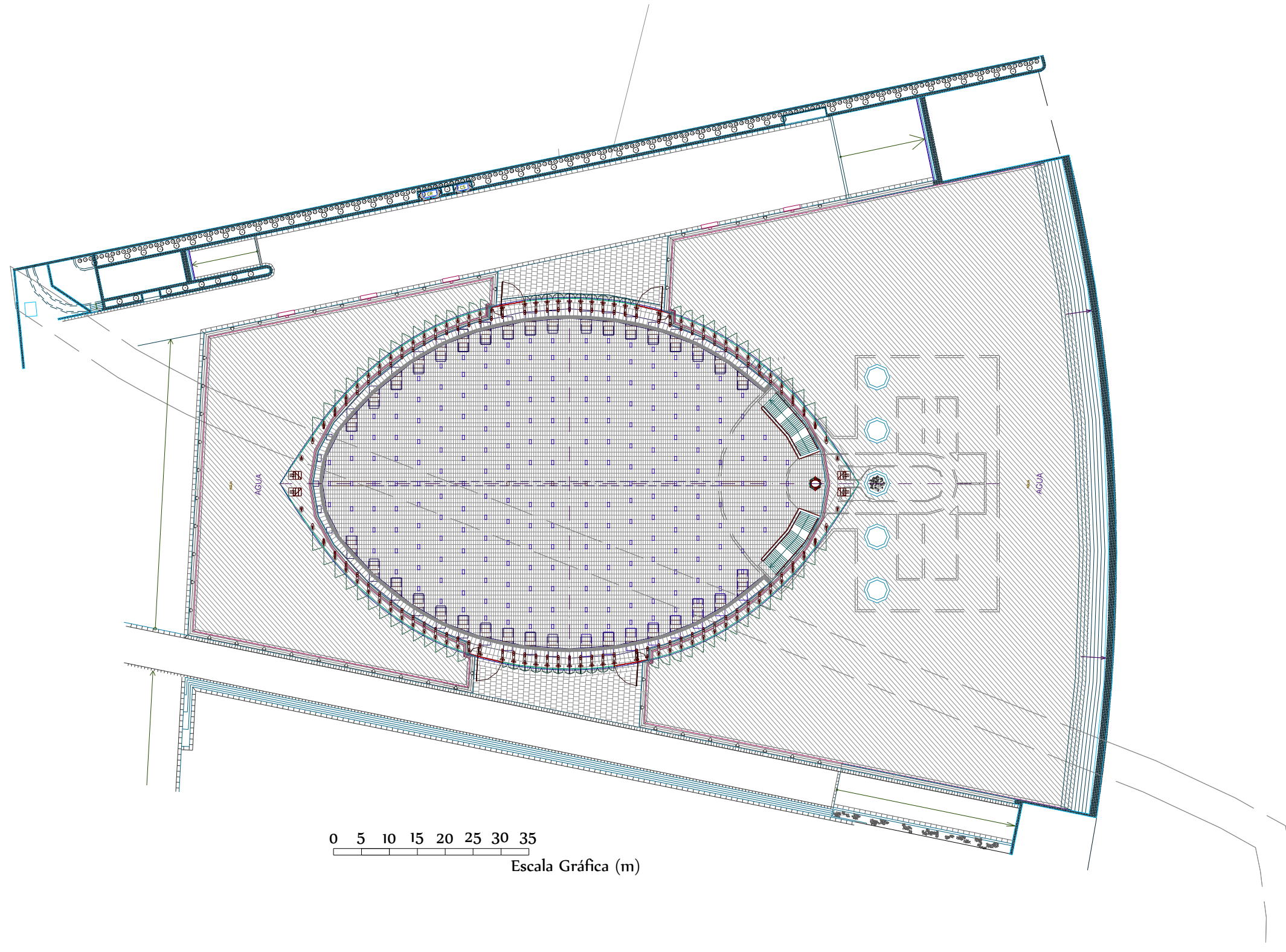


PLANOS Y SECCIONES REPRESENTATIVAS



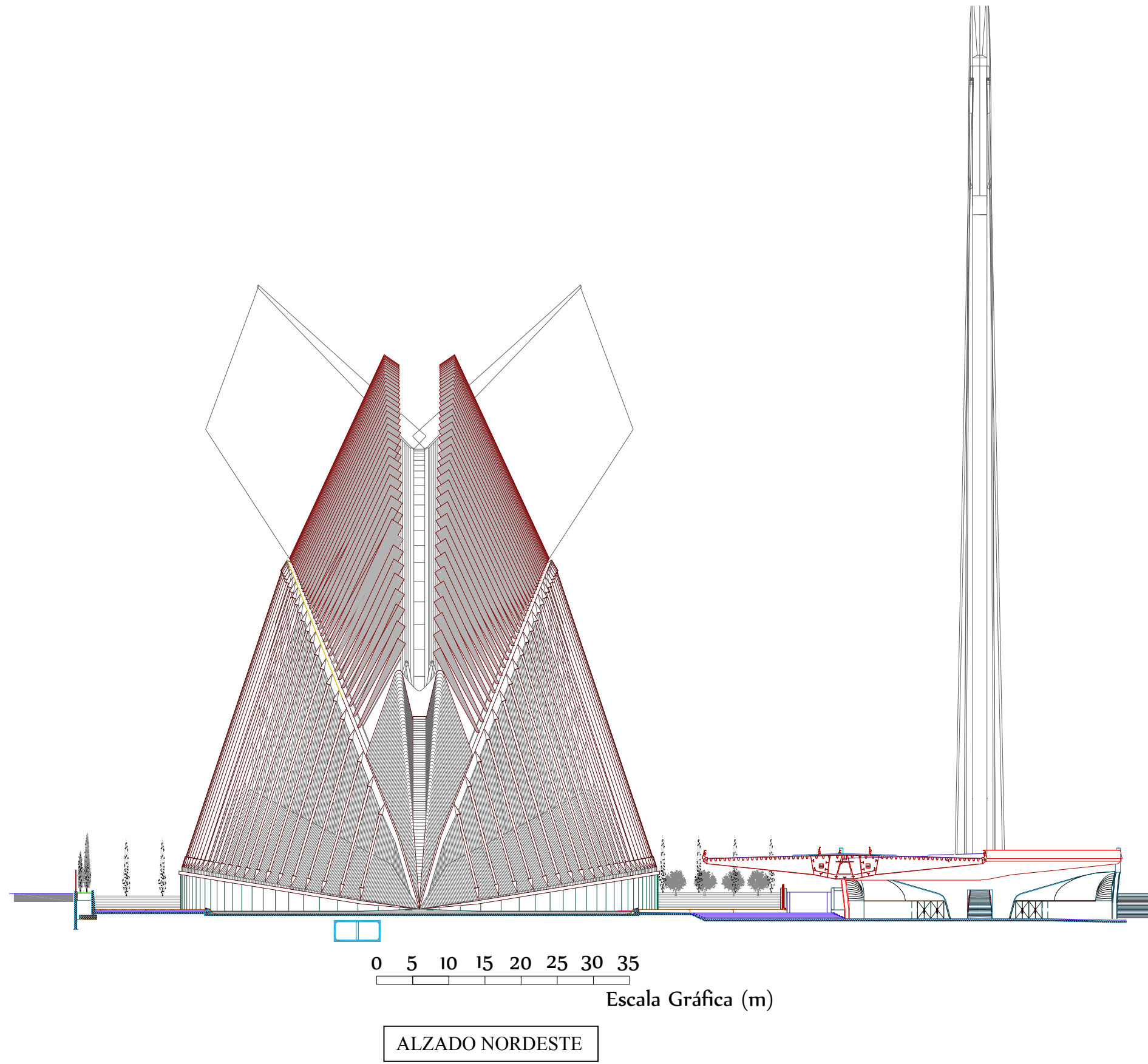
0 5 10 15 20 25 30 35
Escala Gráfica (m)

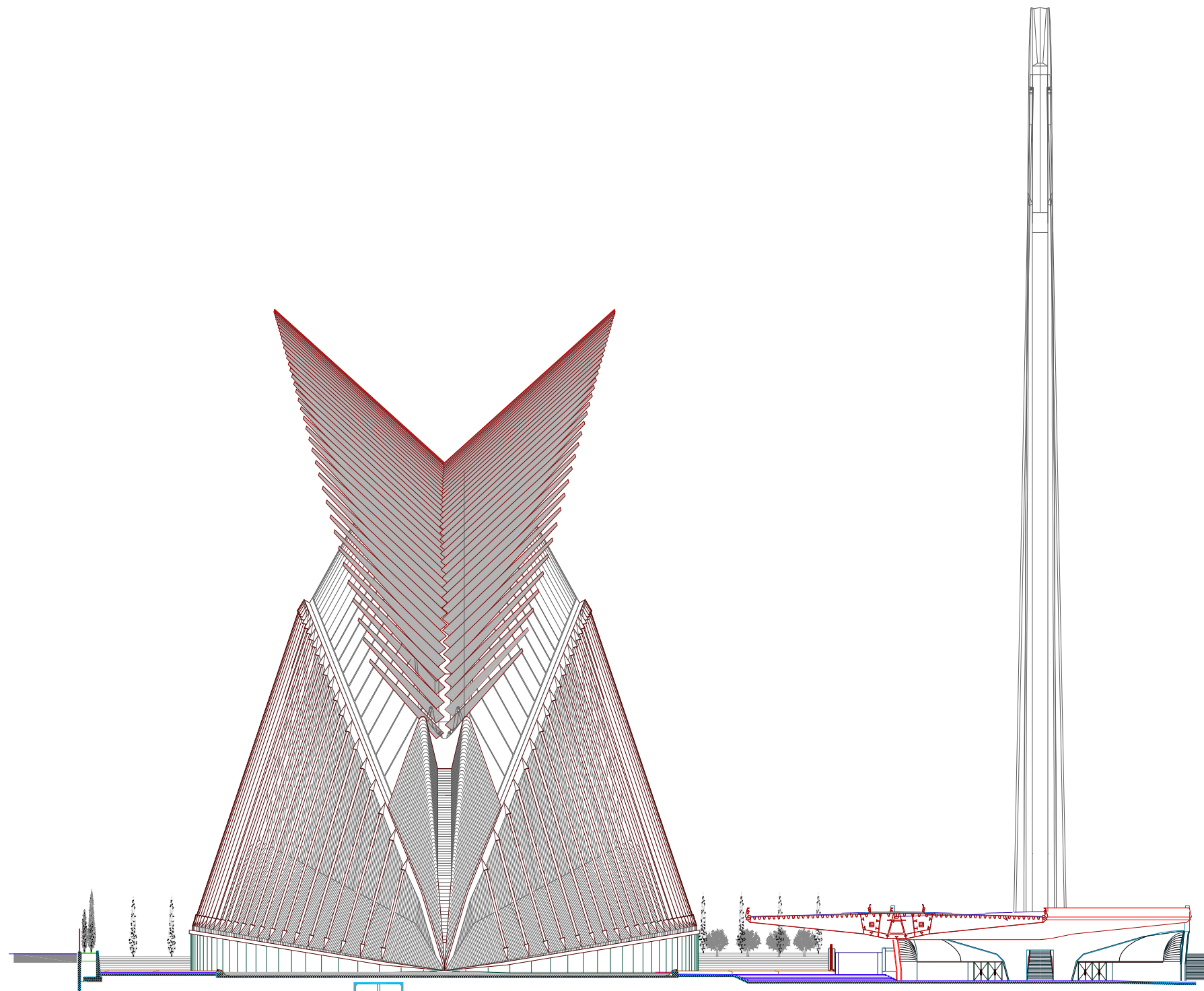
PLANTA AÉREA



0 5 10 15 20 25 30 35
Escala Gráfica (m)

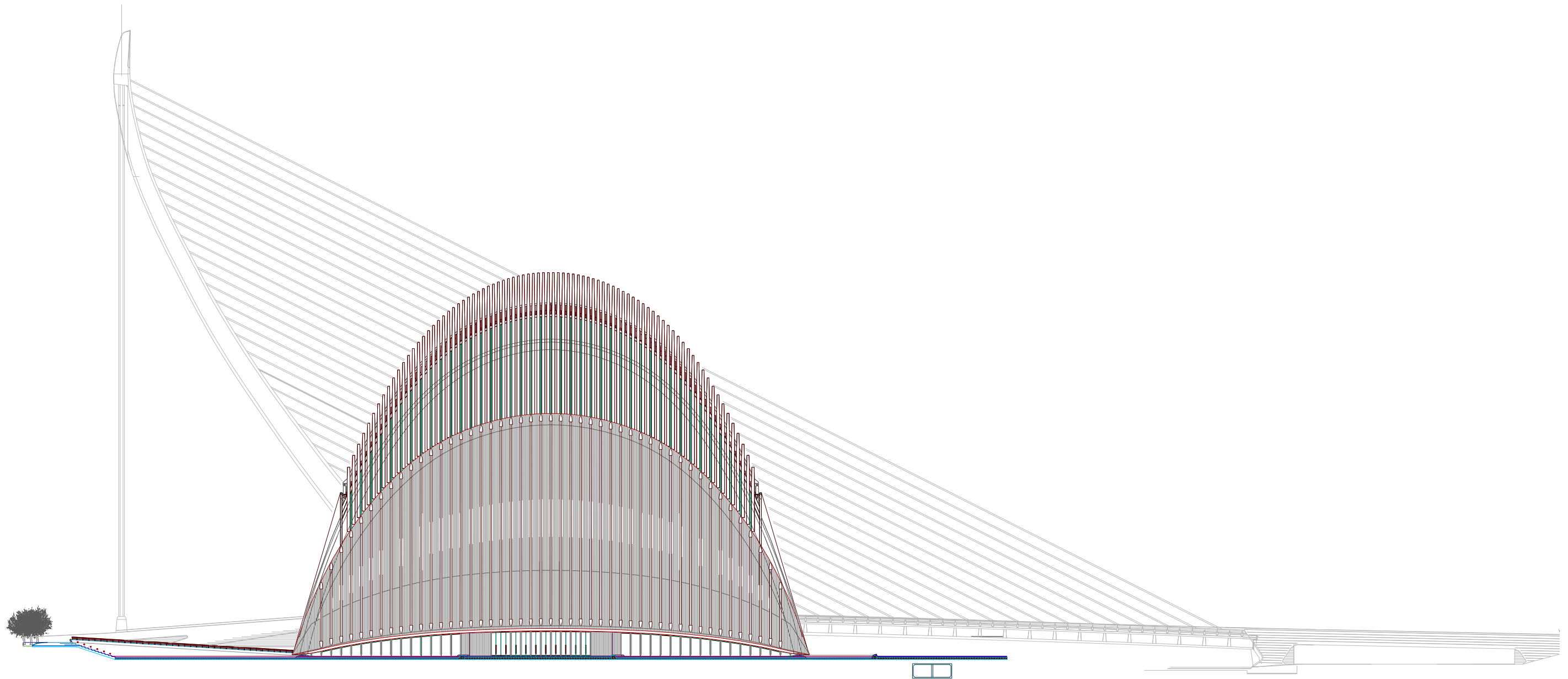
SECCIÓN HORIZONTAL





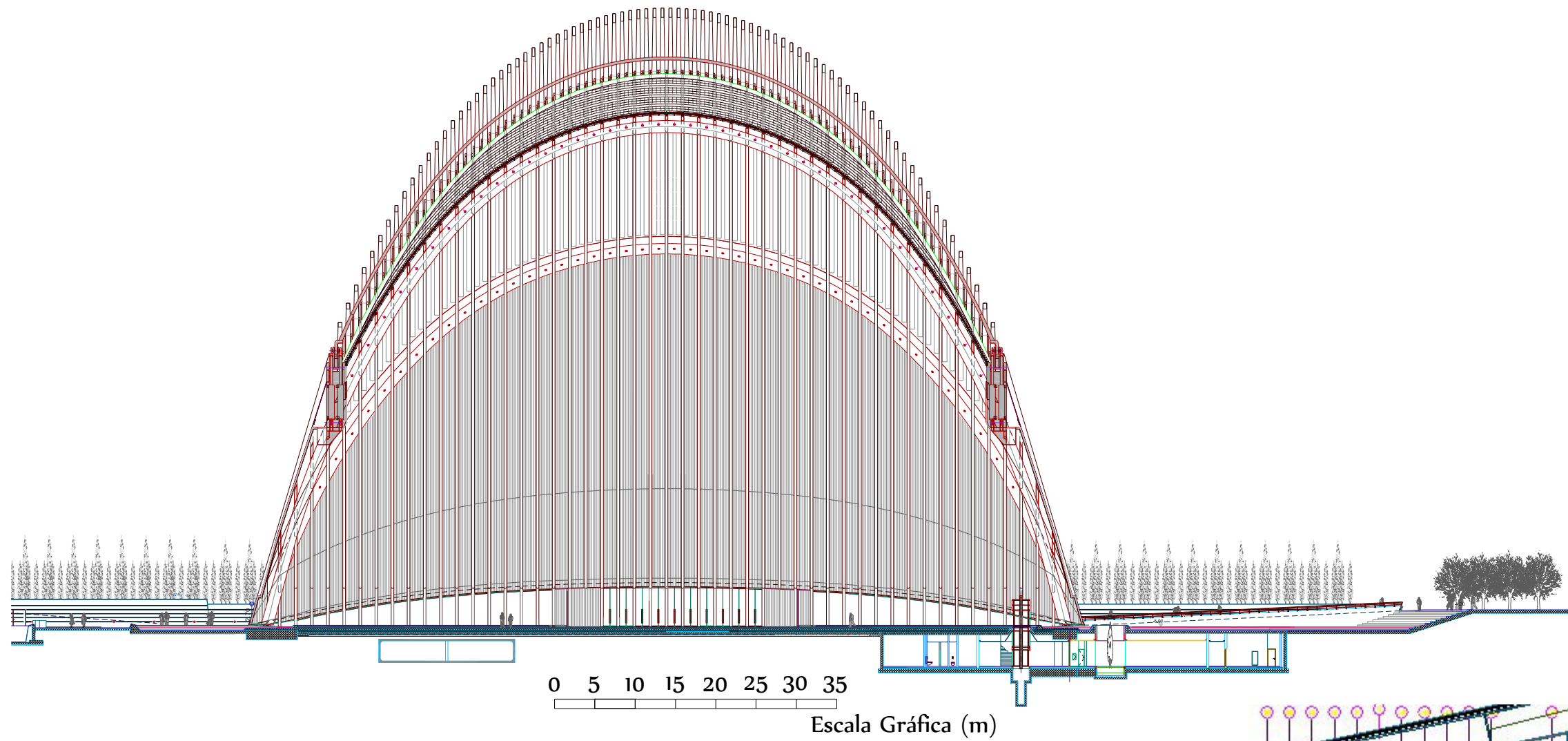
0 5 10 15 20 25 30 35
Escala Gráfica (m)

ALZADO NORDESTE ABIERTO

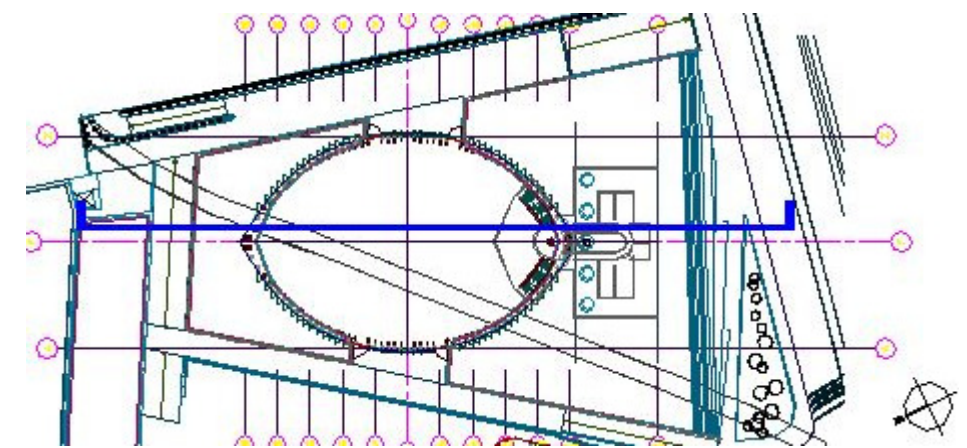


0 5 10 15 20 25 30 35
Escala Gráfica (m)

PERFIL



SECCIÓN VERTICAL



MEMORIA FOTOGRÁFICA



