



Escuela Técnica Superior  
de Gestión en la Edificación

# Fachada Norte Museo de las Ciencias

Proyecto fin de Grado. Científico Técnico

**Cristina Marco García**

Tutores:

Francisco Javier Sanchís Sampedro

Rafael Juan Ligorit Tomas

Junio 2011

# 1. Índice

## 2. Introducción

<b>Ciudad de las Artes y las Ciencias</b> .....	2.1
Palacio de las Artes Reina Sofía .....	2.4
L'Hemisferic .....	2.5
Puente de L'Assut .....	2.7
Ágora .....	2.8
L'Oceanografic .....	2.9
<b>Museo de las Ciencias Príncipe Felipe</b> .....	2.10
Ubicación Museo .....	2.13
Planos generales Museo .....	2.16
Santiago Calatrava Vals .....	2.29

## 3. Análisis Arquitectónico

<b>Inspiración</b> .....	3.1
<b>Museo de las Ciencias</b> .....	3.3
Elementos del Edificio .....	3.4
Bocetos .....	3.5
Elementos móviles .....	3.6
Estructura nervada .....	3.8
Tratamiento de la luz .....	3.9
Influencia de Gaudí .....	3.10

## 4. Análisis Geométrico

<b>Análisis general de la geometría de los vidrios</b> .....	4.1
<b>Descomposición y análisis de generatrices</b> .....	4.2
<b>Descomposición y análisis superficies regladas</b> .....	4.6

## 5. Análisis Constructivo

<b>Empresas que participaron en la construcción del Museo de las Ciencias</b> .....	5.1
<b>Descripción constructiva de la obra</b> .....	5.2
Cimentación .....	5.4
Estructura de hormigón .....	5.6
Testeros .....	5.11
Cubierta .....	5.17
<b>Fachada norte</b> .....	5.19
Acero .....	5.20
Vidrios .....	5.21
Fases .....	5.25

## 6. Análisis Estructural

<b>Muro cortina</b> .....	6.1
<b>Montantes en forma de arco parabólico</b> .....	6.3
<b>Cargas que afectan a la estructura</b> .....	6.5
<b>Transmisión de cargas</b> .....	6.6

## 7. Conclusiones

## 8. Bibliografía

## 9. Anexo



## 2. Introducción



## Ciudad de las artes y las ciencias

El proyecto de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia se erige sobre el antiguo cauce del río Turia. El año 1957, se produjo la Gran Riada de Valencia que ocasionó la inundación de gran parte de la ciudad. Años más tarde se desvió el río Turia para impedir nuevas inundaciones por lluvias muy fuertes. Mediante el desvío del río, la ciudad de Valencia ganaba así diez kilómetros de longitud para destinarlos exclusivamente a zonas verdes, parques, zonas de ocio y recreo. El enorme complejo de la Ciudad de las Artes se situó en la periferia, en una zona ligeramente llana y en el margen derecho del tramo final del antiguo cauce del río Turia.

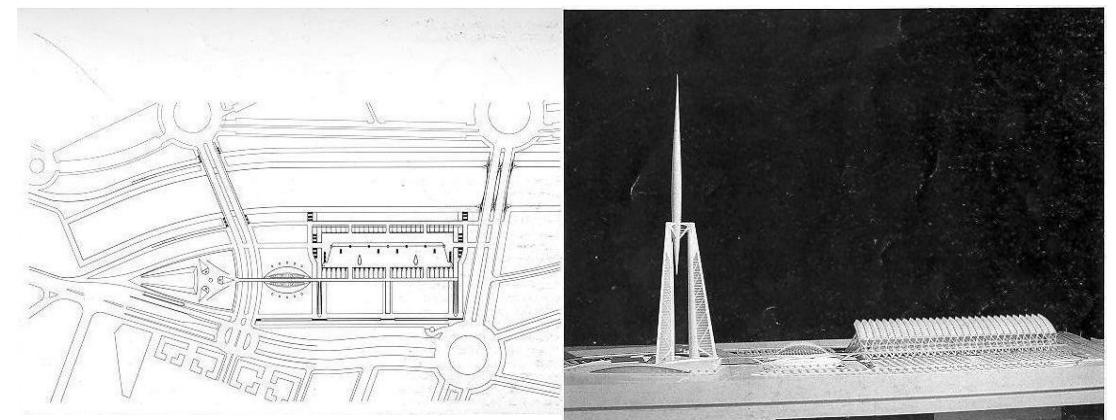
Se trata de uno de los complejos científico-culturales más importantes del mundo europeo, construido por Santiago Calatrava y Félix Candela.

Inicialmente en 1990, Calatrava ganó el concurso promovido por la Generalitat Valenciana, para construir en el cauce del río. El proyecto se componía de tres elementos: una torre de telecomunicaciones, el Museo de la Ciencia y el planetario, dispuestos secuencialmente a lo largo de un eje peatonal.

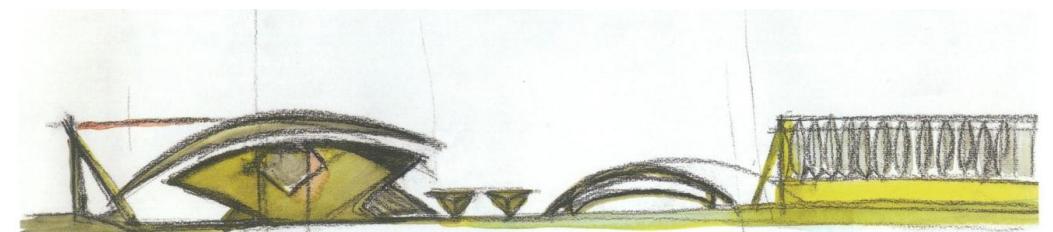
La torre de telecomunicaciones, habría sido el elemento más visible del complejo, gracias a los 327 metros de altura previstos; sin embargo, el cambio de gobierno condujo a la sustitución de la torre en 1996 por un centro de música, el Palau de les Arts, concluido por Calatrava en 2006.



Vistas del antiguo cauce del río Turia, jardines y Ciudad de las Artes y las Ciencias



Planimetría y modelo de la propuesta



Boceto del complejo tras el cambio de la torre de telecomunicaciones por el auditorio.





*Así se encuentra el complejo en la actualidad.*

La creación de la Ciudad de las Artes y las Ciencias es un claro ejemplo de que construyendo obras culturales, de ocio y de recreo se pueden recuperar la periferia y zonas abandonadas de las ciudades revalorizando así los terrenos cercanos a ellas.

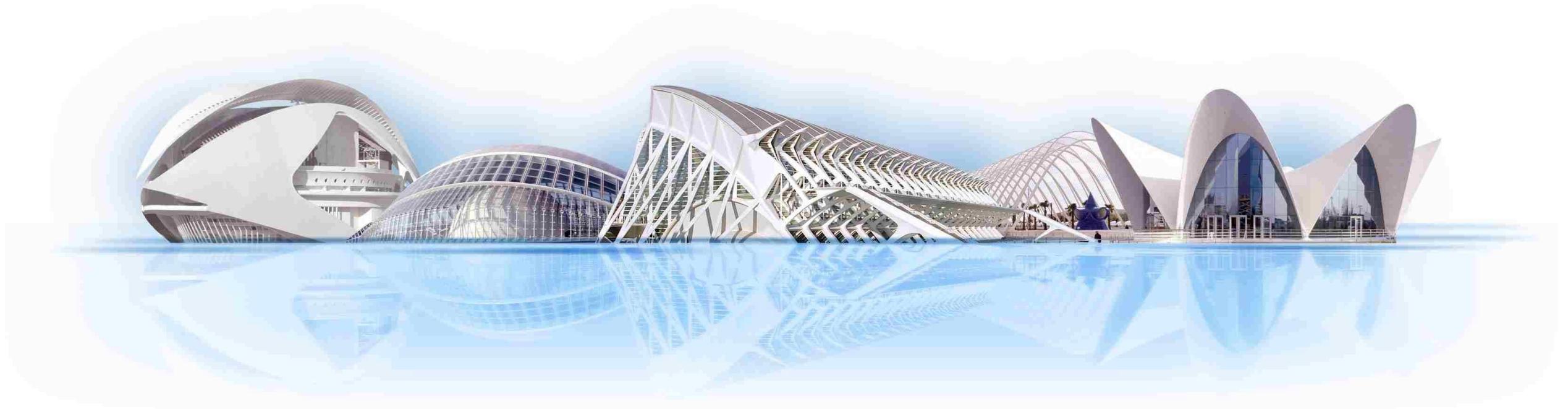
Actualmente el complejo se compone de seis construcciones emblemáticas más el puente L'Assut de L'Or y el puente de Monteolivete, el cual Calatrava adaptó ya que figuraba en el mapa incluso antes de construirse el complejo cultural. De forma que el arquitecto en vez de construir un nuevo puente, adaptó este e incluyó un acueducto bajo su paso inferior. De esta forma, la ciudad de las artes y las ciencias queda casi en su totalidad rodeada por agua.

Por orden de situación, de oeste a este, las construcciones arquitectónicas que conforman el conjunto son El palacio de las Artes Reina Sofía, el Umbracle, El Hemisfèric, El museo de las Ciencias Príncipe Felipe, El Ágora, El Oceanogràfic y los dos puentes mencionados anteriormente. Todo ello construido por Santiago Calatrava excepto el complejo del Oceanogràfic, proyecto del arquitecto Félix Candela.



El complejo fue inaugurado el 16 de abril de 1998 con la apertura al público de L'Hemisfèric, el primer edificio en construirse en esta obra tan grandiosa y de tanta repercusión a nivel internacional que tardó más de dos décadas en terminarse. Once meses después el presidente Eduardo Zaplana inauguró el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe, aunque las obras no estaban terminadas. El museo se abrió al público veinte meses después. El 12 de diciembre de 2002, se abrió L'Oceanogràfic, el mayor acuario construido en Europa. Y el 8 de octubre de 2005 fue presentado en sociedad el Palacio de las Artes Reina Sofía que perdió su condición inicial de sede de la Fimoteca valenciana para convertirse en el teatro de la ópera de Valencia. En diciembre de 2008 terminó la construcción del puente L'Assut de L'Or. Y por último, el 28 de octubre de 2008 se inauguró el Ágora, espacio multifuncional cubierto para la celebración de eventos.

En el conjunto del complejo, respetando la tradición mediterránea del mar y la luz, el color azul y el blanco se funden junto a la arquitectura pseudo-futurista del autor. Cada uno de los edificios proyectados tiene su propio concepto y responde a diferentes funciones. Sin embargo, todos están trabajados con los mismos materiales o los mismos colores, por lo cual se puede entender el proyecto como un "todo".



**Palacio de las Artes Reina Sofía**

Inauguración: 8/10/2005

Presupuesto Previsto: 836000000€

Coste final: 330000000€

**Museo de las Ciencias**

Inauguración: 13/11/2000

Presupuesto Previsto: 620000000€

Coste final: 150000000€

**L'Oceanografic**

Inauguración: 12/12/2002

Presupuesto Previsto: 380000000€

Coste final: 108000000€

**L'Hemisferic**

Inauguración: 16/04/1998

Coste final: 240000000€

**L'Umbracle**

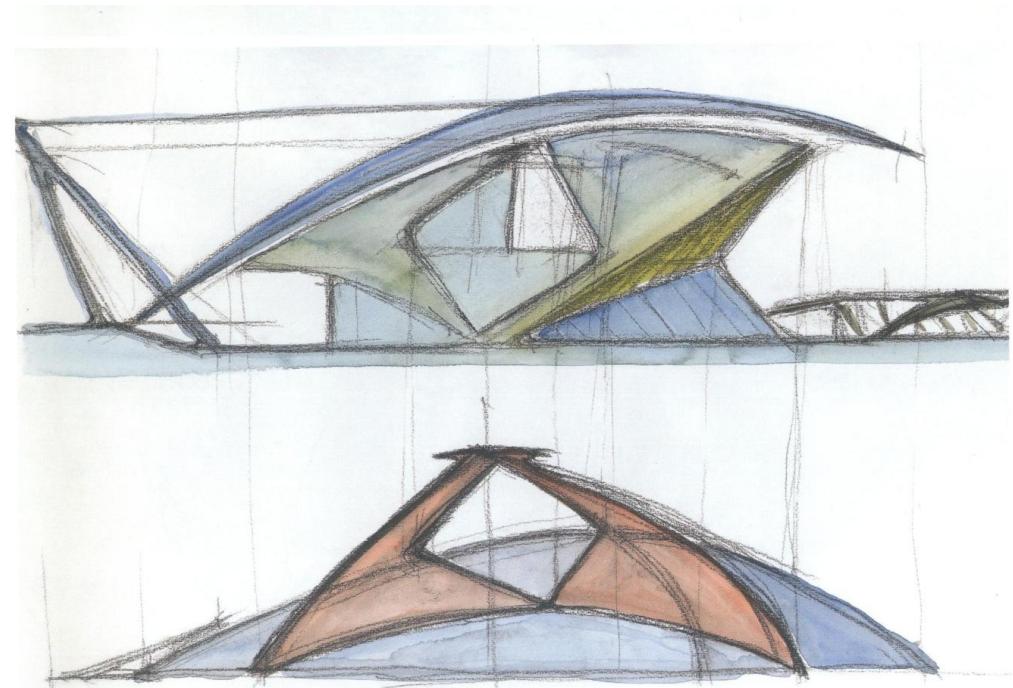
Inauguración: año 2000

\*Los datos son aproximados.  
Consultados en artículos de  
opinión



## Palacio de las Artes Reina Sofía

El auditorio Reina Sofía (Palau de les Arts), un edificio de 75 m en su extremo occidental, se diseñó como una serie de volúmenes aparentemente aleatorios unificados por el hecho de estar encerrados dentro de dos caparazones de hormigón simétricos y recortados, coronados por una vaina de acero que se proyecta axialmente desde la explanada de acceso sobre los contornos más elevados de la envoltura curvilínea. La estructura resultante define la identidad del edificio, subrayando su efecto dinámico y simbólico dentro del paisaje, al tiempo que ofrece protección a las terrazas y las instalaciones que cobija.



*Boceto Palacio de las artes reina Sofía*



*Palacio de las artes reina Sofía*

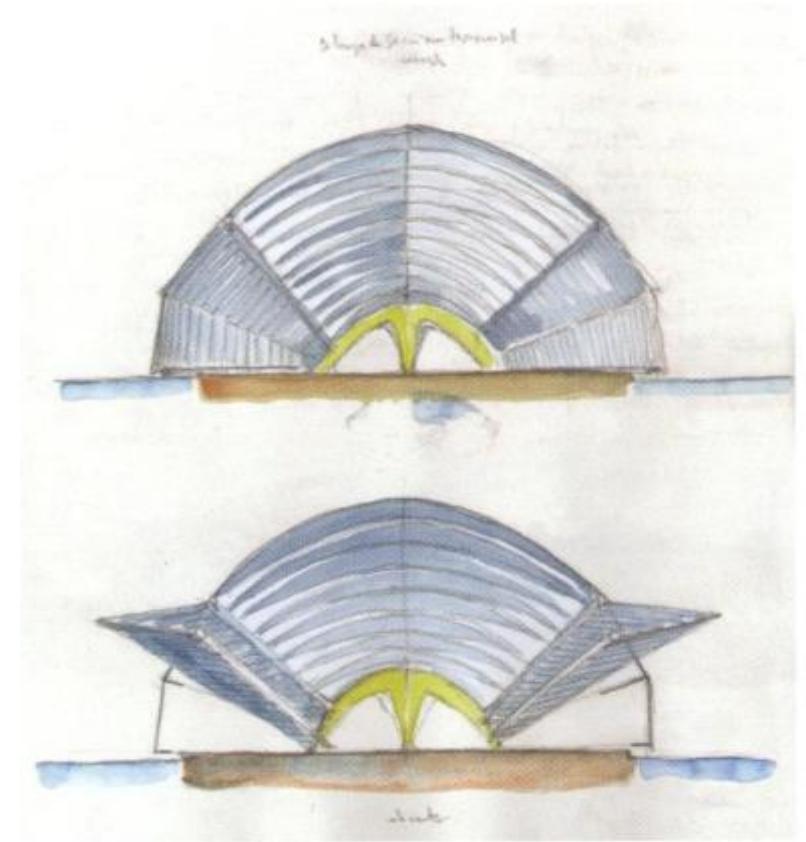


*Palacio de las artes reina Sofía*

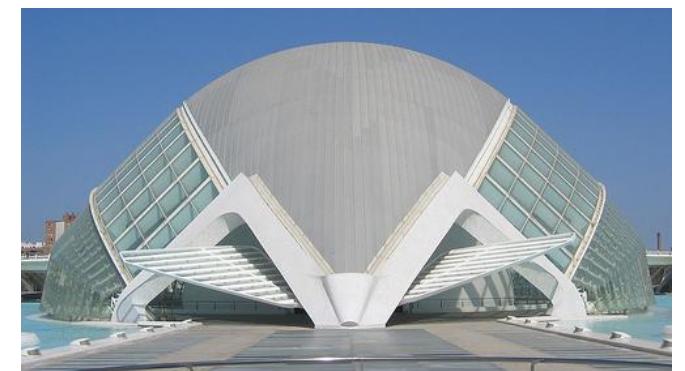


## L'Hemisferic

L'Hemisferic, el planetario y cine IMAX, de planta elíptica y forma de ojo con una cúpula hemisférica de nervios móviles, cubre una superficie de casi 2600m<sup>2</sup> y se construyó entre 1995 y 1998. El arquitecto se inspiró en la forma de un ojo para su diseño, de hecho es un tema recurrente en toda su obra. Aloja en su interior una sala hemisférica de cemento armado que se abre en la parte alta y en la base mediante tres elementos, realizados con una estructura móvil metálica, a los que están fijadas placas de cristal; arcos perimetrales inclinados sostienen la concha y el lucernario.



Bocetos L'Hemisferic



Fotografías L'Hemisferic



## L'Umbracle

La estructura denominada L'Umbracle comprende un paseo y un aparcamiento para vehículos, ambos construidos en el interior de una arcada abierta concebida como una "reinención contemporánea del jardín de invierno".

El arquitecto cubrió el paseo con una estructura enteramente de acero pintado en blanco similar a la que utilizó posteriormente en el complejo Olímpico de Deportes de Atenas, Grecia. La elegante estructura se compone de unos arcos transversales unidos por medio de unos perfiles más pequeños de acero. En ambos lados del paseo de la Galería de arte de L' Umbracle que se abre al aire libre, Calatrava nos indica el acceso inferior a la Ciudad de las Artes por medio de dos entradas bien diferenciadas mediante la curiosa figura de un cono. En este cono se aloja un ascensor para bajar al nivel inferior; unas escalinatas curvas alrededor de estos conos dan también acceso peatonal a la Ciudad de las Artes. Ya en el nivel inferior, Calatrava sustentó la Galería de arte por medio de una serie de pilares inclinados de hormigón que repitiéndose longitudinalmente a lo largo de toda la Ciudad de las Artes evocan a las ramas y los troncos de los árboles.



*Vista alzado sur L'Umbracle*



*Vista general L'Umbracle*



## Puente L'Assut d'Or

El puente de L'Assut de L'Or es un puente atirantado que cruza el jardín del Turia. La infraestructura tiene una longitud de 180 metros, y en él se erige un mástil de 125,62 metros de altura, con lo que se convierte en la cima de Valencia, por encima de la torre de Francia. Este mástil es curvo, con una inclinación aproximada de 40 grados, del que salen 29 cables paralelos en arpa, que llegan hasta el centro del tablero.



*Puente L'Assut de L'Or*



## Ágora

Ágora, edificio de 80m de altura, construido sobre una parcela de 13.500 metros cuadrados, con una capacidad de 6.000 espectadores. Se trata de un edificio de estructura metálica que consta en proyecto de dos grandes estructuras móviles en la parte superior que permiten el control de la luz natural ya que la cubierta de la parte superior es de vidrio.



Maqueta proyecto Ágora



Fotografía estado actual Ágora



Vista interior del Ágora



## Oceanografic

El Parque Oceanográfico se localiza en el tramo final del antiguo cauce del río Turia. Este complejo no fue proyectado por el mismo arquitecto que los nombrados anteriormente sino por Felix Candela. El proyecto fue diseñado como un conjunto de edificios enterrados, situados alrededor -o flotando alrededor- de las aguas de un lago artificial que ocupa el centro del parque.

Se convirtió en el mayor parque marino de Europa con edificios realmente originales como el restaurante submarino que cuenta con una cubierta con forma de paraboloides hiperbólico construida en hormigón cuya forma simula un nenúfar.



Acceso y Restaurante Oceanográfico



Maqueta Oceanográfico



## Museo de las Ciencias, Príncipe Felipe.

El Museo de las Ciencias se encuentra en la parte central del complejo de la Ciudad de las Ciencias entre el Hemisférico y el puente de l'Assut de l'Or. Tiene 104m de anchura, 241m de longitud, 41530m<sup>2</sup> y recuerda a los grandes pabellones de exposiciones del pasado.

Calatrava diseñó con un concepto espacial completamente innovador, un edificio longitudinal a partir del desarrollo modular de su sección transversal en toda la longitud de la parcela asignada que permite tener una visión general y longitudinal de todas las plantas que completa este gran edificio.

Los testeros, asumen su carácter de remate final del edificio de modo simétrico, con una imagen tensional, de sujeción de los distintos módulos repetitivos a la manera de contrafuertes laterales. La estructura de estos testeros está ejecutada en estructura metálica mediante barras espaciales en celosía con nudos rígidos en los encuentros.

La estructura interna se basa en una serie de plataformas suspendidas de un sistema de árboles de hormigón, cuyas ramificaciones sujetan la cubierta del edificio. Así el edificio se configura como una gran cubierta metálica de estructura tubular que se apoya sobre la celosía modular de hormigón armado de la fachada sur y sobre los árboles.



*Vista lateral, testeros, Museo de las Ciencias*



*Cubieta Museo de las Ciencias*





*Fachada norte*

Los árboles son una de las piezas arquitectónicas que caracterizan al museo, denominados de este modo por estar compuestos por un tronco principal que se ramifica en dos direcciones. Tanto el tronco como sus ramas principales, son huecos y se han construido anteriormente en hormigón estructural (H-300) blanco y visto, montándolos en obra. Situados en el interior del museo son el núcleo de comunicación vertical de las instalaciones y de circulación de personas, aparte de actuar de apoyo de un extremo de la cubierta de la parte superior de la fachada norte.



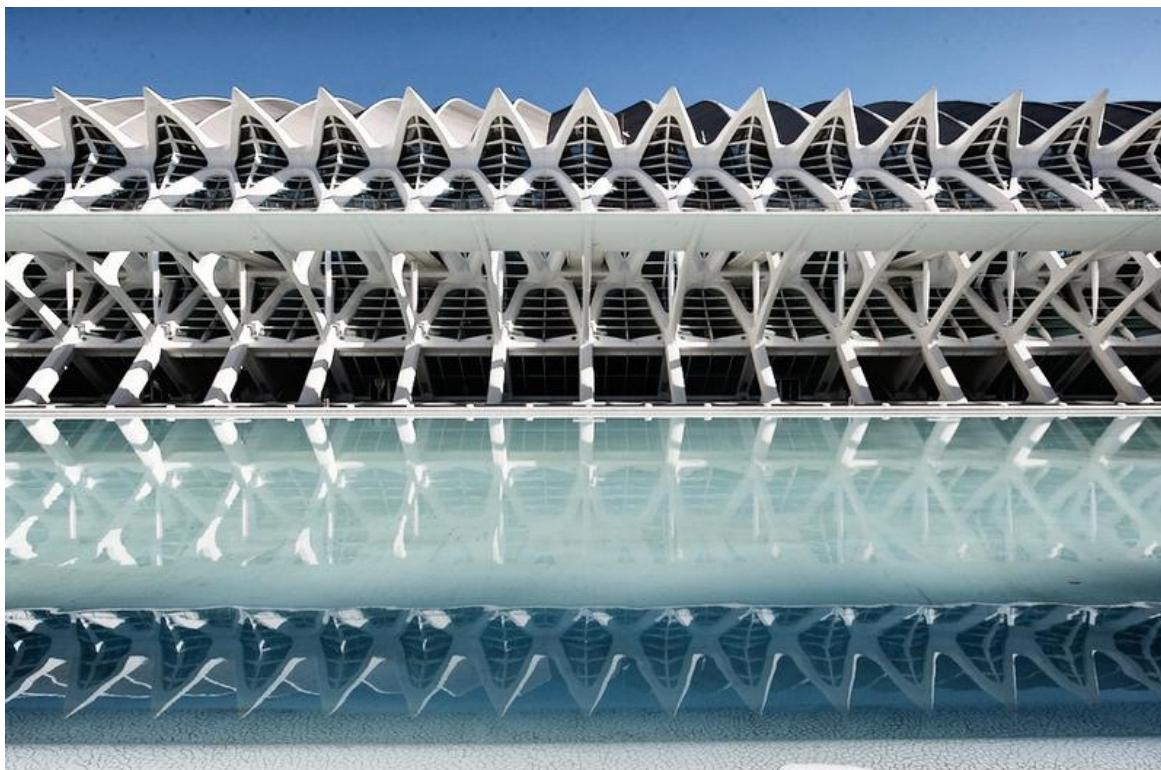
*Vista interior del edificio*

Sus superficies tienen un acabado de gran calidad que no necesitó ningún tratamiento posterior. Se utilizaron encofrados metálicos, especialmente elaborados para cada uno de los elementos en que se moduló la estructura, asemejándose el despiece de elementos a un puzle tridimensional.

La fachada norte se convierte en la principal característica de esta obra arquitectónica, una gran cortina de cristal plegada que inunda de luz el edificio y abre visualmente el espacio interior al paisaje urbano tamizándolo.

Se trata de una estructura principal tubular arriostrada mediante costillas metálicas que van creando la retícula, que se aprecia tras el acristalamiento. Esta estructura se va conformando en distintos planos que le confieren movimiento a la fachada.





Fachada sur

La fachada sur, con su silueta dentada, recoge los pliegues de la cubierta. Funciona como un fuelle sin juntas de dilatación, esto es, la estructura se dilata y se encoge con el calor como un acordeón. La fachada se articula sobre una compleja combinación de formas romboides quebradas. El resultado es un grandioso fuelle de hormigón y cristal que recoge los pliegues de la cubierta y los transmite en lo largo de la fachada en zig-zag. Por ello se tiene la sensación de estar ante un edificio que se abre y se cierra ante nosotros de manera continua. Está compuesta por estructuras en forma de nudos que tienen una gran complejidad geométrica y de construcción.

La cimentación se ejecutó mediante pilotes "in situ" de diámetros 65 y 20 cm y longitud mínima de 25m. También fue necesaria la ejecución de unas pantallas para salvar las adversas condiciones geotécnicas del terreno.



Fachada norte

El Museo es una inmensa escultura modelada en hormigón, cristal y acero. Con ellos Calatrava, más que construir, modela formas. El sentido escultórico que el autor le da a la construcción lo consigue trabajando el material in situ, empleando encofrados hechos "a medida", o bien montando, como si se tratara de un mecano, pieza a pieza, los componentes de las estructuras móviles. De esta manera, se han hecho los remates en forma de picos de pato con los que acaba la cubierta del edificio por su lado Sur, o las "costillas" y "vértebras" que articulan la cascada de cristal de la fachada Norte.



## Ubicación

En las imágenes se muestra la ubicación del edificio, puede apreciarse como ha cambiado el entorno en la última década, ha pasado de ser una explanada sin apenas construcciones a convertirse en uno de los puntos más emblemáticos de la ciudad con edificios residenciales, culturales, turísticos y de ocio.



*Ubicación del edificio*



*Zona de la Ciudad de las Artes y las Ciencias al inicio de las obras*



*Museo de las Ciencias finalizado*



*Panorámica de la Ciudad de las Artes y las Ciencias y los jardines ya terminados*



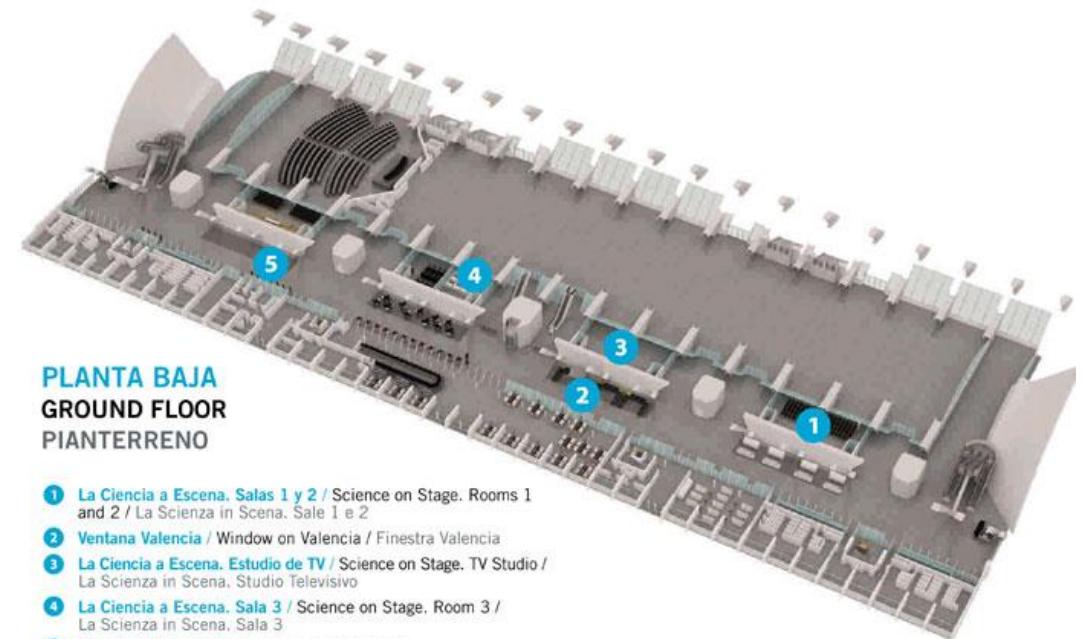
## Distribución y usos

Abierto al público el 13 de noviembre del año 2000, cuenta con un total de 26.000 m<sup>2</sup> de exposiciones. Dispone de varias plantas de exposiciones temporales y permanentes. También cuenta con amplias aulas y terrazas, tanto interiores como exteriores, que se utilizan para la realización de talleres didácticos y actividades. Ha sido, además, sede de diferentes eventos sociales y culturales de la ciudad.

Su vocación es fomentar el interés hacia el conocimiento científico y tecnológico por medio de la diversión y el entretenimiento. Con este objetivo, se concede gran importancia a la interactividad de las exposiciones, su lema es "Prohibido no tocar, no sentir, no pensar".

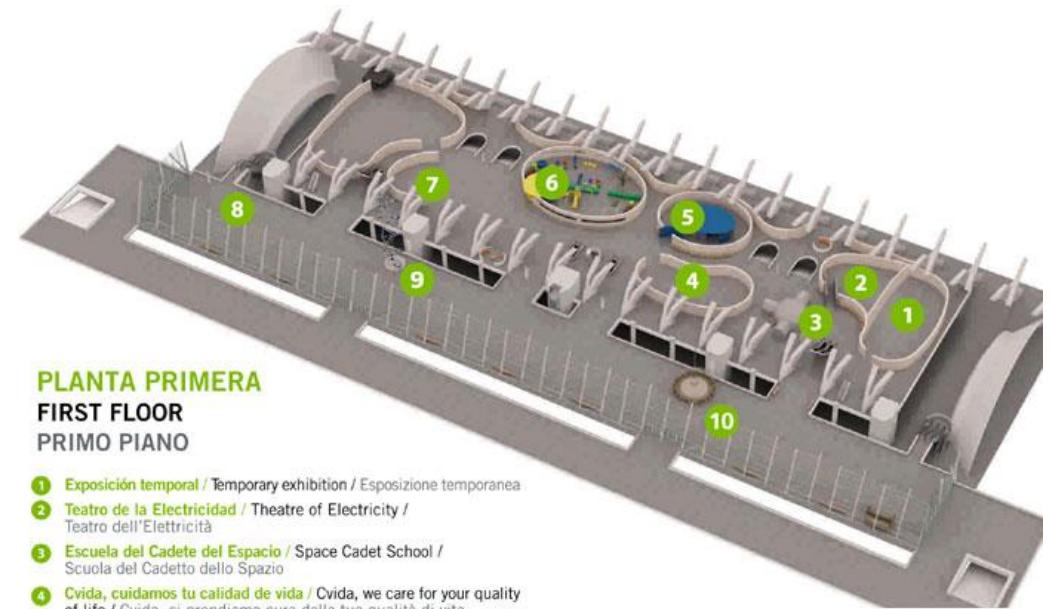
El edificio se distribuye en tres plantas. En la planta baja, se encuentra la denominada Calle Menor, donde se ubican los principales servicios de atención al público (taquillas, restauración, tiendas,...), así como el acceso al Auditorio Santiago Grisolia, y Salón Arqueras, donde se celebran todo tipo de congresos y actos. La Calle Menor es de libre acceso al público y acoge diversas exposiciones a lo largo del año. En la planta baja se encuentran además las aulas de "La Ciencia a Escena" y "Estudio de Tv".

En la primera planta del Museo, el público encuentra exposiciones de ciencia interactiva como "Exploratorium", "Amueblando el hábitat, de la mano de la naturaleza" y "L'Espai dels Xiquets", entre otras muchas propuestas, donde experimentar con divertidos módulos e incluso participar en talleres. Desde la primera planta se accede a la Calle Mayor, donde se encuentra una representación artística del ADN a través de una escultura de 15 metros de altura, y el Péndulo de Foucault, que con 34 metros de longitud, es uno de los más largos del mundo. Además, se puede admirar la impresionante superficie acristalada del Museo, con más de 4.000 cristales, y las vistas al jardín del Turia, desde las terrazas exteriores.



### PLANTA BAJA GROUND FLOOR PIANTERRENO

- 1 La Ciencia a Escena. Salas 1 y 2 / Science on Stage. Rooms 1 and 2 / La Scienza in Scena. Sale 1 e 2
- 2 Ventana Valencia / Window on Valencia / Finestra Valencia
- 3 La Ciencia a Escena. Estudio de TV / Science on Stage. TV Studio / La Scienza in Scena. Studio Televisivo
- 4 La Ciencia a Escena. Sala 3 / Science on Stage. Room 3 / La Scienza in Scena. Sala 3
- 5 Exposición temporal / Temporary exhibition / Esposizione temporanea



### PLANTA PRIMERA FIRST FLOOR PRIMO PIANO

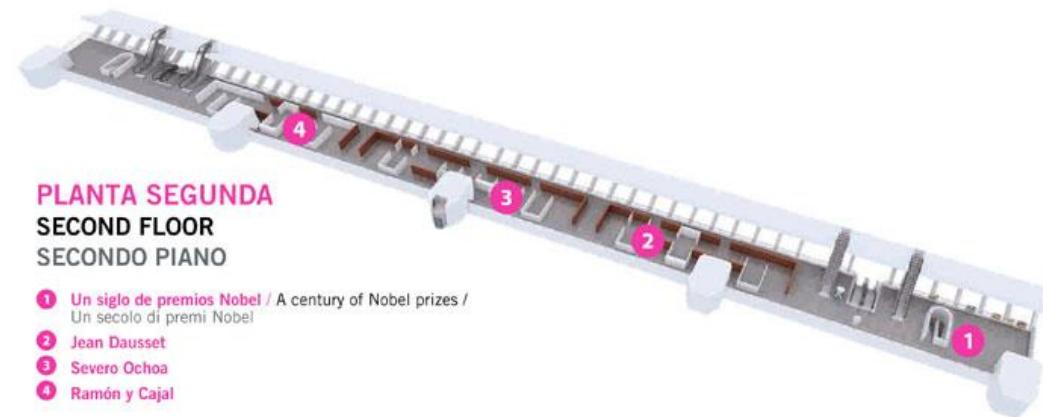
- 1 Exposición temporal / Temporary exhibition / Esposizione temporanea
- 2 Teatro de la Electricidad / Theatre of Electricity / Teatro dell'Elettricità
- 3 Escuela del Cadete del Espacio / Space Cadet School / Scuola del Cadetto dello Spazio
- 4 Cuida, cuidamos tu calidad de vida / Cuida, we care for your quality of life / Cuida, ci prendiamo cura della tua qualità di vita
- 5 Exploratorio / Exploratorium / Esploratorio
- 6 L'Espai dels Xiquets
- 7 Amueblando el Hábitat de la mano de la naturaleza / Furnishing the World hand in hand with nature / Arredando l'Habitat in armonia con la natura
- 8 Exposición temporal / Temporary exhibition / Esposizione temporanea
- 9 Representación artística de la molécula de ADN / Artistic representation of the DNA molecule / Rappresentazione artistica della molecola di DNA
- 10 Péndulo de Foucault / Foucault's Pendulum / Pendolo di Foucault



La planta segunda está dedicada a la exposición "El Legado de la Ciencia". A través de un recorrido cronológico apoyado en audiovisuales, se va mostrando la vida y evolución de las investigaciones de tres destacados premios Nobel: Santiago Ramón y Cajal, Severo Ochoa y Jean Dausset. También se puede observar parte del legado de Ochoa que consta del archivo personal y científico, así como su biblioteca que contiene más de 1.200 volúmenes.

En la tercera planta del Museo, el público recorre el impresionante "Bosque de Cromosomas", con más de 2.600 metros cuadrados dedicados al mayor hito de la ciencia moderna: la secuenciación del ADN humano. Representación a gran escala de los 23 pares de cromosomas de la especie humana. En torno a cada uno, se desarrollan 127 módulos interactivos relacionados con genes concretos de cada uno y con su funcionamiento.

En este mismo espacio, el visitante puede ver una sorprendente muestra de piezas y vestimentas reales de la mítica serie Star Trek . Una réplica del puente de mando así como varias maquetas y objetos reales son algunos de los elementos que incluye esta exposición que abre sus puertas al público por primera vez en Europa. Otras de las exposiciones es la dedicada al cambio climático, que reúne una serie de paneles gráficos, módulos interactivos, audiovisuales y objetos que muestran a los visitantes diversos aspectos relacionados con el concepto de cambio climático, causas, datos históricos, consecuencias, etc. Entre otras exposiciones interactivas, en esta planta, se encuentra además "Gravedad Cero", realizada en colaboración con la Agencia Espacial Europea, la Academia del Espacio , que recrea a través de la simulación del movimiento tres etapas en la preparación al lanzamiento espacial hasta la Estación Espacial Internacional, o "Ciencia y Deporte con el Valencia C.F", una muestra que permite comprender, de forma amena y divertida, principios físicos, tecnológicos y de las ciencias de la salud.



## PLANTA SEGUNDA SECOND FLOOR SECONDO PIANO

- 1 Un siglo de premios Nobel / A century of Nobel prizes / Un secolo di premi Nobel
- 2 Jean Dausset
- 3 Severo Ochoa
- 4 Ramón y Cajal



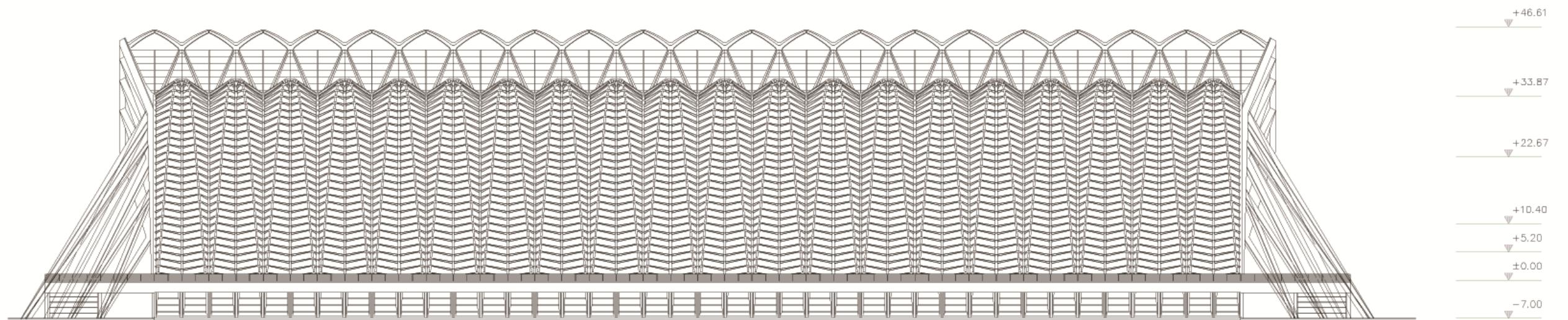
## PLANTA TERCERA THIRD FLOOR TERZO PIANO

- 1 Cambio climático / Climate change / Cambiamento climatico
- 2 La ciencia del deporte con el Valencia C. F. / Sports science with Valencia C. F. / La scienza e lo sport con il Valencia C. F.\*
- 3 Star Trek
- 4 El espacio de la ESA / Space with the ESA / Lo spazio dell'ESA\*
- 5 Academia del Espacio / Space Academy / Accademia dello Spazio
- 6 Bosque de Cromosomas / Forest of Chromosomes / Bosco dei Cromosomi

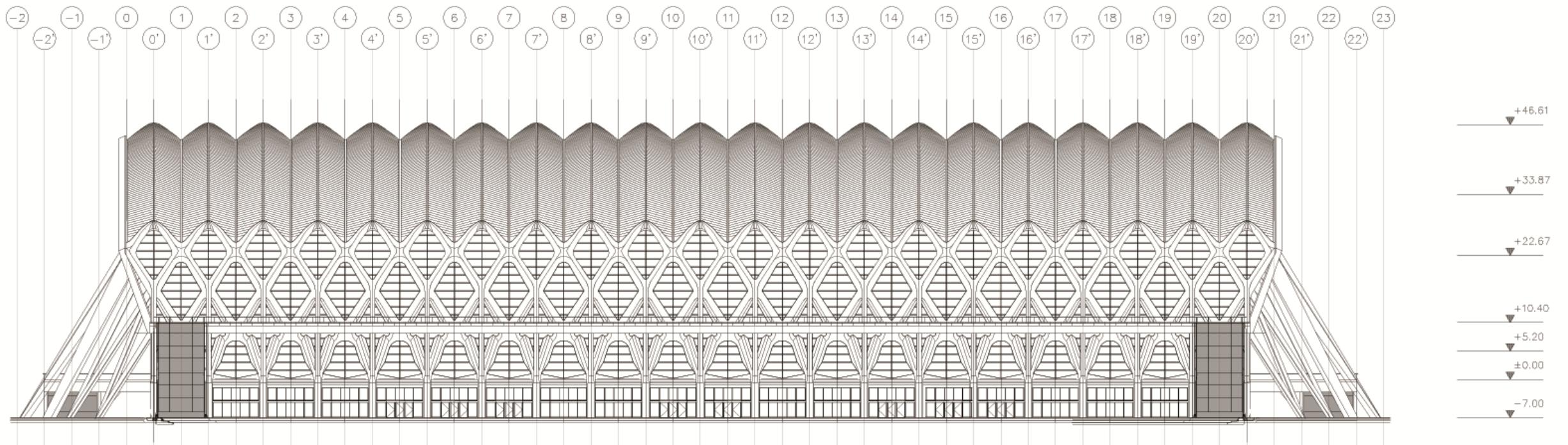
\* Próximamente / Coming soon / Fra poco



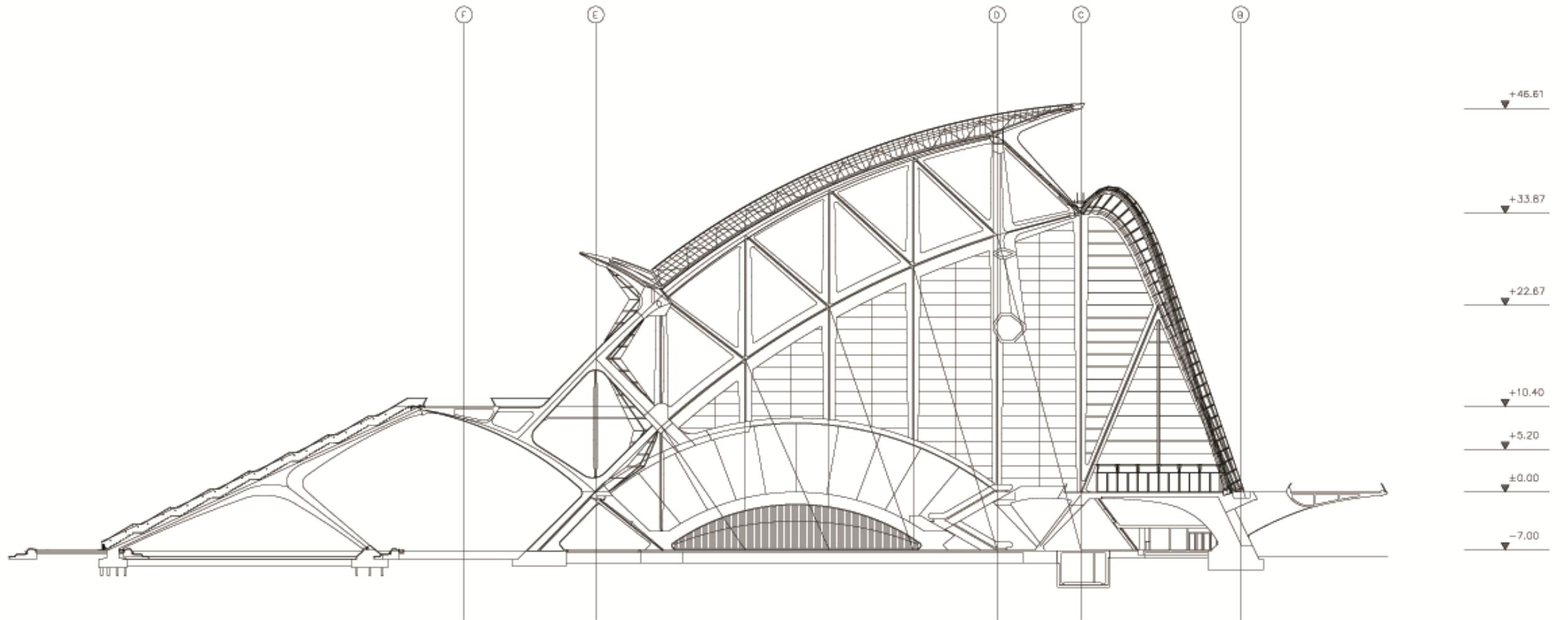
# Alzado Norte



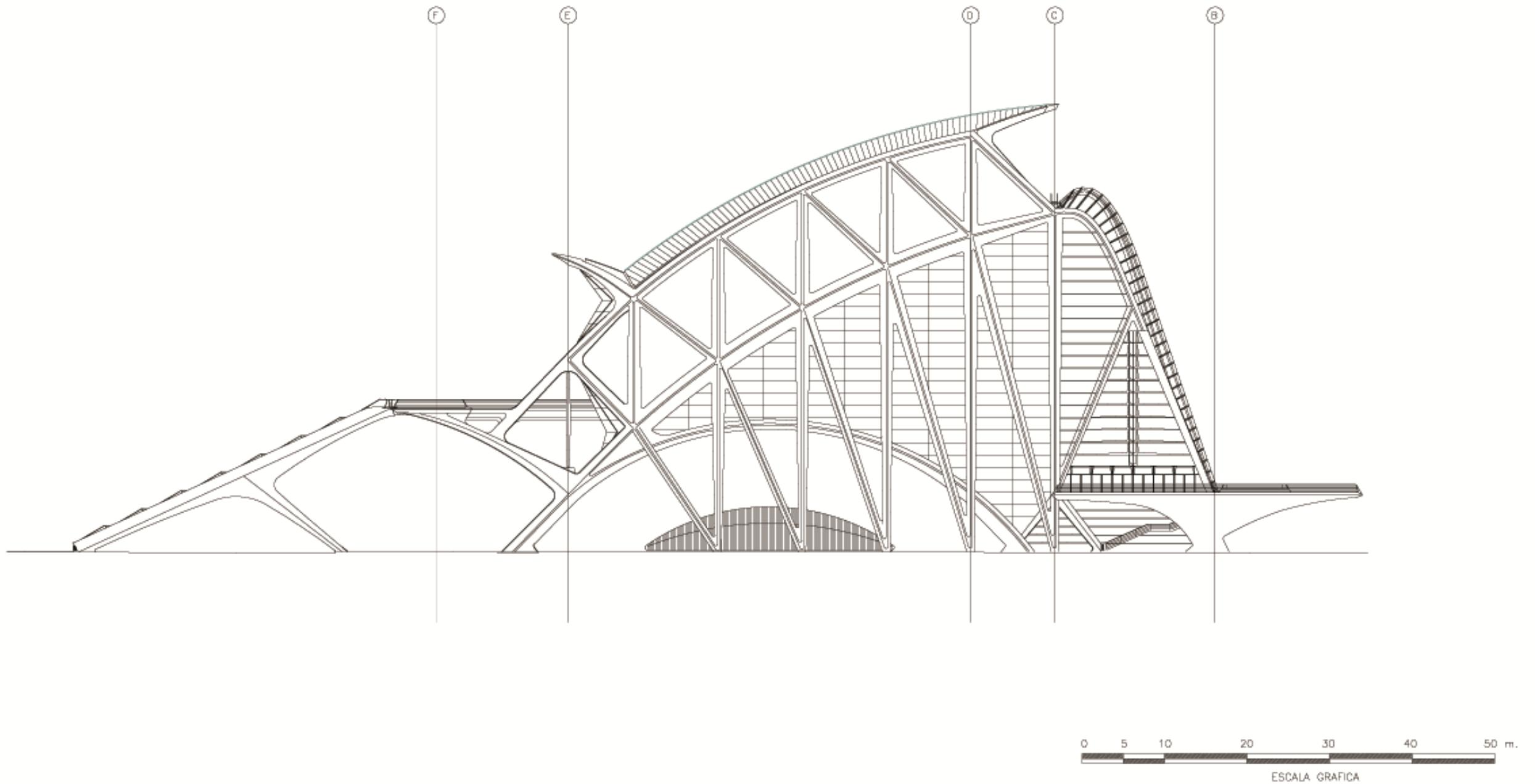
Alzado Sur



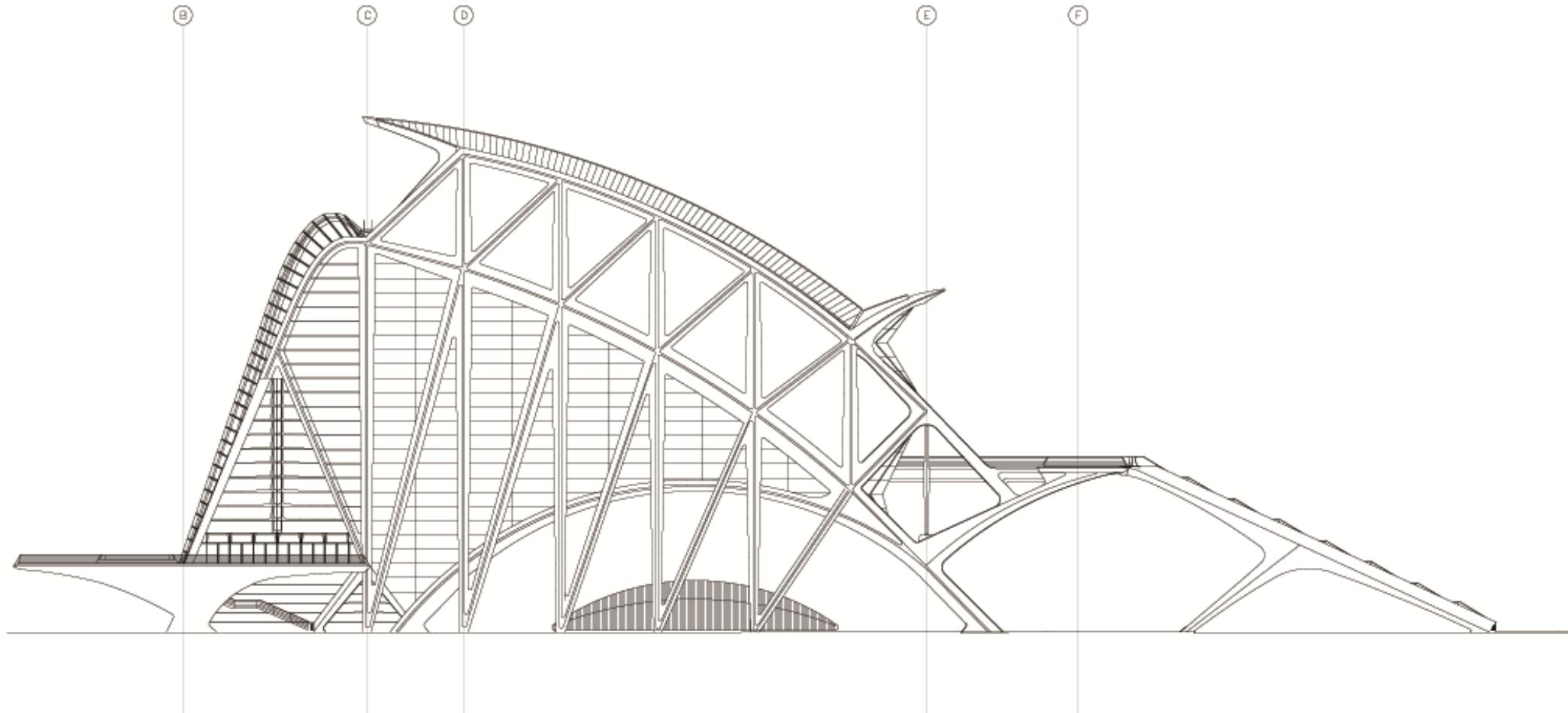
Alzado Este



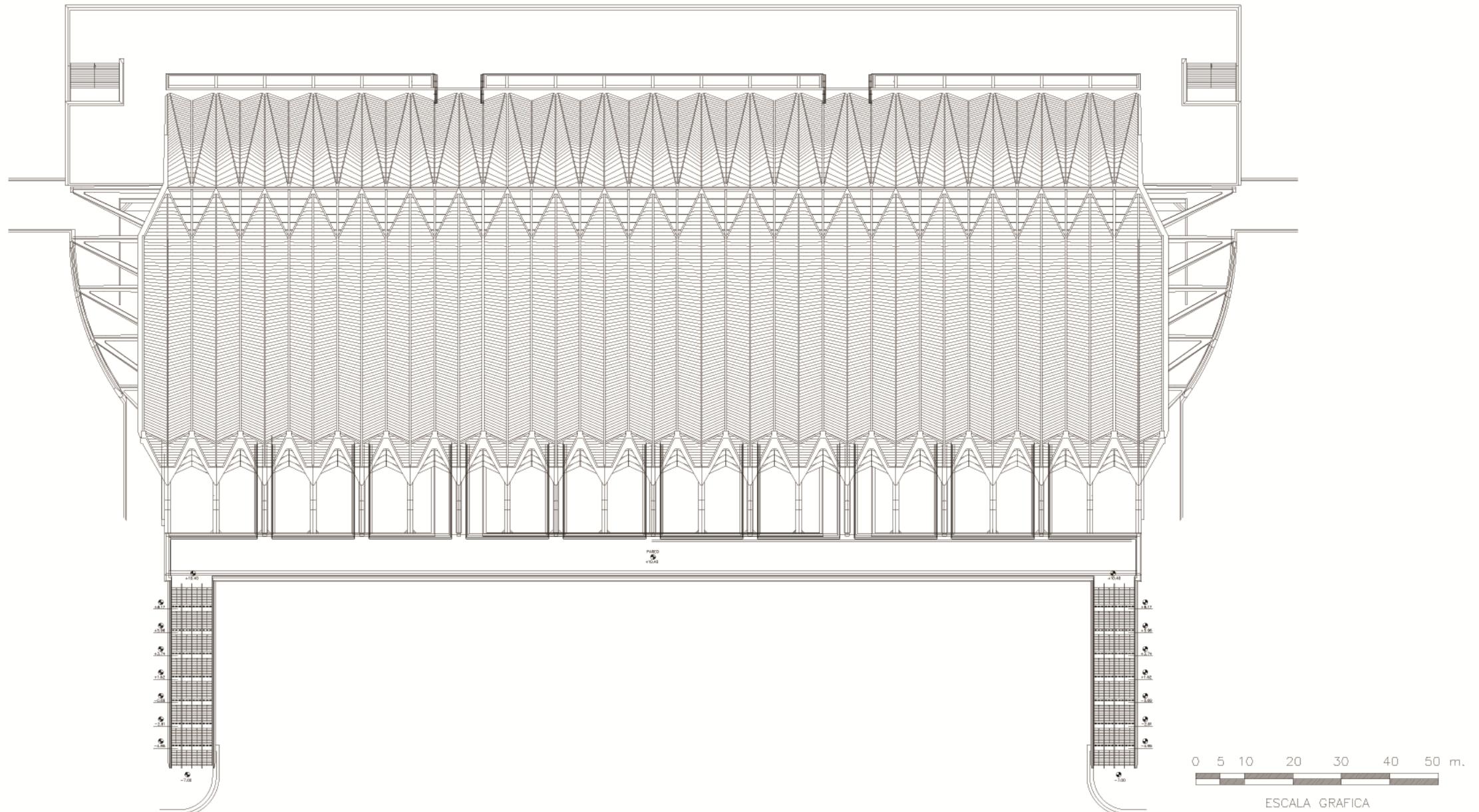
## Alzado Interior Testero



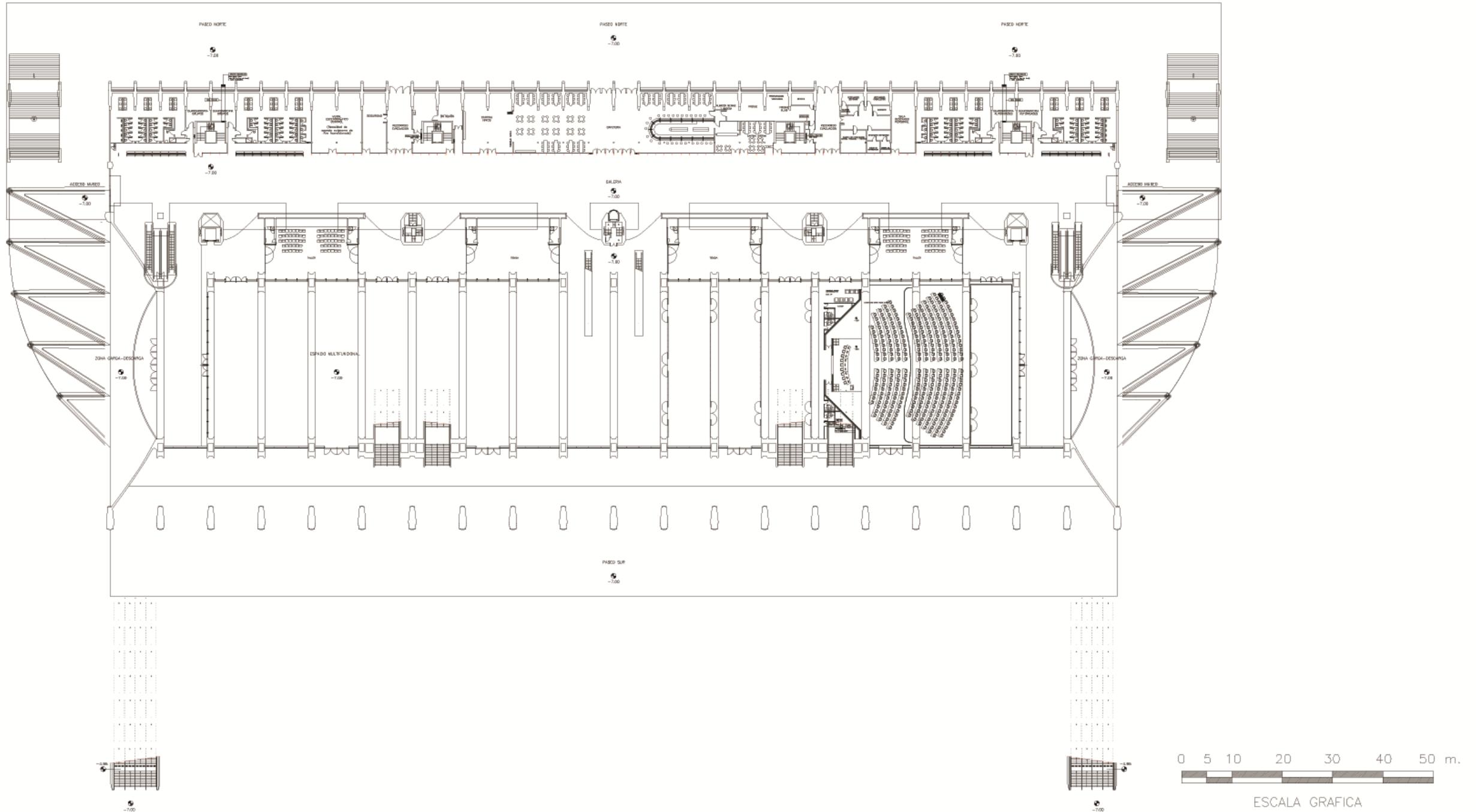
## Alzado Oeste



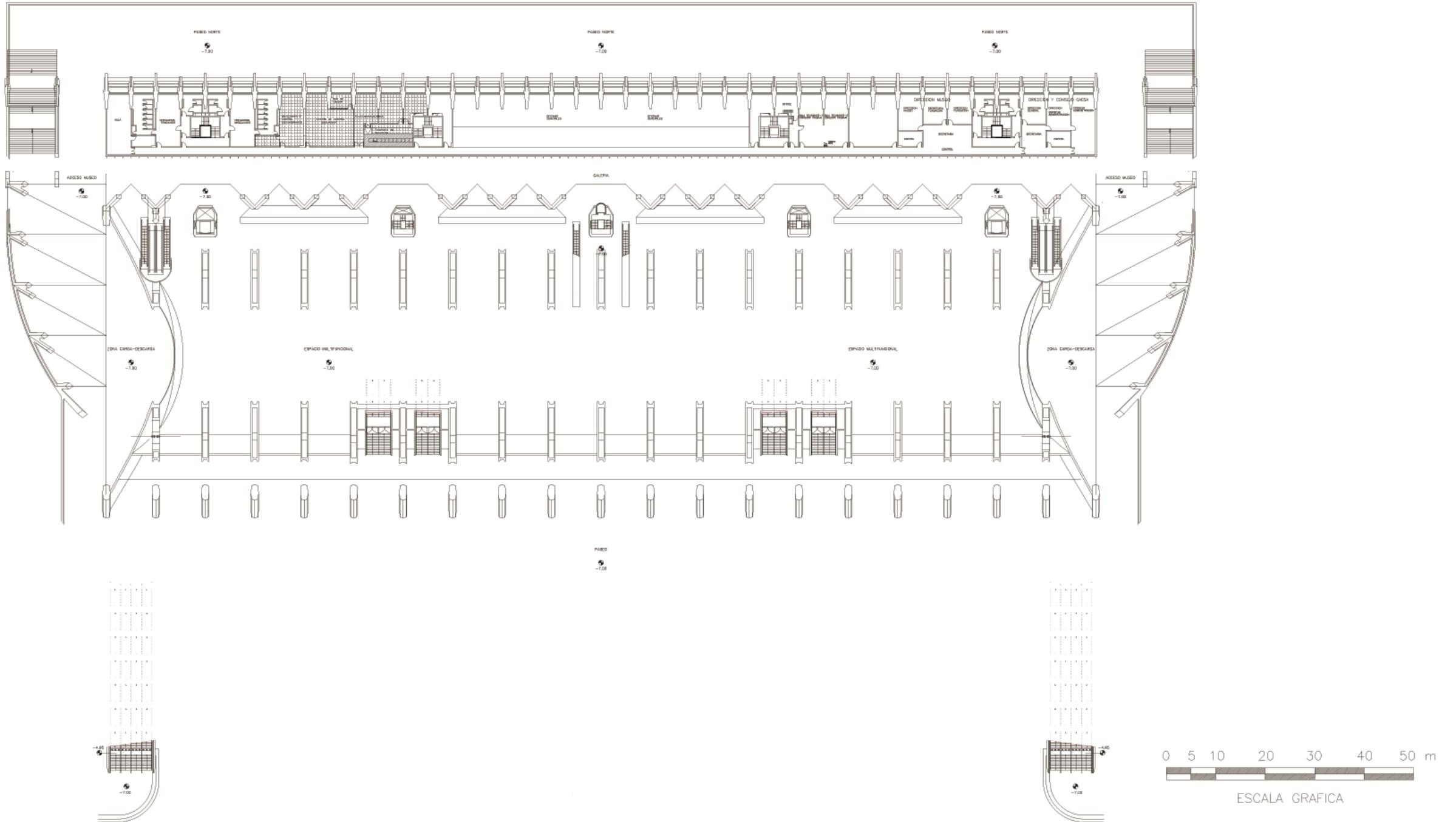
## Planta. Cubierta



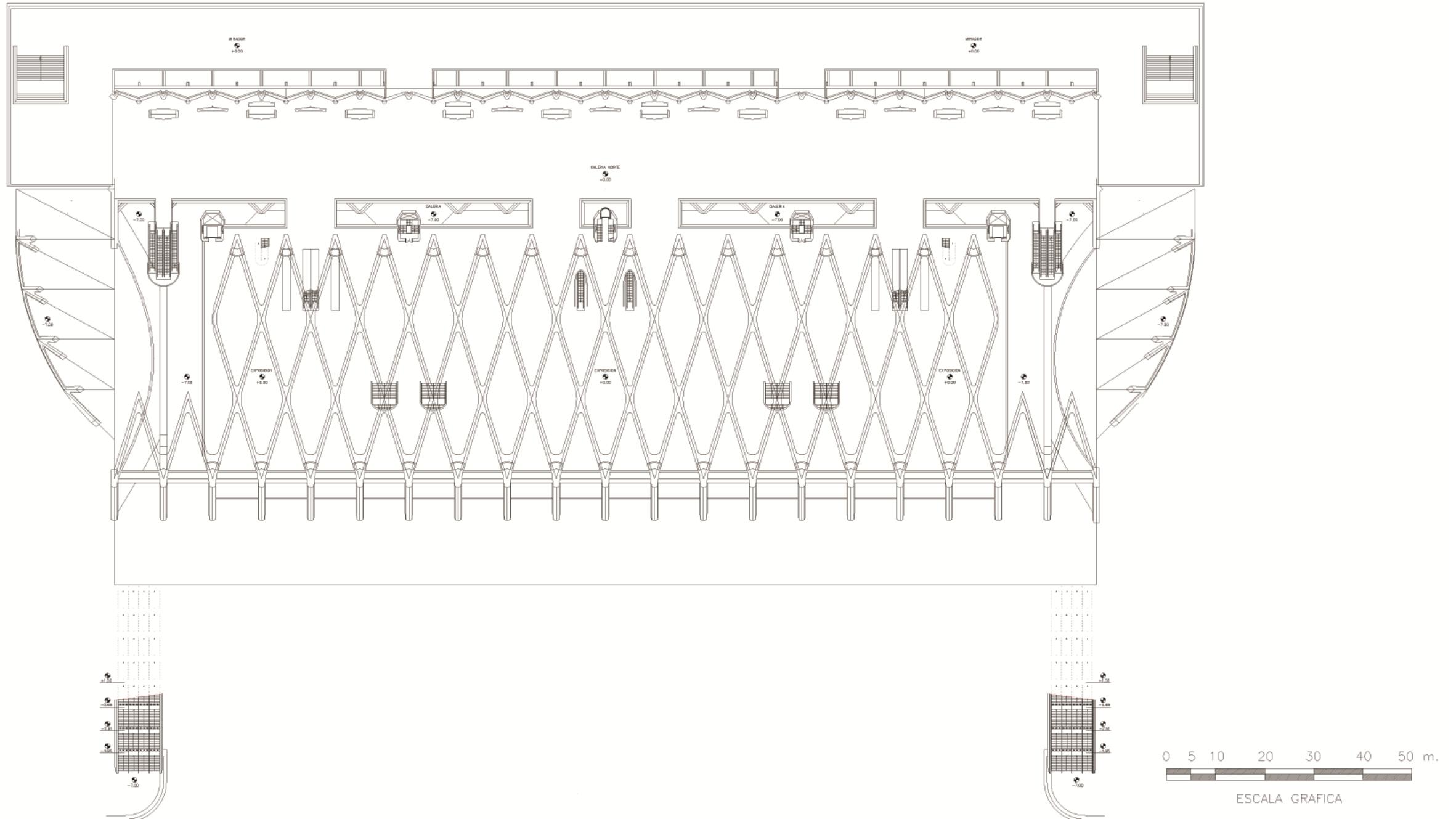
Planta Cota -7.00



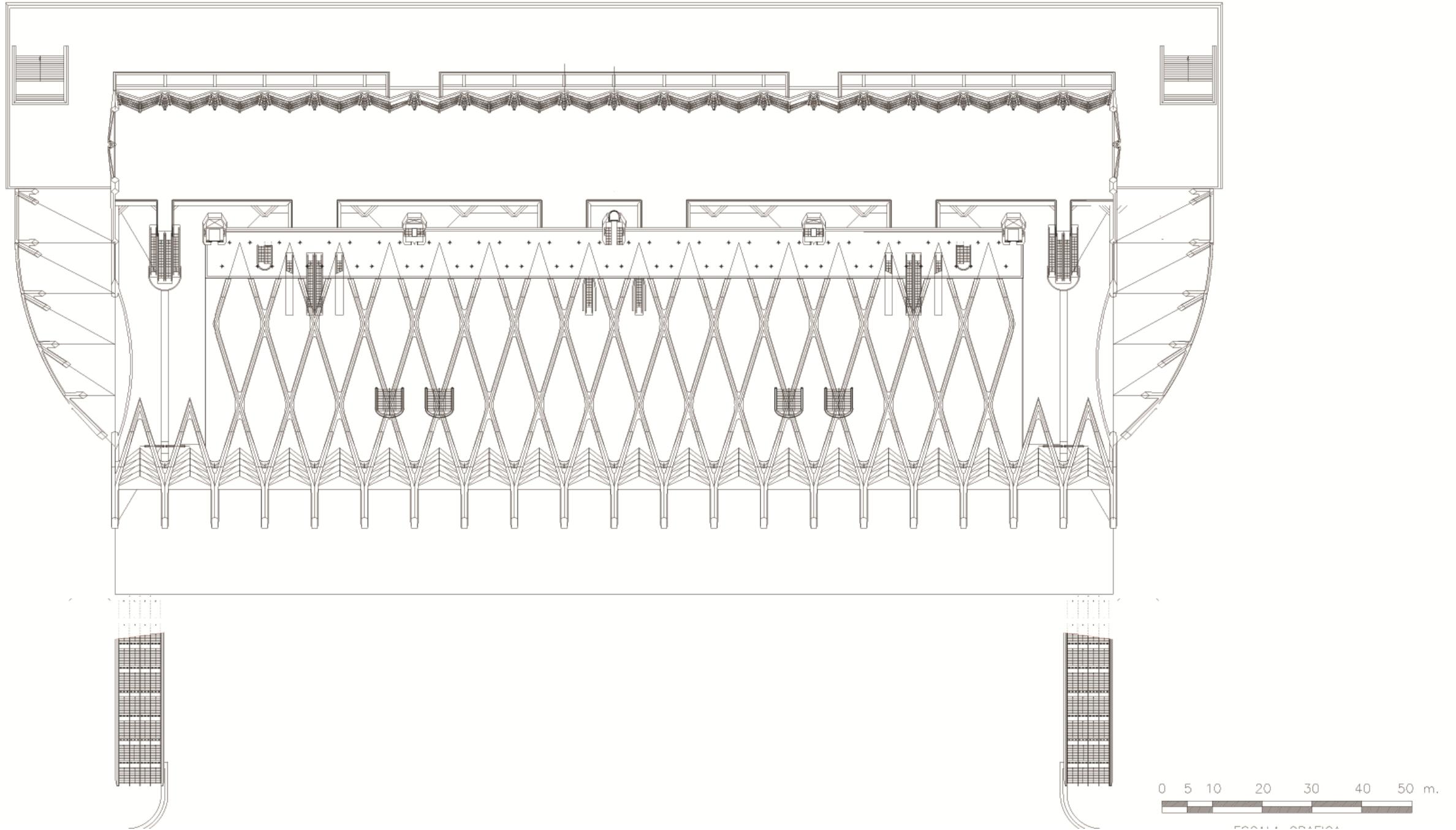
Planta Cota -4.30



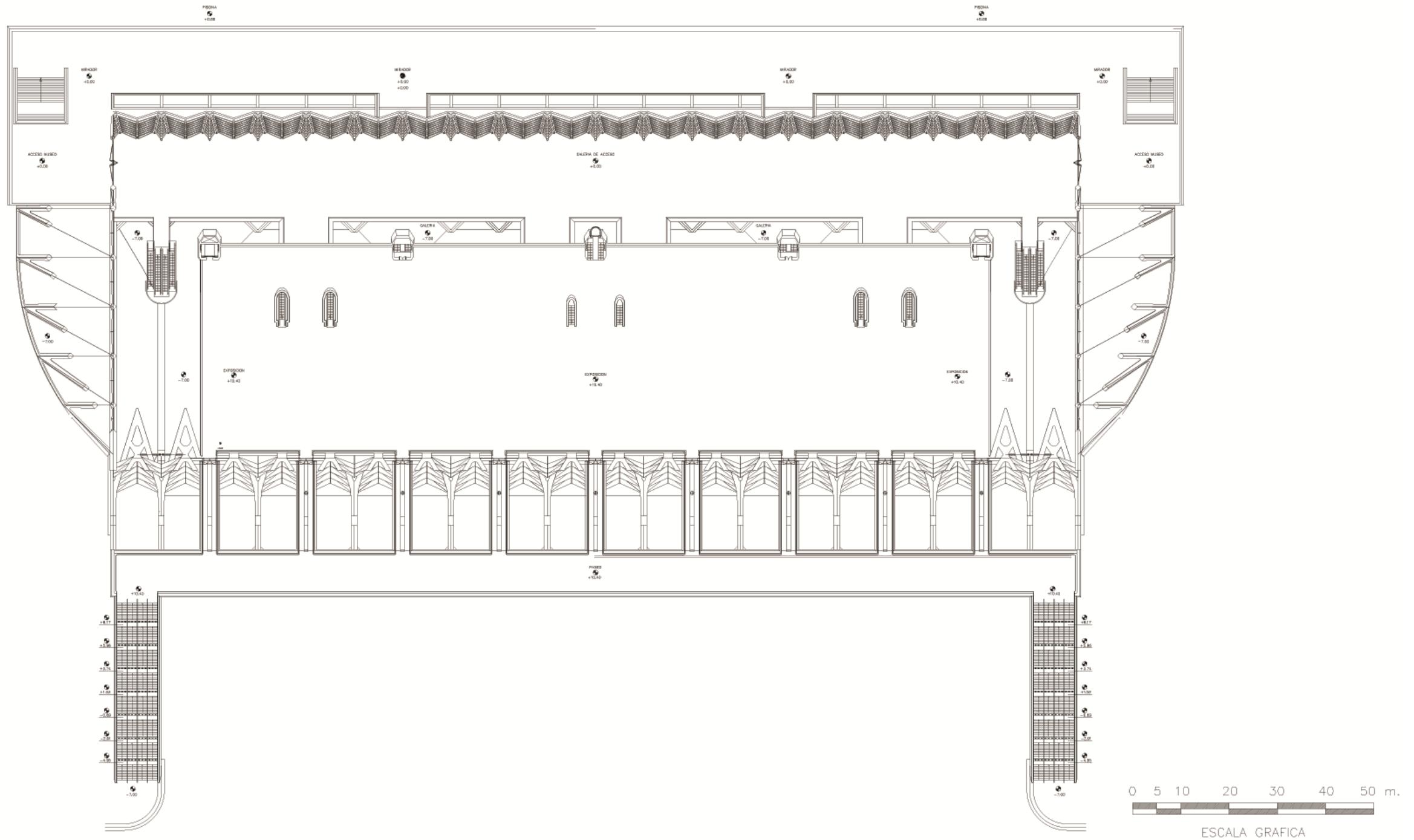
Planta Cota +0.00



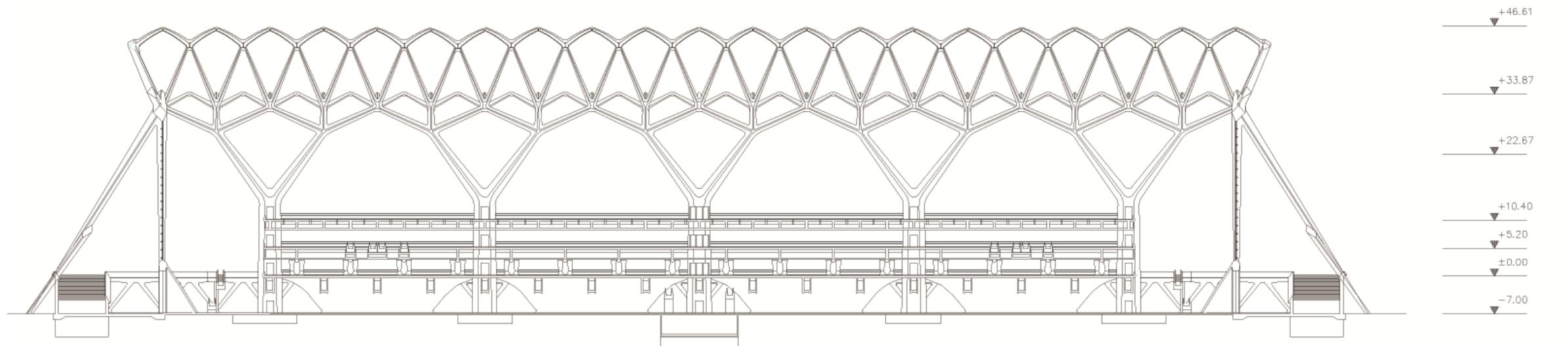
Planta Cota +5.20



# Planta Cota +10.40



## Sección longitudinal



0 5 10 20 30 40 50 m.

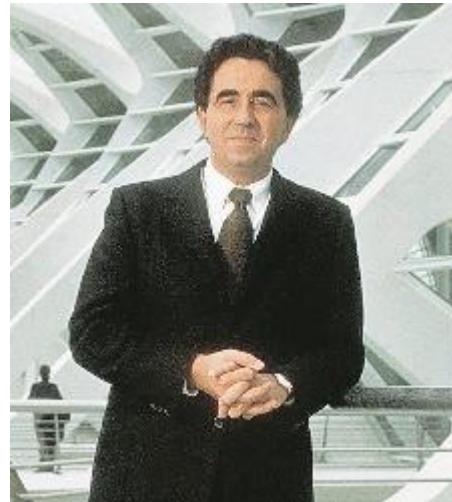


ESCALA GRAFICA



## Santiago Calatrava Valls

Nació en Benimamet, Valencia, en 1951, arquitecto español. Considerado como uno de los arquitectos más creativos del momento, los diseños de Calatrava se caracterizan por un aire futurista y la innovación técnica y estética. Sus amplios conocimientos de ingeniería le han permitido especializarse en el diseño de grandes estructuras, entre las que destacan sus puentes, muchos de ellos célebres.



Santiago Calatrava Valls

Tras asistir a clases nocturnas en la Escuela de Bellas Artes y Oficios de Burjasot, Santiago Calatrava inició en 1969 la carrera de Arquitectura en la Universidad Politécnica de Valencia, donde se graduó en 1973. Al poco tiempo se trasladó a Suiza, para estudiar Ingeniería civil en la célebre Escuela Politécnica Federal de Zúrich (ETHZ, por sus iniciales en alemán), considerada una de las mejores universidades científico-tecnológicas del mundo. Entre 1979 y 1981 se doctoró allí en Ciencias Técnicas con la tesis *Acerca de la plegabilidad de las estructuras* y ejerció asimismo la actividad docente.

En 1981 abrió su primer estudio de arquitectura e ingeniería civil en Zúrich. Afiliado en 1987 a la Unión de Arquitectos Suizos (BSA), recibió el premio Auguste Perret UIA (Unión Internacional de Arquitectos) de París; en esta ciudad estableció un segundo estudio en 1989, mientras se realizaba la primera exposición monográfica de su obra en la Universidad de Columbia, en Nueva York, a la que seguiría una serie interminable de muestras similares en instituciones de todo el mundo.



Estación Zurich



Mérida



Barcelona



Jerusalén

Uno de los primeros proyectos que le mereció el reconocimiento internacional fue el de la estación ferroviaria de Stadelhofen, en Zúrich. Construida entre 1983 y 1990, Calatrava contó para su diseño con la colaboración de Arnold Amsler y Wener Rueger. El prestigio de Calatrava se fue acrecentando con sus sucesivas obras.

Una de sus grandes especialidades es la construcción de puentes, que concibe como un fenómeno cultural; los ha construido en Basilea, Mérida, Lérida, Barcelona (Bach de Roda, premio FAD de las Artes Plásticas), Valencia (sobre el Turia), Sevilla (La Cartuja y el Alamillo, con motivo de la Expo-92) y algunos más recientes como el de Jerusalén y Venecia.





Aeropuerto de Sondika (Vizcaya)



Estación ferroviaria de Lyon



Estación ferroviaria de Lieja



Estación ferroviaria de Lisboa

También proyectó el aeropuerto de Sondika (Vizcaya), la torre de comunicaciones del Anillo Olímpico de Montjuïc (Barcelona), las estaciones ferroviarias de Lyon, Zurich, Berlín, Lisboa y Lieja, así como el "Hemisferic" (planetario) de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia y el Palacio de Congresos de Tenerife.

Su primer rascacielos, el emblemático Turning Torso (2005), en Malmo (Suecia), es una estructura en espiral de 190 metros de altura. El rascacielos Chicago Spire es una torre de forma retorcida cuya construcción se prevé finalizar en 2011 en esa ciudad estadounidense, y que con sus 610 metros de altura será el edificio más alto del país. Su labor y trayectoria se han visto reconocidas con innumerables premios. En 1999 le fue otorgado el premio Príncipe de Asturias de las artes; el mismo año fue nombrado Doctor *Honoris Causa* por la Universidad de Lund (Suecia).

En Calatrava convergen una excepcional sensibilidad artística y una notable solvencia técnica; de este modo, sus obras se distinguen por su audacia estructural y su armonía exquisita. Los principios estructurales que rigen su arquitectura son a menudo de gran simplicidad, pero las soluciones técnicas alcanzan grados de sofisticación muy altos, como en los perfiles de los elementos estructurales y la yuxtaposición de los distintos materiales.

A pesar de su predilección por los esquemas simétricos, algunos de sus edificios presentan composiciones asimétricas, como en la posición de los arcos de algunos de sus puentes, en el que consigue un gran equilibrio dinámico gracias a la disposición asimétrica de los distintos elementos en relación con su base. En el extraordinario auge creativo que vive la arquitectura española en el último cuarto de siglo, no hay duda de que la figura de Calatrava sobresale de forma particularmente relevante.



Turning Torso



Chicago Spire



### 3. Análisis arquitectónico.



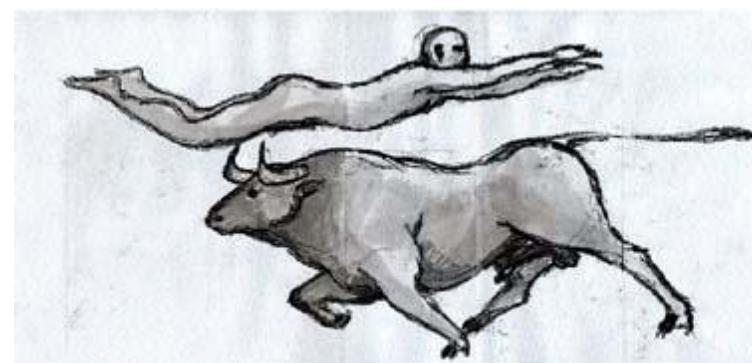
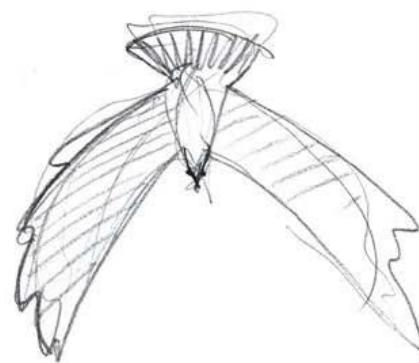
## Inspiración

*"Mi mayor fuente de inspiración es la naturaleza"*, ha reconocido Calatrava en numerosas ocasiones, y es imprescindible conocer este hecho para comprender todos los diseños del arquitecto.

Sin duda, Calatrava trabaja en un registro distinto al de la inmensa mayoría de arquitectos contemporáneos de renombre, rehuendo de formas "nuevas" generadas por ordenador en pro de una gama de siluetas estrechamente vinculadas con el arte y la naturaleza.

Las obras de Calatrava y, sobre todo, sus bocetos previos revelan similitudes con formas orgánicas, no solo en elementos estáticos, sino también entre los movimientos llevados a cabo por diferentes estructuras.

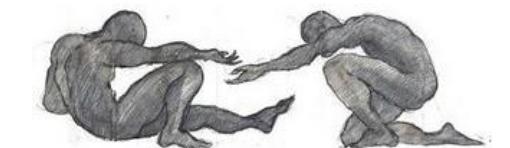
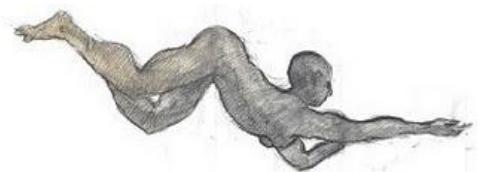
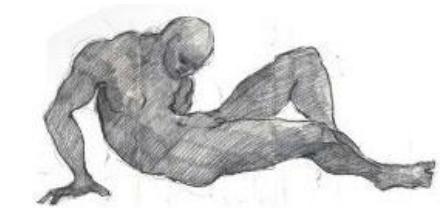
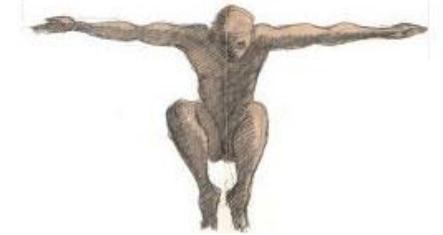
Edificios, esculturas o proyectos de ingeniería se expanden y contraen, florecen, se abren y cierran, suben y bajan de forma análoga al característico movimiento de un pájaro, una flor, una parte de un cuerpo humano. En otras palabras, además de replantear las formas de vida en sus proyectos, Calatrava también rediseña la vida en ellos.





El arquitecto muestra una gran admiración por las formas de la naturaleza, los vegetales, las ramas de árboles o las hojas de palmera, que generan espacios ascendentes; las formas de aves, de alas desplegadas expresan el movimiento y las formas de esqueleto, las estructuras delicadas y luminosas que sugieren estatismo.

También se entrega notablemente al tema del desnudo en las más diversas posturas, sacando partido a la infinita ductilidad del cuerpo humano y la variedad de su movimiento. "Todo se basa en el hombre, dentro de su complejidad hay lugar para lo sagrado", comenta el arquitecto.



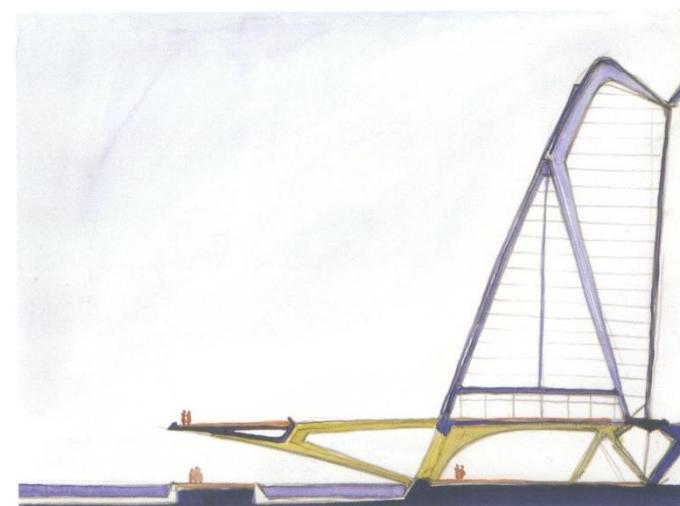
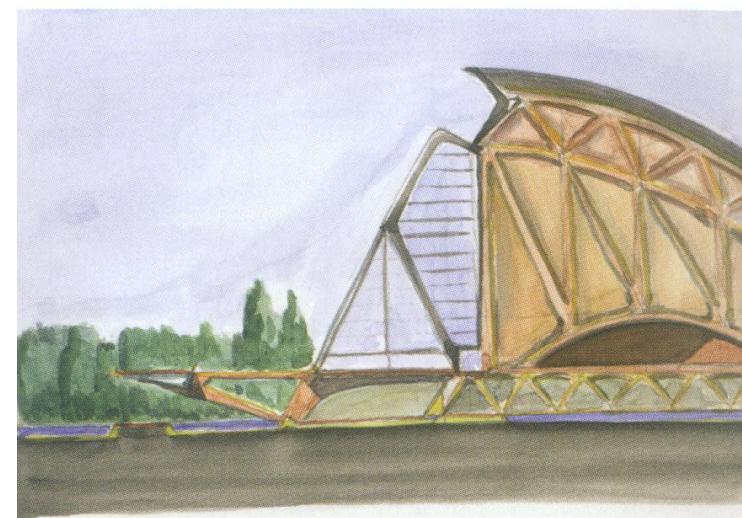
## Museo de las Ciencias

Un esqueleto, quizás el de un dinosaurio. Ése es el aspecto que presenta el Museo, pura fantasía por dentro y por fuera.

Transforma la fachada norte del museo en una inmensa metáfora orgánica basada en la Naturaleza misma. Por un lado, crea una cascada de cristal que dialoga con fenómenos atmosféricos como la lluvia desde la verticalidad, o los vientos desde la horizontalidad. Por otro, genera un gigantesco esqueleto formado por tubos metálicos en forma de arco, costillas y vidrio.

Toda esta dinámica ascendente se transmite a la cubierta de manera espectacular a través del movimiento de giro que realizan algunas de las ramas de los cinco árboles que conforman el edificio. El resultado es todavía más impactante si observamos el conjunto acristalado desde el exterior, situándonos sobre el voladizo que hace de mirador.

En la cubierta del Museo vuelven a encontrarse citas de autor referidas al mundo de las formas y estructuras que podemos encontrar en la Naturaleza. La resolución de la misma desafía la imaginación, al lograr el efecto en nosotros de estar ante un edificio rodeado de agua por todas partes. También por arriba, desde el momento en que la cubierta asemeja una gran lámina de agua rizada por el viento. Podemos disfrutar contemplando el juego geométrico descrito por estas ondas acuáticas de 45 metros de longitud, generadas por celosías de acero en forma de arco inclinado.



## Elementos del edificio

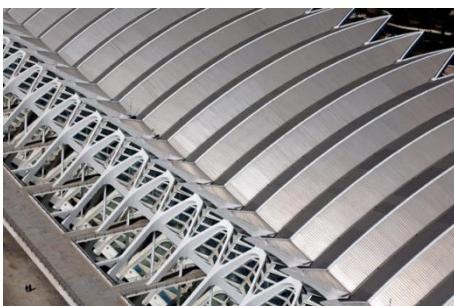


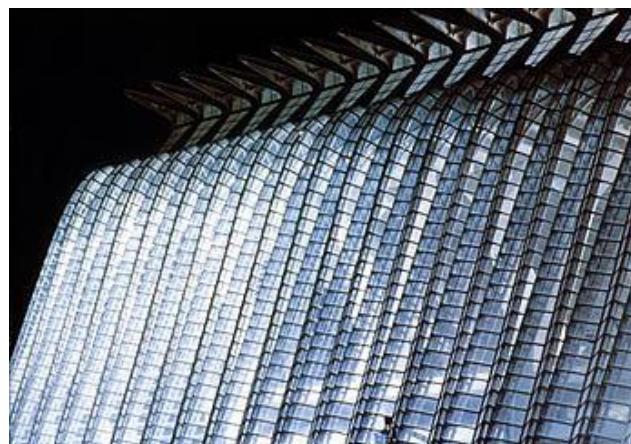
Imagen de la cubierta por su parte superior donde se puede observar su parecido con una gran ola. Se consigue este efecto con la repetición y forma del módulo de cubierta.



La interpretación general del edificio suele ser el esqueleto de un gran dinosaurio.



Los particulares árboles de la estructura del edificio reflejan en su nombre y en su morfología una evidente analogía con la naturaleza



La fachada norte, repite su módulo como la cubierta, por ello y por su juego de luces se podría asemejar a una ola. Por otra parte su particular estructura nervada y su forma de parábola simula unas grandes costillas.



Esta imagen de la fachada norte a algunos podría recordarnos a la boca de un tiburón.



La pieza particular de la parte superior de la fachada, en su encuentro con la cubierta es la llamada pico de pato.



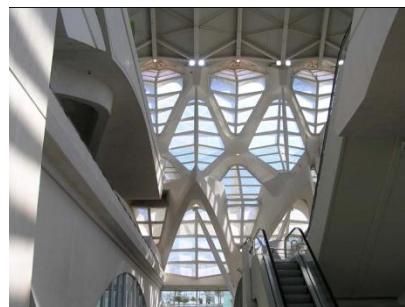
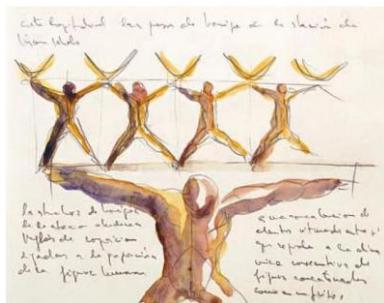
## Bocetos



Museo de las Ciencias, vista sur



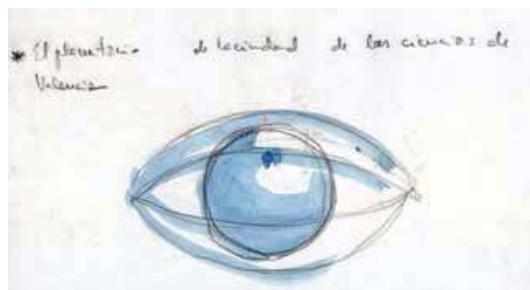
Aeropuerto de Lyon



Museo de las Ciencias, vista interior.



Tragaluces Aeropuerto de Lyon



Museo de las Ciencias, puerta de acceso



L'Hemisfèric

Si analizamos otros elementos del edificio podemos encontrar más similitudes con formas de la naturaleza, bocetos del autor o incluso parecidos en cuanto a inspiración y formas con otras de sus obras.

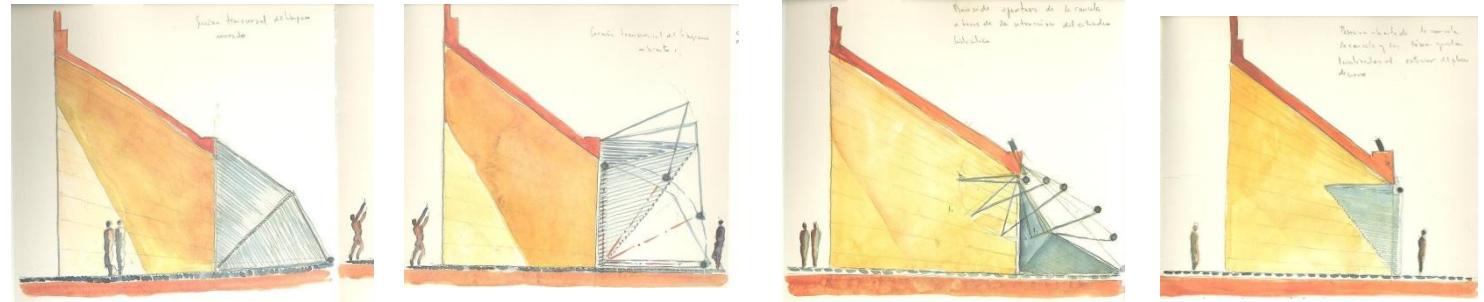
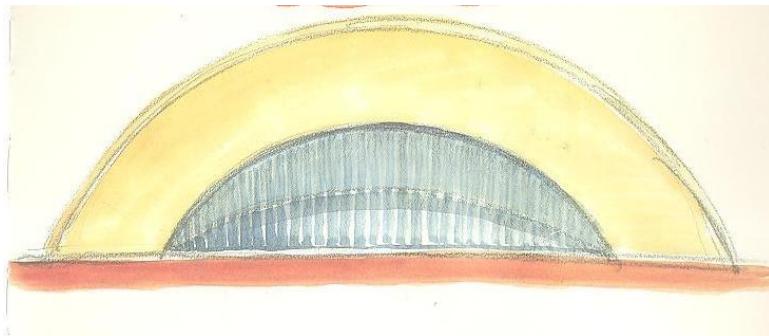
Las manos, el cuerpo humano y su movimiento. Calatrava diseña y proyecta en el Museo de las Ciencias y también en obras como el Aeropuerto de Lyon elementos estructurales como el de las primeras imágenes.

Otro elemento que se repite en estas dos obras es el de las fotografías que simula a un hombre con piernas y brazos abiertos.

La referencia al ojo, utilizada en obras como L'hemisfèric, también aparece en este edificio, en sus puertas de acceso laterales.



## Elementos móviles



El movimiento es imprescindible en las obras de Calatrava, es más, realizó su tesis sobre las estructuras plegables en 1981. Son muchas las obras en las que utiliza este tipo de estructuras, normalmente en puertas de acceso, como es el caso del Museo de las ciencias.

Su primera estructura plegable la realizó en las puertas de las bodegas de Wesfalia. Más tarde su evocación del movimiento se hizo realidad en obras como el Pabellón de Vierwaldstatter, el pabellón de Kuwait en la expo de Sevilla y las puertas de la plaza de España de Alcoy.

Semejante a nuestro acceso he considerado la estructura plegable de la cubierta del centro de servicios de emergencia de St. Gallen, Suiza. Y, de forma más similar, la base de la torre de telecomunicaciones de Montjuic, la cual además de contar con un acceso de estructura plegable tiene una forma estrechamente relacionada con la fascinación que Calatrava siente por el ojo humano.



Acceso al Museo de las Ciencias

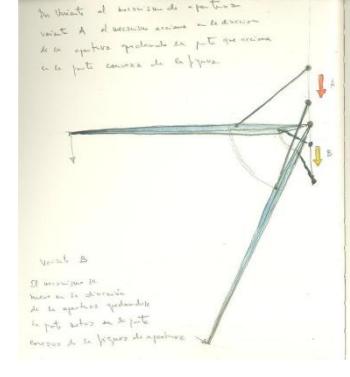
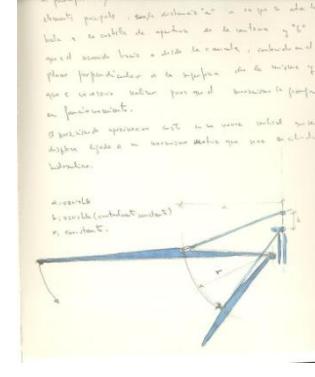
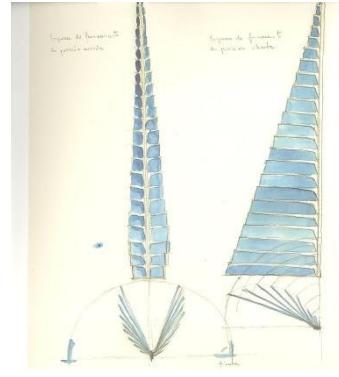
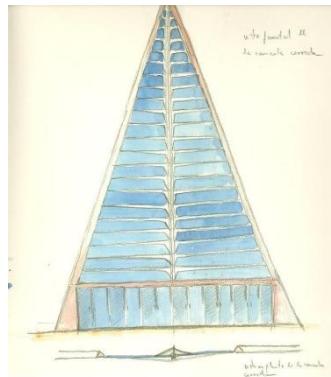
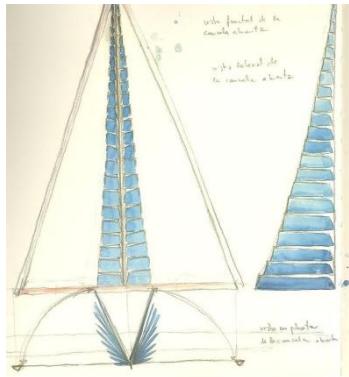


Centro de servicios de emergencia, Suiza



Puerta de acceso Base de la Torre de telecomunicaciones de Montjuic





Bocetos mecanismos de apertura de ventana



Cristalera Museo de las Ciencias

Este es otro elemento móvil que proyecta Calatrava para el Museo ,ventanas de lamas móviles para las fachadas Este y Oeste. Los bocetos de la parte superior explican su mecanismo de movimiento.

Finalmente estas dos ventanas de las fachadas este y oeste no se construyeron como en los bocetos y quedaron fijas.

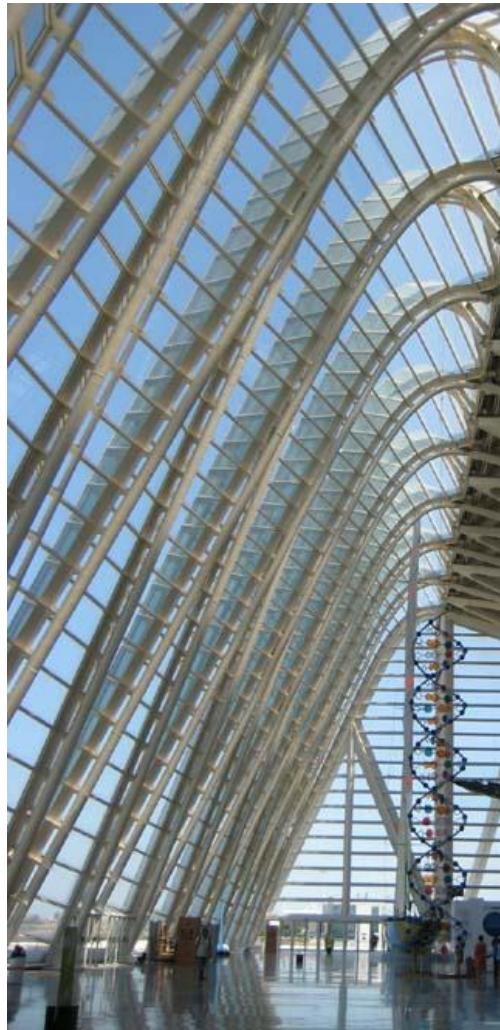
Una obra en la que el autor utiliza realmente cristalerías móviles es la galería BC Place de Toronto, donde utiliza paneles giratorios o alas.



BC Place, Toronto



## Estructura nervada



Estructura de fachada

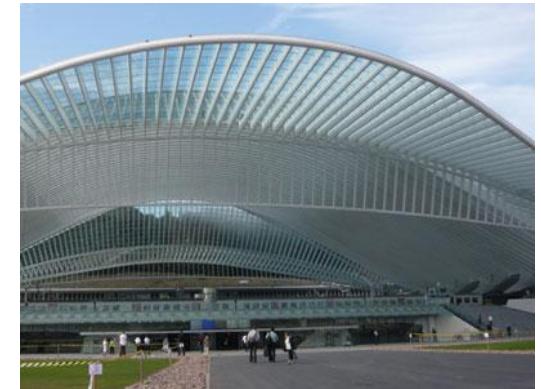
En cuanto a la estructura de nuestro elemento, la fachada norte, podemos ver claramente la fusión entre arquitectura e ingeniería, la importancia que le da Calatrava a aspectos como la sección repetitiva, la forma, el movimiento y la metáfora.

La forma curva de los arcos de fachada hace que cree un espacio amplio y vacío que sumado a la altura del elemento le aporta pureza y autonomía.

La modulación de la fachada genera trazados capaces de aportarle variación, ritmo y jerarquía aumentando su interés visual.

El arquitecto retoma del gótico la sinceridad estructural, diferenciando la estructura del cerramiento, así las fuerzas se transmiten de manera más natural.

Son numerosas las obras en las que Calatrava ha utilizado estructuras de acero de este tipo como la estación de Lieja, la de Lisboa o los arcos similares a los de L'humbracle del estadio olímpico de Atenas.



Estación de Lieja, Bruselas



Estación de oriente, Lisboa



Estadio olímpico de Atenas



## Tratamiento de la luz



*Iluminación natural diurna*

En toda la obra de Calatrava, las formas ganan dinamismo con el uso de grandes superficies acristaladas. Iluminadas desde el interior durante las horas nocturnas, se convierten en fuente de iluminación interior en constante evolución durante el día.

Esta estructura actúa como fuente de luz, se diseña para maximizar la cantidad de luz que entra en el edificio. Los elementos estructurales, que son numerosos y se sitúan próximos unos a otros pueden evocar con su sombra los árboles de un bosque y tratarse de una metáfora más con la naturaleza.



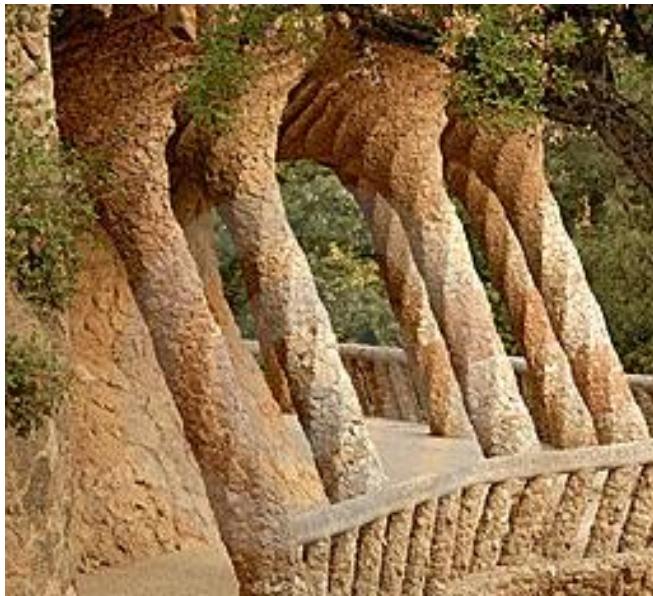
*Iluminación nocturna*



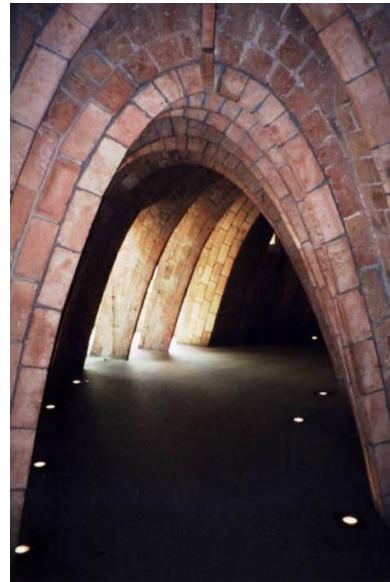
## Influencia de Gaudí

La referencia a Gaudí es permanente en Calatrava, hasta el punto de que algunos elementos que forman parte de su vocabulario personal, como por ejemplo la tendencia a inclinar los pilares de hormigón o de acero, están inspirados sin duda en las columnas de la galería del Parque Güell.

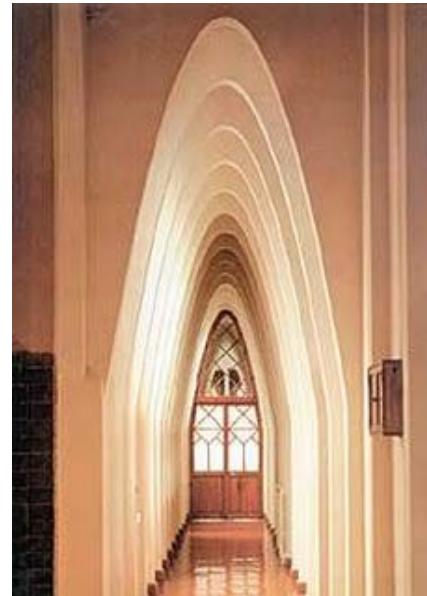
En este caso el elemento utilizado que hereda de Gaudí son las formas de parábola que sirven de estructura nervada a esta fachada, que tanto aparecen en sus obras, como es el caso de La Pedrera, La Casa Batlló y el colegio Teresiano de Barcelona



*Columnas de la galería del parque Güell*



*La Pedrera, Barcelona*



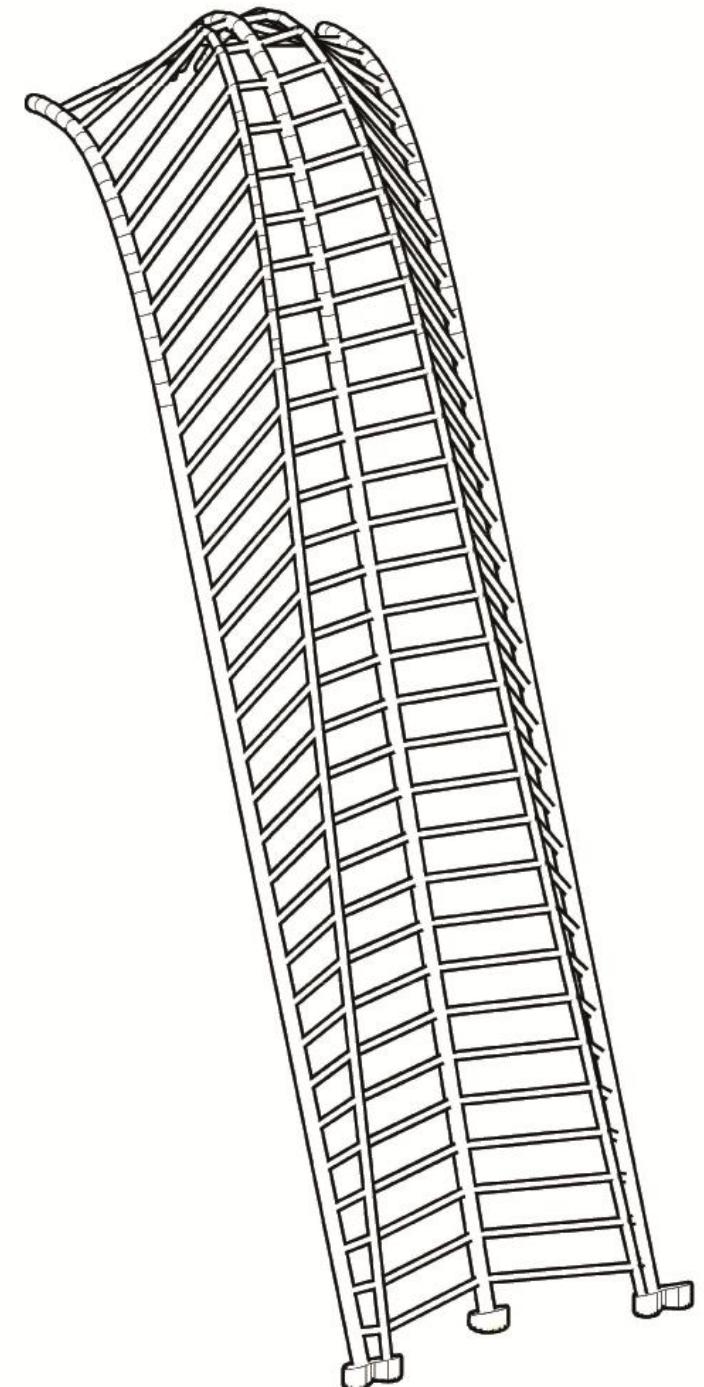
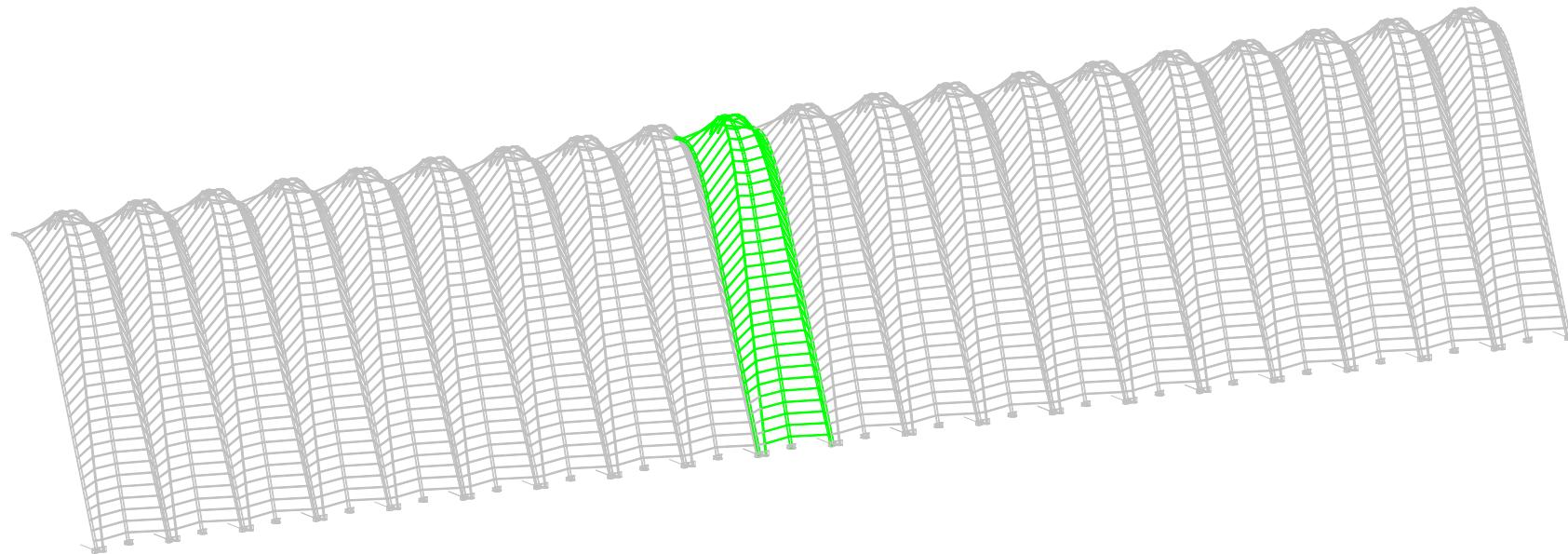
*Colegio Teresiano, Barcelona*

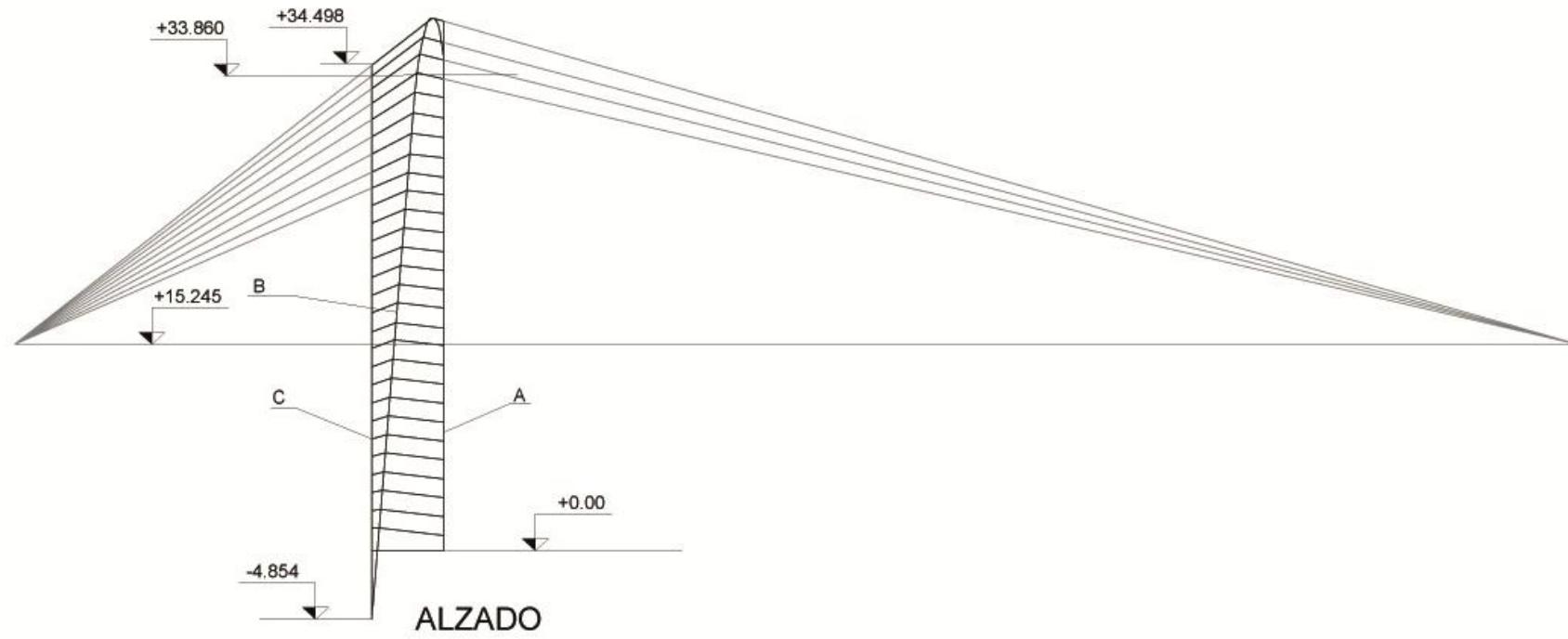
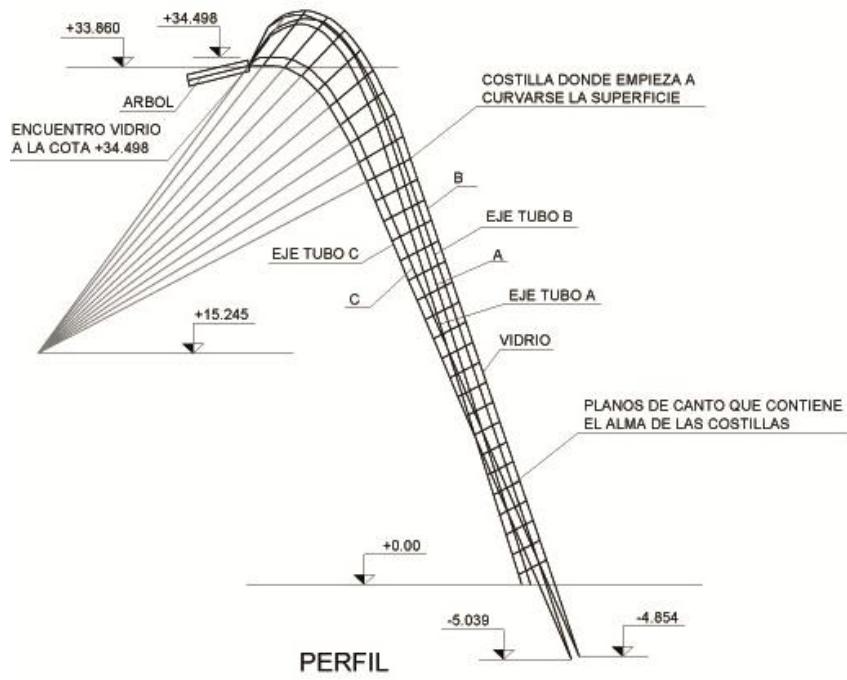


*Casa Batlló, Barcelona*

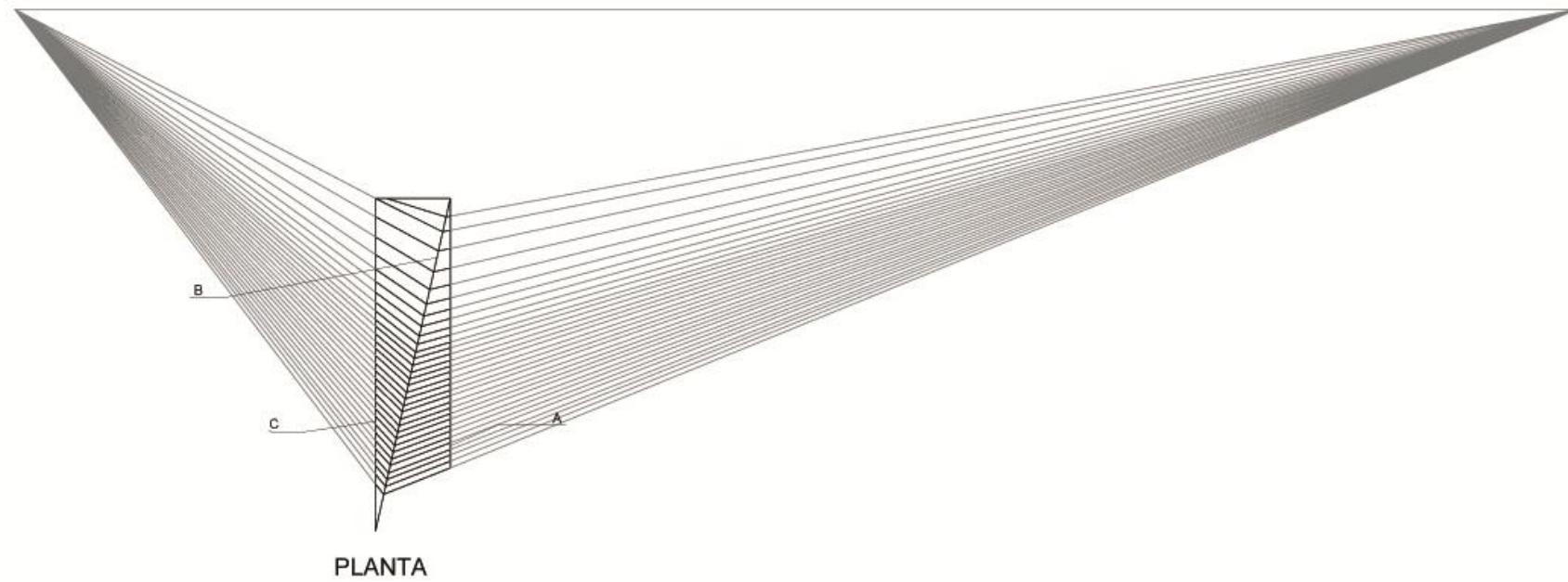


## 4. Análisis geométrico

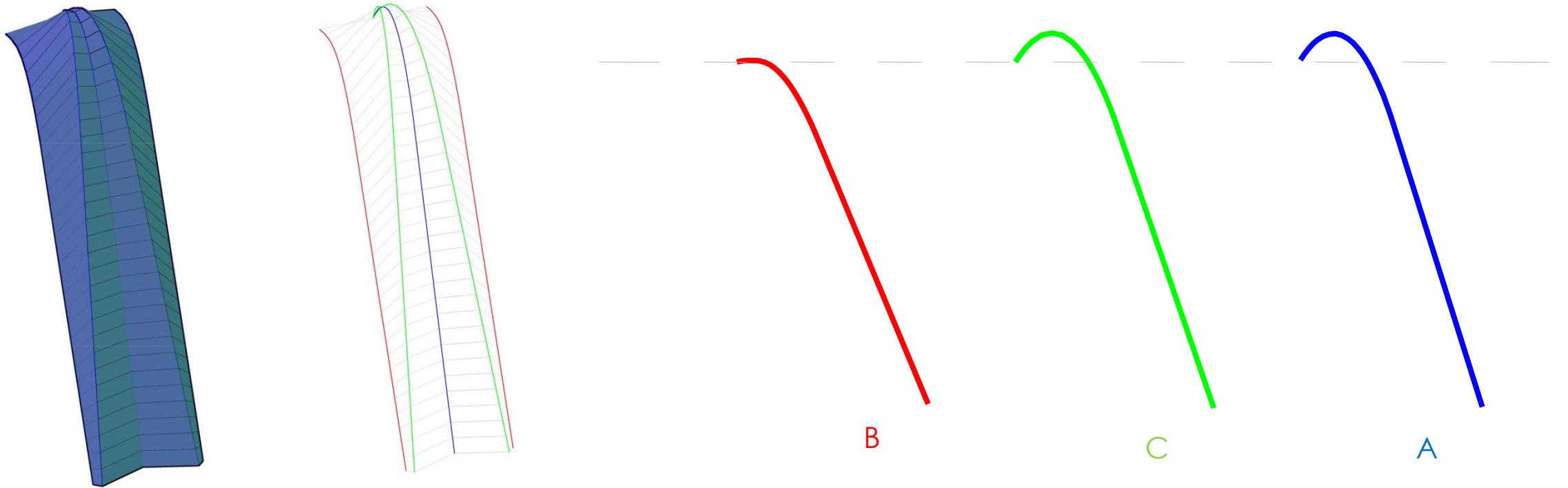




ANÁLISIS GENERAL DE LA GEOMETRÍA DE LOS VIDRIOS

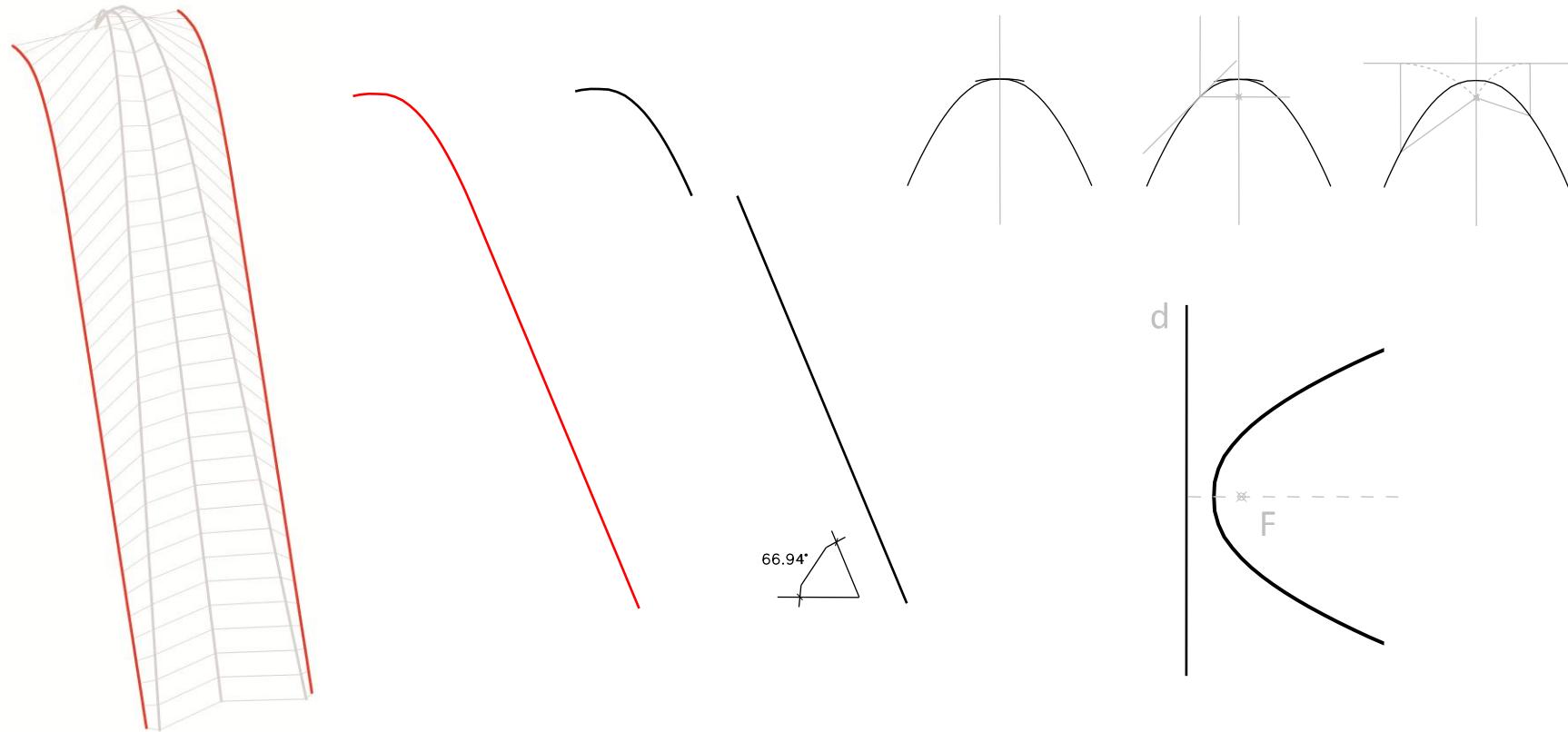


## Descomposición y análisis de generatrices



La fachada se compone por una estructura modular, en este gráfico se muestra el módulo que la forma, esta estructura consta de 5 perfiles tubulares, uno central y el resto simétricos dos a dos respecto del primero, cuyos ejes describen las curvas representadas que se estudian a continuación.

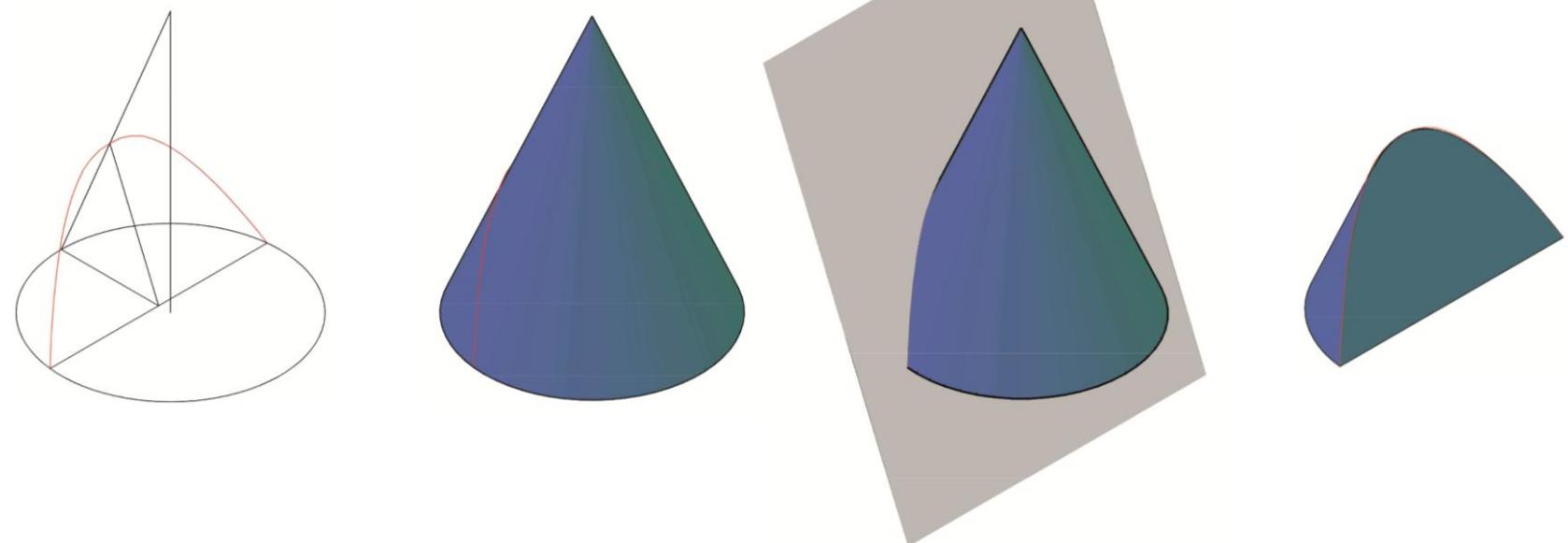


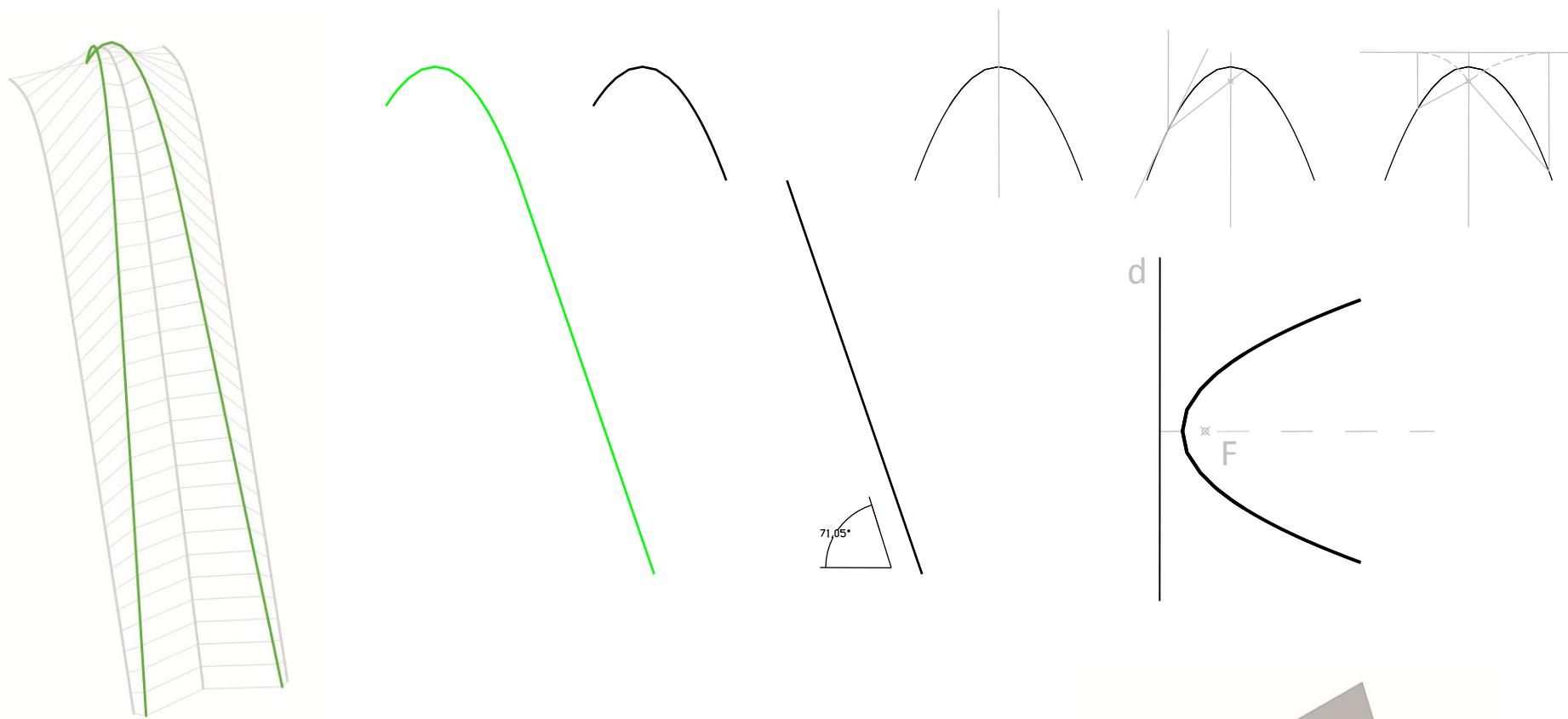


La curva 1 esta formada por una parábola y una recta, como se descompone en el gráfico.

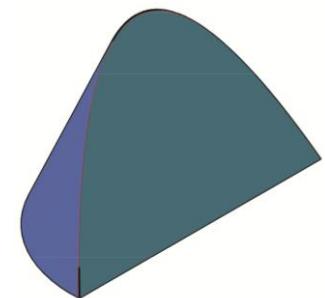
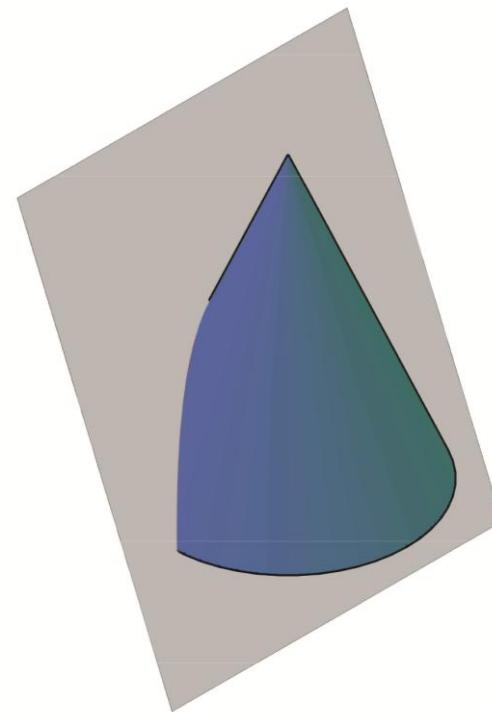
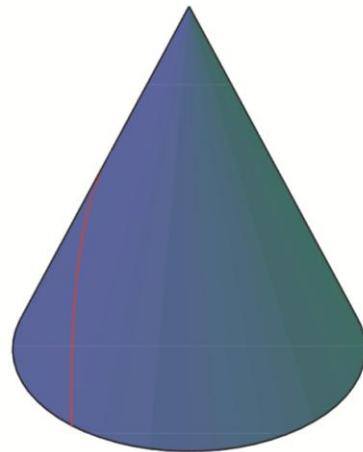
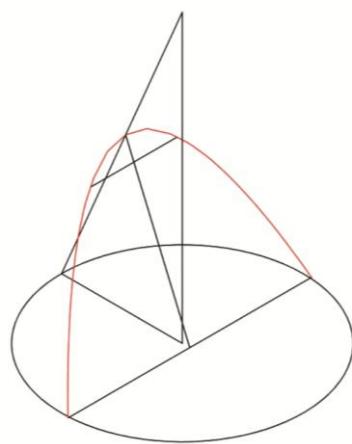
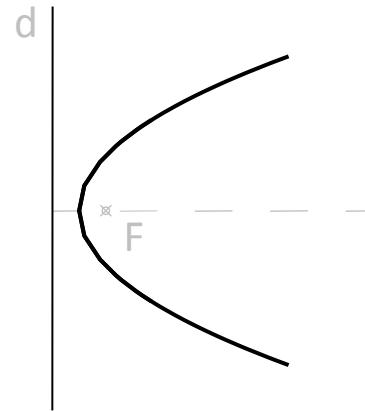
Para comprobar que la curva es una parábola se obtiene el foco mediante tangentes y se definen su recta directriz. Todos los puntos de la parábola equidistan del foco y la recta directriz

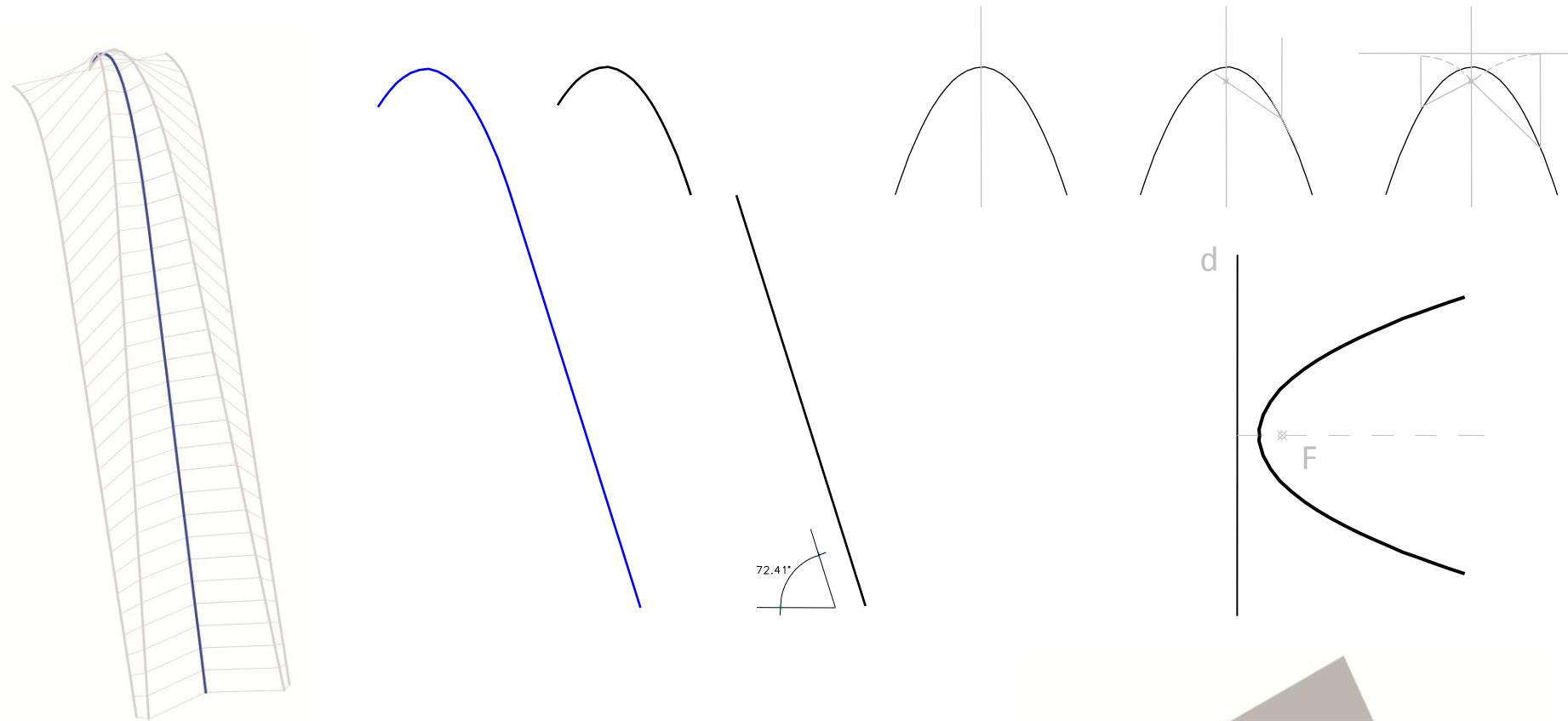
También podemos demostrar que se trata de una parábola representando el cono y el plano que la contienen.



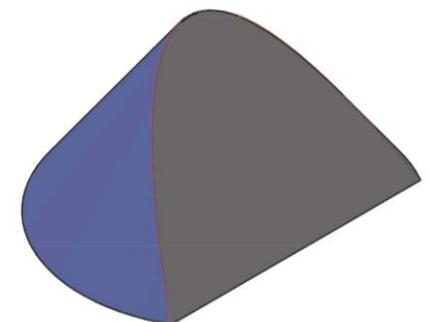
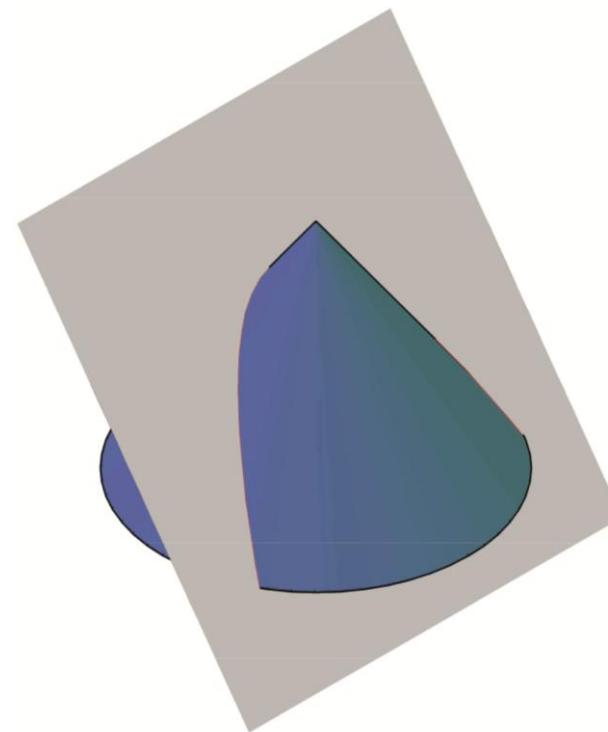
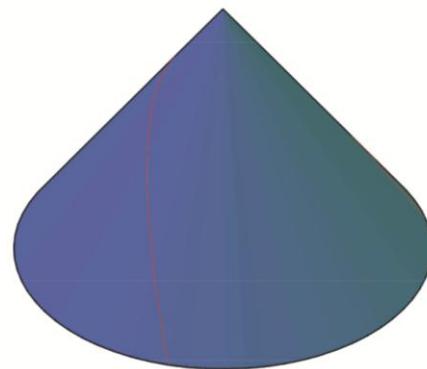
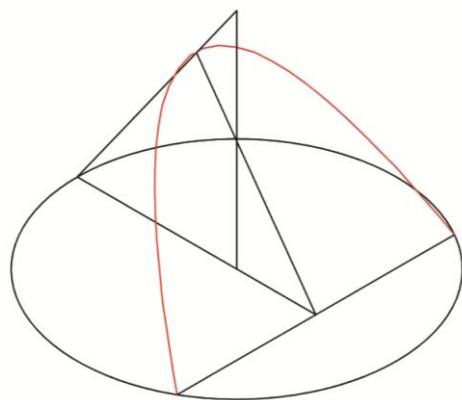


Esta es la descomposición geométrica de la curva 2. Una recta de 71.05 grados de inclinación y la parábola representada.





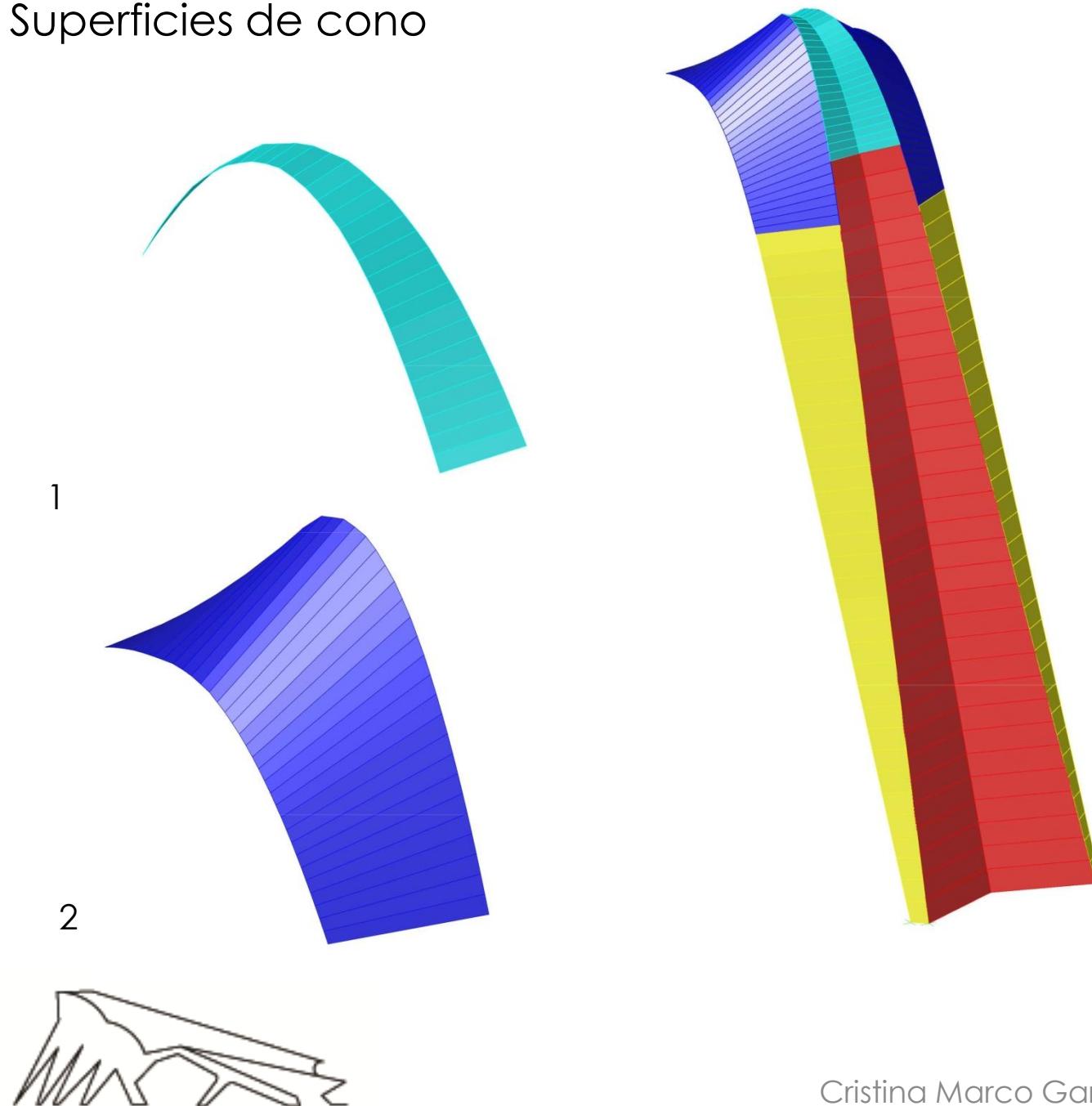
La curva 3 se descompone de la misma manera que las anteriores, por lo tanto las tres directrices están formadas por una parte parabólica y otra recta.



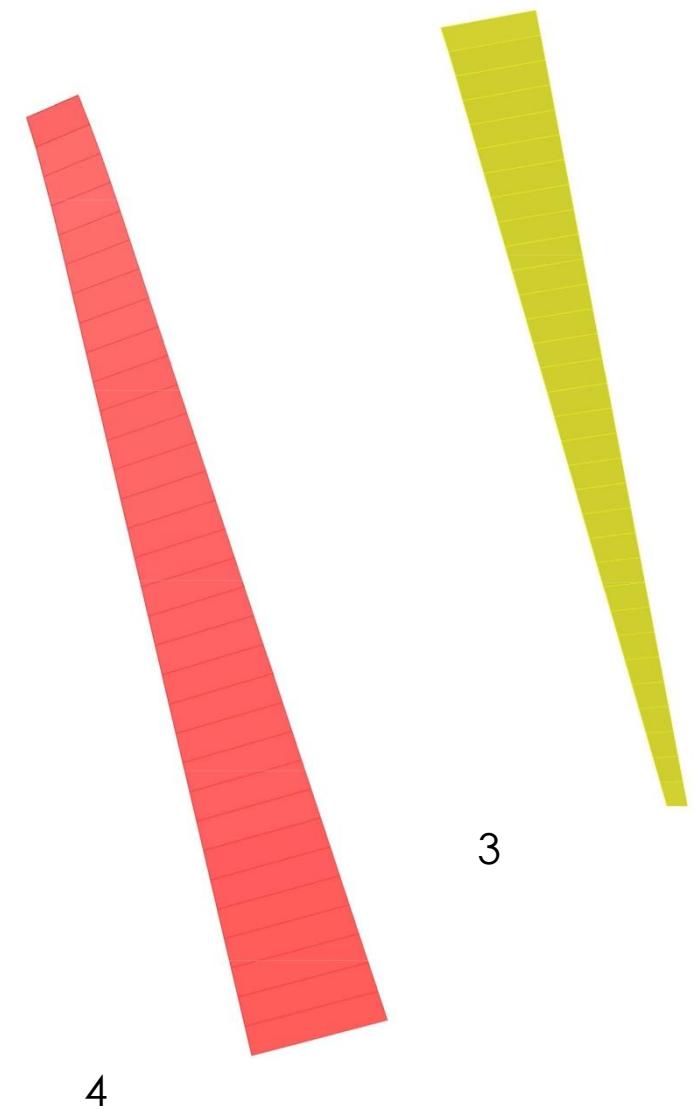
## Descomposición y análisis superficies regladas

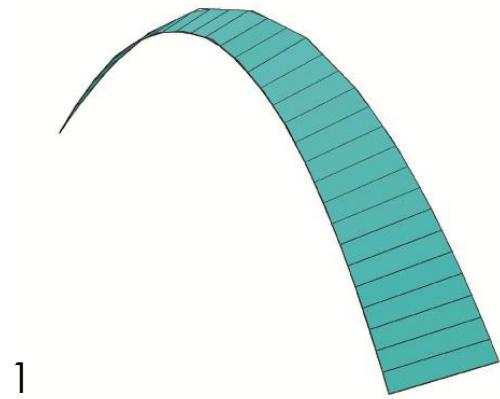
Las curvas analizadas anteriormente generan cuatro superficies:

### Superficies de cono

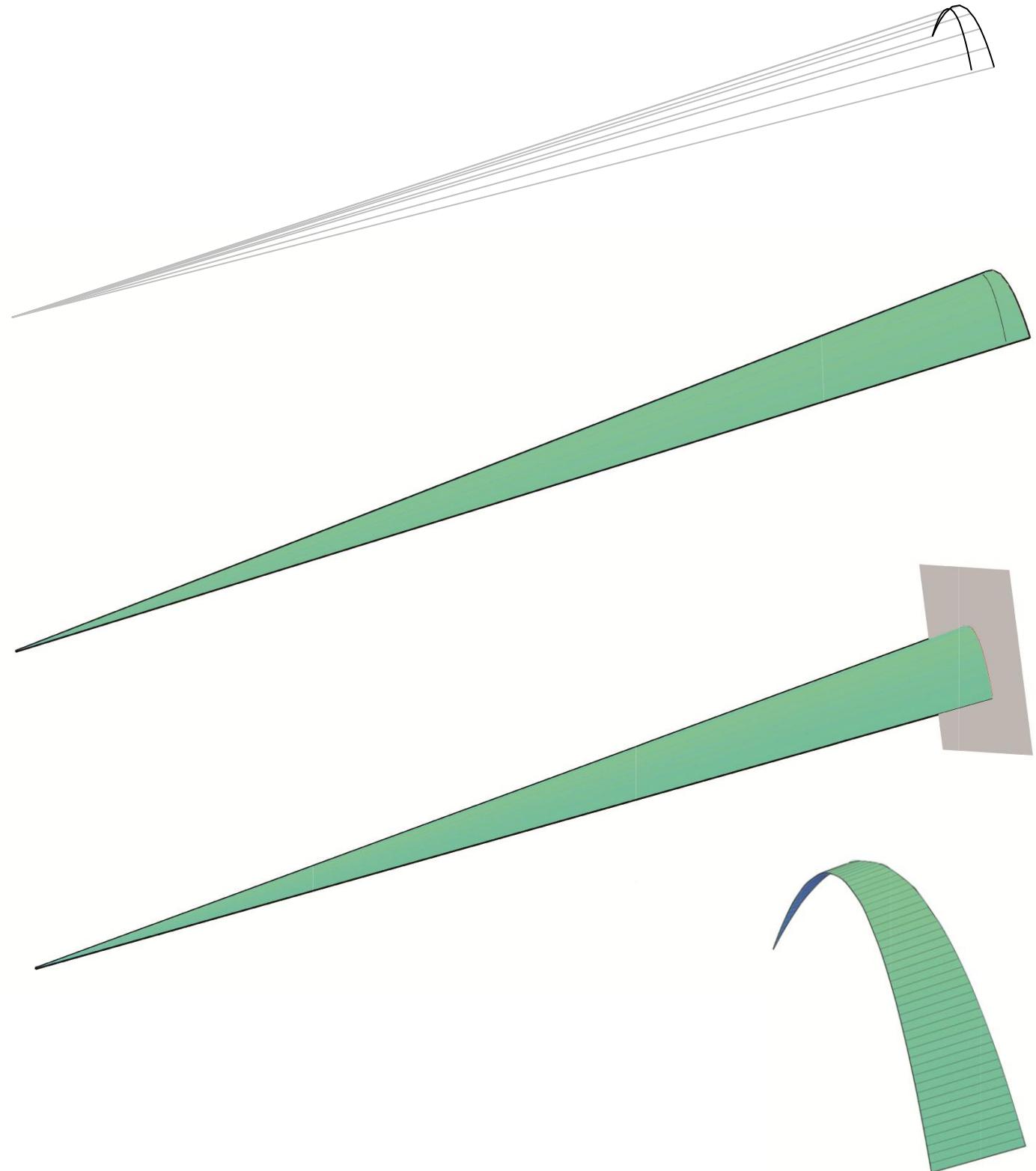


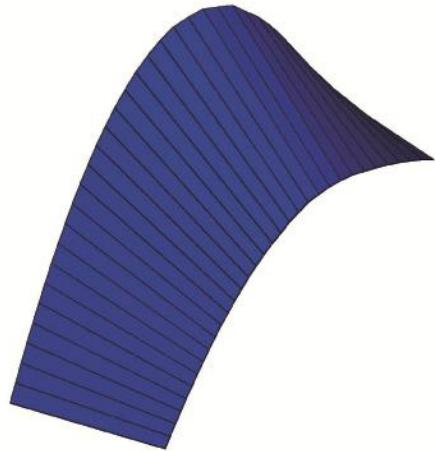
### Superficies de plano director





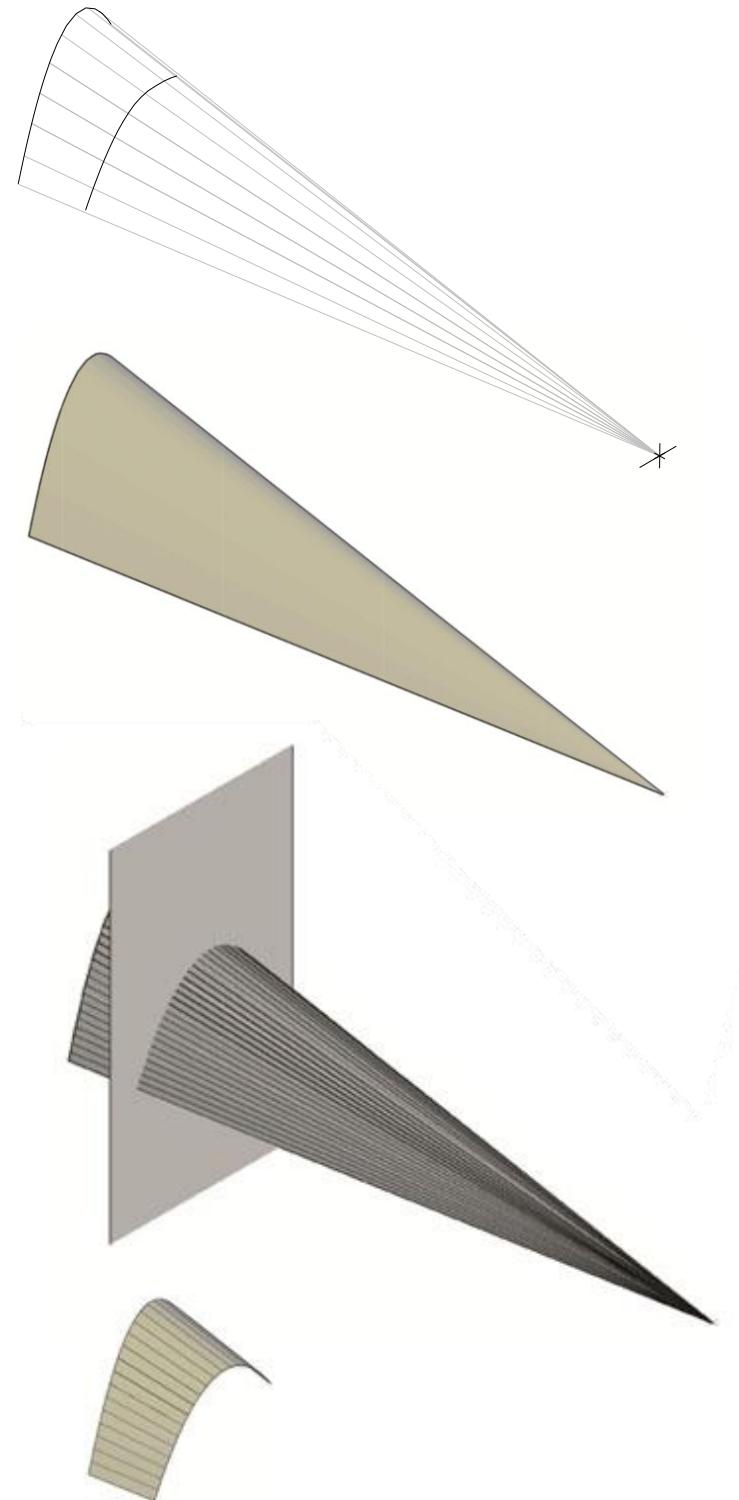
Para realizar el estudio geométrico de las superficies de esta estructura observamos el plano "Análisis general de la geometría de los vidrios". En el podemos ver que la superficie 1 y la superficie 2 están formadas por rectas que fugan a un mismo punto en todas las vistas, esto nos indica que se trata de una superficie de cono. En este gráfico se representa la obtención de dicha superficie, con los datos que aparecen en dicho plano.

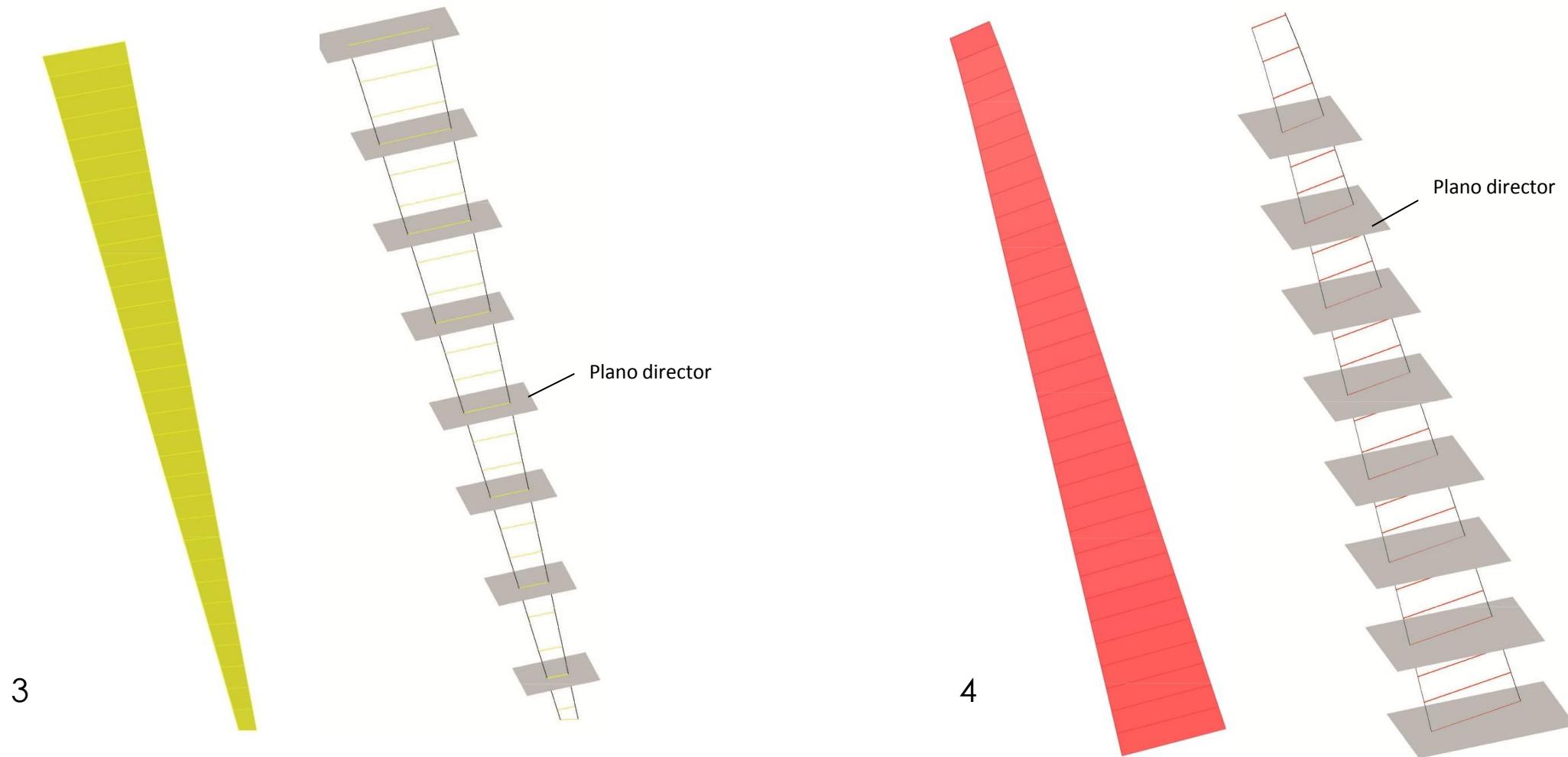




2

En el caso de la superficie 2 sucede algo similar a lo anterior, varían el vértice del cono y las curvas que limitan la superficie, pero igualmente se trata de una superficie de cono.





Las superficies 4 y 3 son las de plano director, esta superficie es la descrita por una recta que se mueve paralelamente a un plano, apoyándose sobre dos rectas fijas no situadas en el mismo plano, es decir, la superficie que se obtiene al cortar repetidamente a dos rectas no coplanarias con planos paralelos a uno de referencia llamado plano director, como se representa en los gráficos.



## 5. Análisis constructivo.



## Empresas que participaron en la construcción del Museo de las ciencias

Promotor: Generalitat Valenciana

Proyecto y dirección de obra: Santiago Calatrava S.A.

Gestión de proyecto y obra: C.A.C.S.A.

Juan Reig-arquitecto, Octavio Casp-arquitecto técnico, Asistencia técnica a la obra-IMARING, S.L.; Control de CalidadGIA, S.L.

Dirección de obra de instalaciones: I.Z.; Ingenieros Consultores, S.L.

Empresa constructora: Museo de las Ciencias UTE

(Nesco Entrecanales-cubiertas y Fomento de Construcciones y contratas.)

Hormigón preparado: Hat Hormigones, S. A.

Elaboración y montaje de acero corrugado: Ferroberica, S. L.

Elaboración y montaje de estructura metálica: Talleres Necso-Torrejón, S. A.; Metálicas del Guadalquivir; Augeson, S. L.; Treycal, S. L.

Grúas:Grúas Alaponts,S. A.;Grúas Rigar, S.A.;Grúas Bonet, S.A.

Encofrados: Alcor, S. A.; LE.S., S. A.; Ingeniería Flors, S. A.

Encofradores albañiles: Sor, S. L.; Leal Camino, S. L.; Ciudad Medeterránea, S. L.; Dasoma, S. L.

Acrilamientos: Lavenecianalevante,S.L.; Ariñodouglas,S.A.

Pavimentos: Comarpi, S. L.

Acero inoxidable: Induferro, S. L.; Cerrajería Masía del Juez, S. L.

Instalaciones: Instalaciones Fonsa,S.A.; Fonlider,S.L.;Honeywell,S.A.

Cubierta de Kal-Zipp: IBER-AIS, S. L.

Perforaciones y taladros: Anclafix, S.L.

Carpintería estructura metálica: Nabonda Group, S. L.

Muro cortina: Talleres Moyser, S. L.

Cartón yeso: Portacarretón, S. L.; Sistesul, S. L.

Revestimientos (pinturas): Apol, S. L.

Iluminación: Diseñoluz, S.L.

Suministros ferreteros: Suministros Ferrehicu, S. L.

Cancelas y puertas: Trimel, S. L. Stanley

Ascensores y escaleras mecánicas: Zardoya Otis, S. A.

Medios auxiliares de elevación: Aldaiturriaga,S.A.;Serviclem,S.A.;J.M.G.

Montero,S.A.;VAMASA; 1.PONS,S.A.

Suministro de material eléctrico: CIAL ANTONIO CHUST, S. A.

Instalaciones eléctricas: ELECTROTECNIA MONRABAL, S. A.

Movimiento de tierras: EXC. Y SERVICIOS ARGENTE, S. A.

Instalaciones eléctricas y red informática: MONT. ELÉCTRICOS G'DEL OLMO

Maquinaria: FERRIOL, S. L.



## Descripción constructiva de la obra

El edificio se constituye exteriormente como una gran cubierta, en cambio en su interior la estructura forma un espectacular juego de plataformas suspendidas de un sistema estructural configurado por cinco grandes árboles de hormigón, cuyas ramificaciones sujetan la cubrición del edificio.

Se trata de un edificio longitudinal generado a partir del desarrollo modular de su sección transversal en toda la longitud de la parcela, los testeros, asumen su carácter de remate final del edificio de modo simétrico, con una imagen tensional, de sujeción de los distintos módulos repetidos a la manera de contrafuertes naturales.

Para comprender el procedimiento de construcción de la fachada norte se deben conocer, al menos en rasgos generales, las características constructivas principales del edificio.



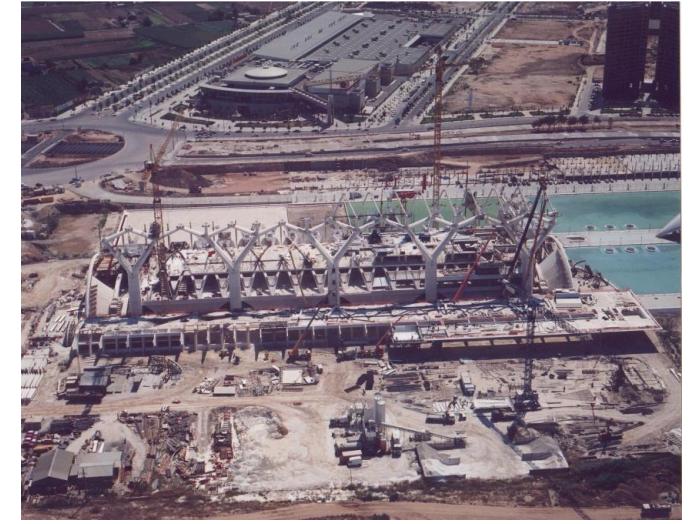
## Proceso constructivo



Abril 1997  
Fase inicial estructura de hormigón blanco



Junio 1997  
Estructura de hormigón. Pilares sur, Tímpanos, Estructura arborea y losa a cota  $\pm 0,00$  m



Septiembre 1998  
Estructura de hormigón. Fachada norte, Paseo norte sobre pistolas, Estructura arborea (Ramas prefabricadas) y Aspas



Septiembre 1998  
Fase de inicio de la estructura metálica. Fachada norte, Cubierta y Testeros



Enero 1999  
Estructura metálica. Fachada norte, Cubierta y Testeros



Septiembre 2000  
Museo de las Ciencias "Príncipe Felipe".





Armado y encamillado de encepado



Excavación y agotamientos de agua



Solera de hormigón

## CIMENTACIÓN

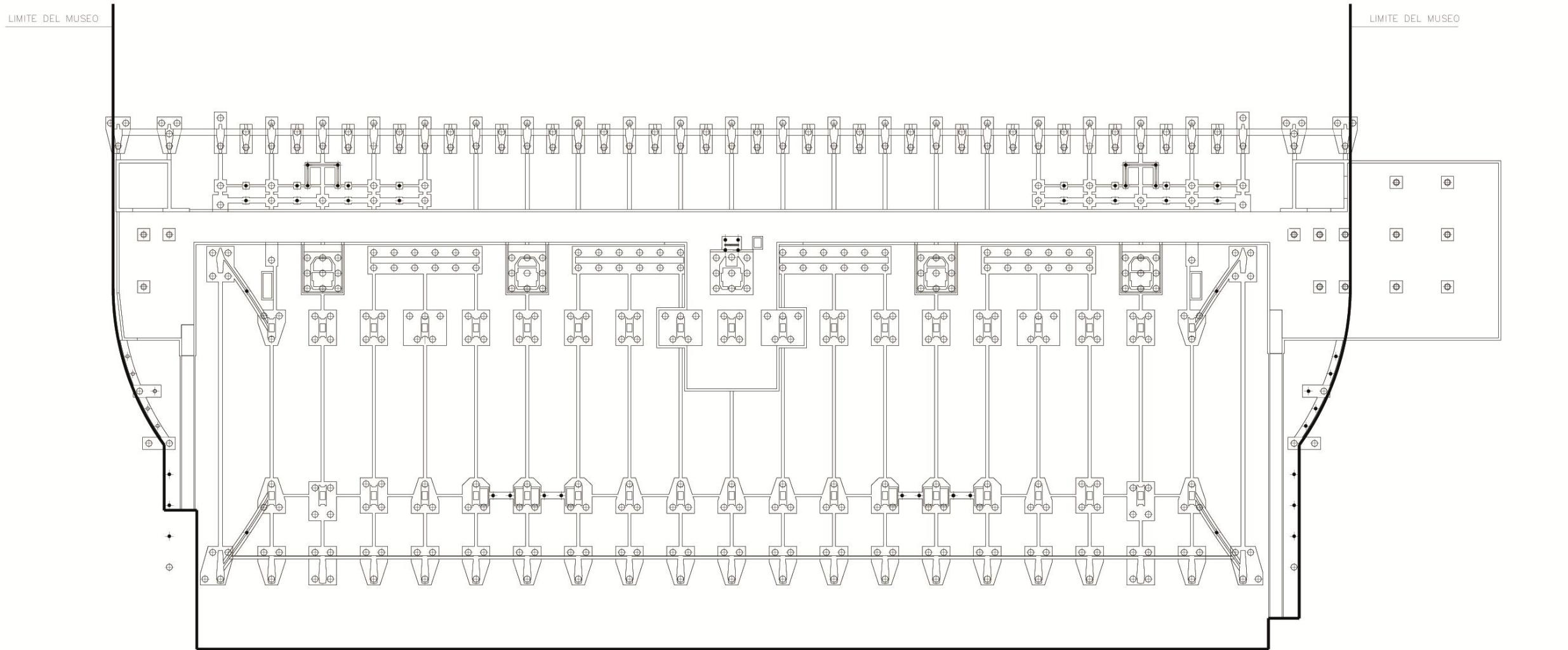
La Cimentación de este edificio, soporta una estructura de gran magnitud y rigidez, por ello esta ejecutada con una cimentación profunda mediante pilotes in situ de diámetros 65 y 120cm., y longitud mínima de 25m., con empotramiento en capa de gravas de diámetro 8, (sin entubación y con lodos tixotrópicos para contención de paredes), agrupados en encepados de grandes dimensiones, atados estos mediante vigas riostras, el hormigón utilizado es un H-200 ( $f_{ck}=200 \text{ Kp/cm}^2$ ), con tamaño máximo de árido de 20mm y cemento SR-MR, con un contenido mínimo de 350 Kg/m<sup>2</sup>.

En primer lugar se hizo un vaciado general de todo el solar, que lo dejó explanado al nivel aproximado de -7,40m., sobre este nivel se ejecutaron los pilotes anteriormente mencionados, estos pilotes se agrupaban en grandes encepados de espesor 180cm., arriostrados entre ellos en dos direcciones ortogonales. Una vez ejecutada la cimentación se extendió una solera (H-225) que sirve de base a la primera planta del edificio.

Para salvar las condiciones adversas del terreno y debido a la existencia de Salas Técnicas y galería en la cota -11,00m, fue necesaria la ejecución de muros pantalla.



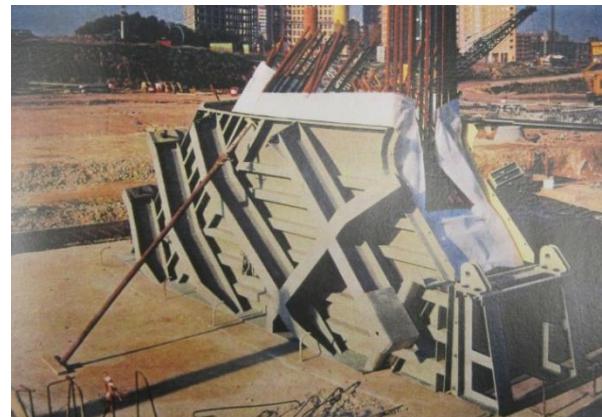
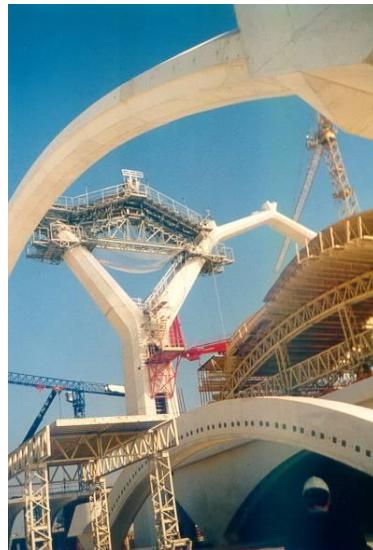
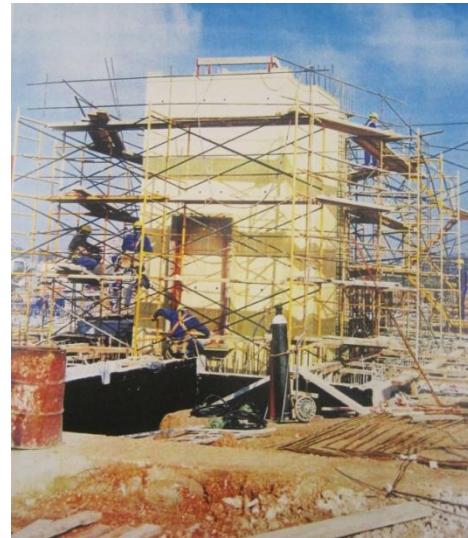
# Plano de cimentación



## ESTRUCTURA DE HORMIGÓN

El Hormigón Estructural (H-300) es blanco y visto, por lo que sus superficies deben tener un acabado de gran calidad sin necesidad de ningún tratamiento posterior.

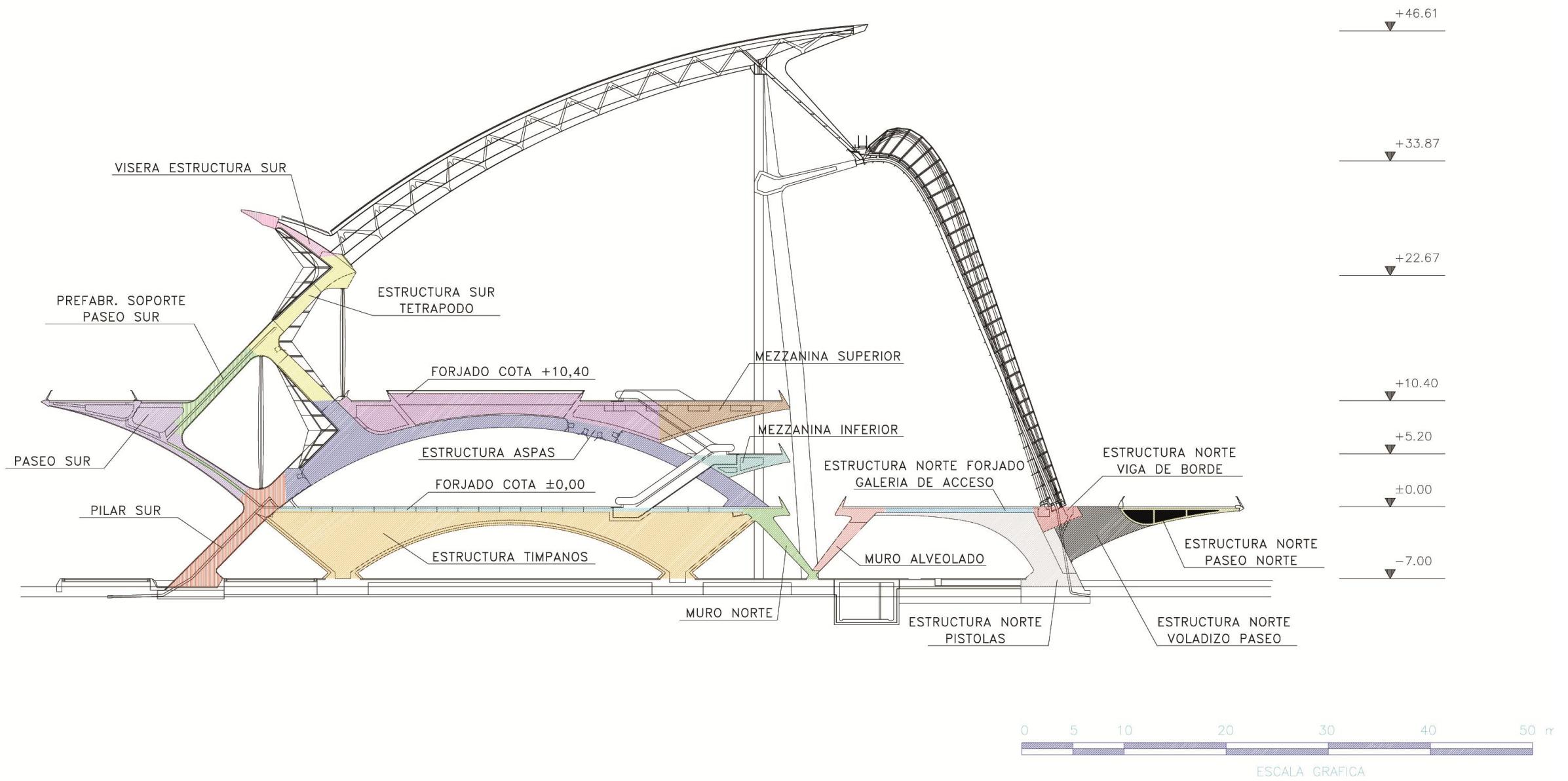
La estructura de este edificio perfectamente modulada, podría asemejarse a un puzle tridimensional, se realizó un despiece del edificio por elementos estructurales y a partir del estudio de dichos elementos geométrica y estructuralmente se ejecutaron los distintos encofrados metálicos elaborados especialmente para cada uno de ellos. Los planos que se adjuntan a continuación muestran el despiece de la obra para cada modelo de encofrado.



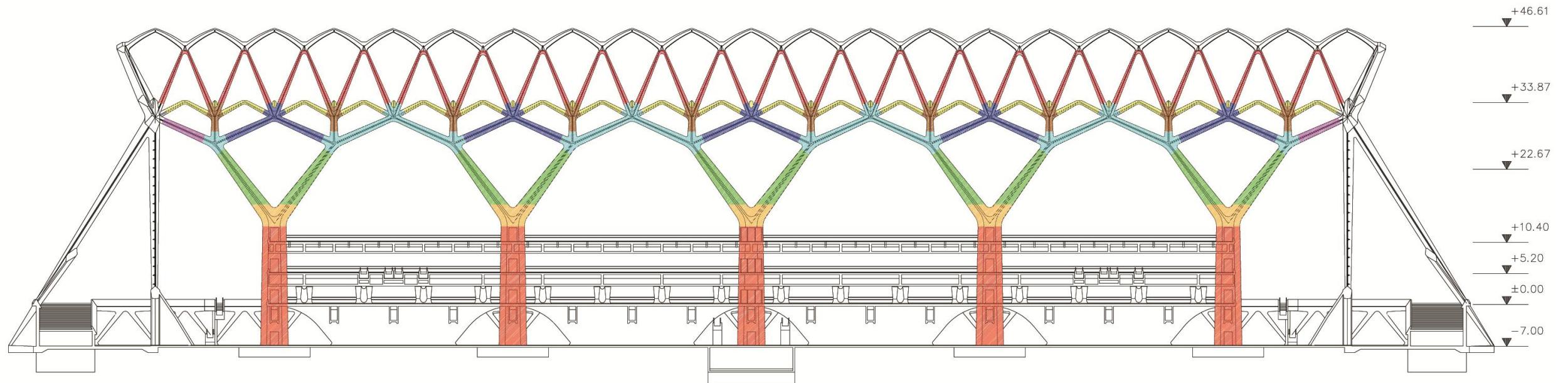
*Las imágenes muestran los diferentes tipos de encofrados utilizados en la obra, todos diseñados a medida para este proyecto.*



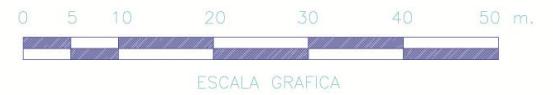
SECCION TRANSVERSAL

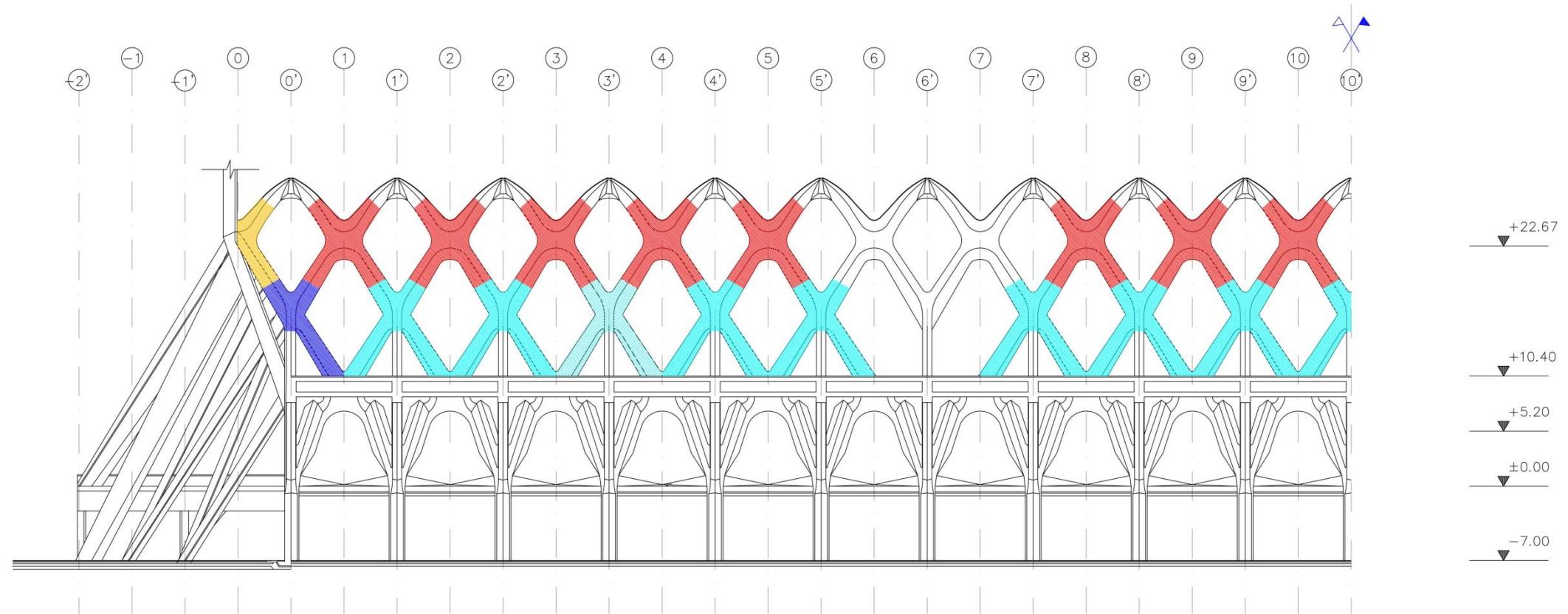


ALZADO SECCION

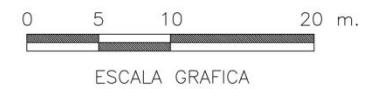


- |  |  |
|--|--|
|  NUCLEO DE COMUNICACIONES |  RAMAS N-2                    |
|  NUDO                     |  PREFABRICADOS FINGER ARBOLES |
|  RAMAS N-1                |  RAMAS N-2 PREFABRICADAS      |
|  RAMAS N-2                |  RAMAS N-3 PREFABRICADAS      |
|  RAMAS N-2                |  |



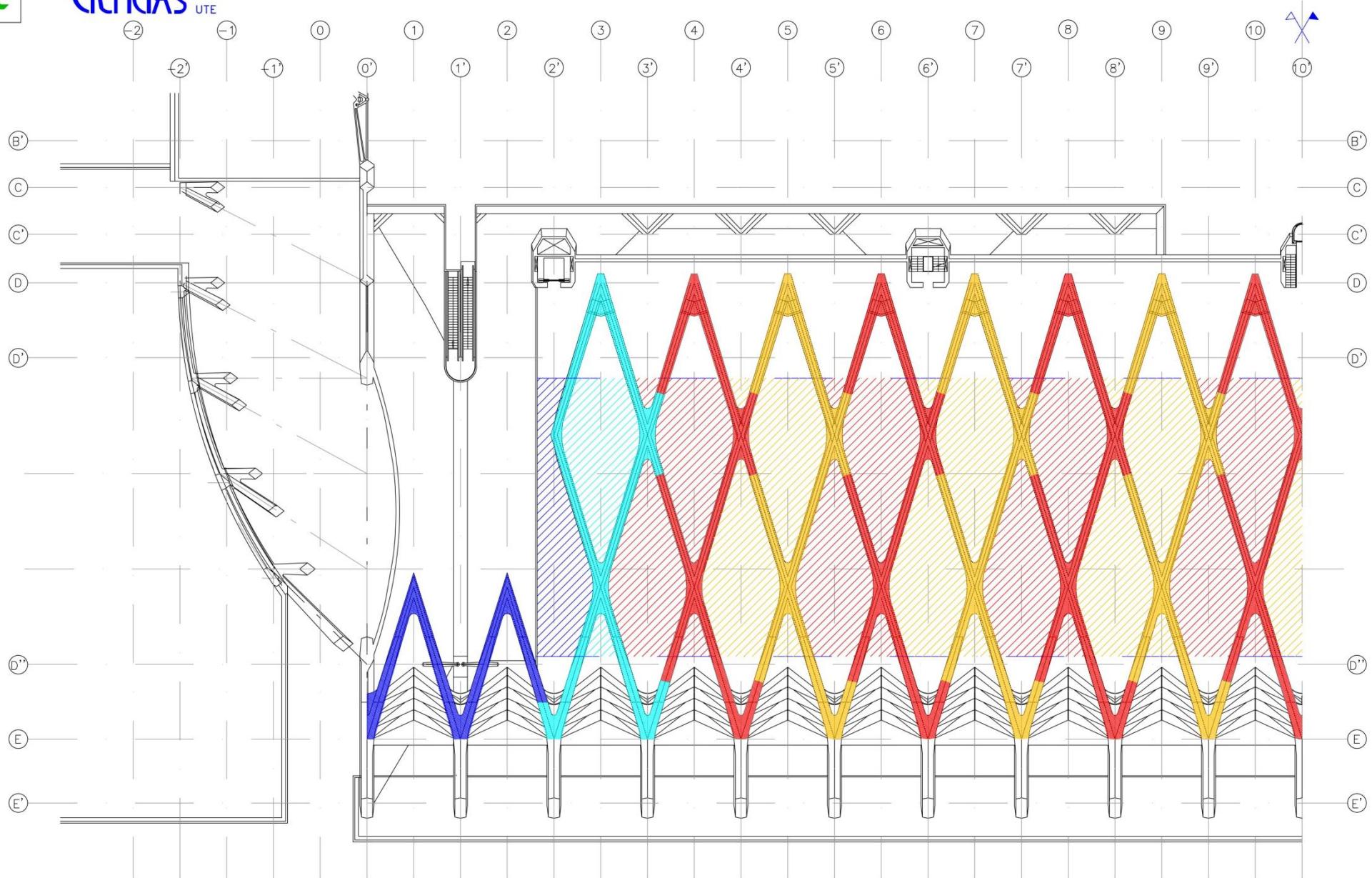


- |  |   |  |
|--|---|--|
|  TETRAPODO FASE-1 (PUESTA ESPECIAL) |  TETRAPODO FASE-1 (PRIMERA PUESTA) |  TETRAPODO FASE-2                   |
|  |  TETRAPODO FASE-1 (PRIMERA PUESTA) |  TETRAPODO FASE-2 (PUESTA ESPECIAL) |





ASPAS



- |  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  ESPECIAL       |  1? PUESTA       |  ESTANDARS      |  ESTANDARS      |
|  FONDO ESPECIAL |  FONDO 1? PUESTA |  FONDO ESTANDAR |  FONDO ESTANDAR |





*Estructura de acero con arranques en forma de V.*

## TESTEROS

Los dos testeros de la nave principal del museo son virtualmente simétricos respecto del plano medio del mismo, estando constituidos por una primera estructura plana, que se materializa mediante una serie de elementos de barras de hormigón armado gruesos, de sección rectangular dispuesta con las aristas en la parte superior e inferior, achaflanadas, formando una gran viga de celosía de canto sensiblemente igual a 12 m, cuyo cordón superior sigue la directriz de la cubierta principal, prolongada por los arbotantes de arcos. El cordón inferior, sensiblemente paralelo al anterior, continúa hacia el suelo siguiendo la misma directriz de los arcos tipo de soporte del forjado de la losa a la cota +10,40. Este mismo arco, aparece formando el borde inferior de esta gran estructura triangulada, colgando mediante prolongaciones de los montantes de la viga de celosía.

La propia viga de celosía queda dispuesta con pendiente hacia el exterior, formando una a modo de visera oblicua que cierra lateralmente el volumen del museo por sus dos extremos.

Sobre el encepado de cimentación de los testeros se colocó una placa de anclaje fijada con pernos y sobre ella se soldó una pieza metálica como arranque del testero.

A este arranque en forma de V, se le colocó una armadura de piel.

Se encofró con unas placas de hormigón armado dejando que sobresaliera un tramo de la pieza metálica y se hormigonó. Este encofrado no es recuperable, se perdió.

El tramo de la pieza que quedó visto, sirvió para recibir un castillete metálico (viga de celosía), el cual conforma lo que es el dedo del testero.

A este castillete metálico se le dotó de armadura de piel y para hormigonarlo se encofró con un encofrado trepante.



Cada puesta en obra de encofrado, es alrededor de un metro y medio, aproximadamente cabe  $3\text{m}^3$  de hormigón.

Los dedos del testero terminan en unos nudos metálicos que son el encuentro de éstos con un soporte vertical y con un arco que une todos los dedos, cordón inferior.

La secuencia constructiva de todo este elemento es como sigue, primero se hace el arranque, se colocan los soportes verticales y sobre éstos se disponen los nudos, para recibir más tarde a la viga de celosía del dedo y a la del cordón inferior.

Se van montando los siguientes nudos, hasta que se completa todo.

Posteriormente entran los ferrallas poniendo toda la armadura de piel, luego entran los encofradores, para finalizar con el hormigonado con hormigón H-400.

El segundo elemento que conforma el testero es el tronco de cono.

Este tronco de cono fue proyectado en hormigón armado a modo de bóveda pero debido a la complejidad del encofrado, que se tendría que haber utilizado, se optó por la colocación de dovelas entre los dos arcos rebajados, que hacen la función de entrada al museo. En el arco mayor se apoyan los soportes verticales anteriormente citados. Este arco tiene dispuestas unas pequeñas placas, en donde va soldado el soporte.



Armado y encofrado de los "dedos" de los testeros





Construcción del arco con cimbrado.

Las dovelas son de 25cm de espesor y están fuertemente armadas.

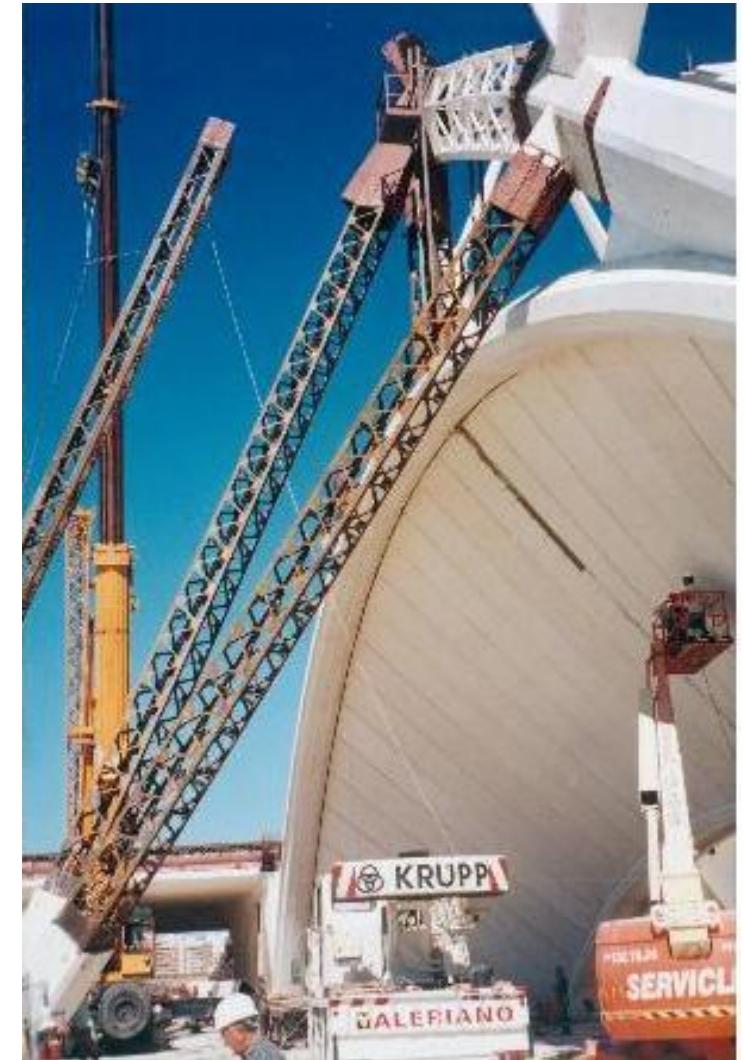
La primera puesta en obra de las dovelas se hizo sin la ayuda de cimbras, lo que provocó el pandeo de las dovelas y la aparición de grietas, ya que trabajan independientes una de la otra como una losa biempotrada, y éstas tenían excesiva luz para trabajar de este modo.

Posteriormente, se puso una cimbra para que una vez desmontada entraran a trabajar todas las dovelas como una, con lo cual se solucionó el problema.

Las dovelas tienen los extremos por donde van unidas a los arcos unos perfiles metálicos, los cuales van soldados a los perfiles que a su vez llevan los arcos.

Las uniones laterales de las dovelas son machihembradas.

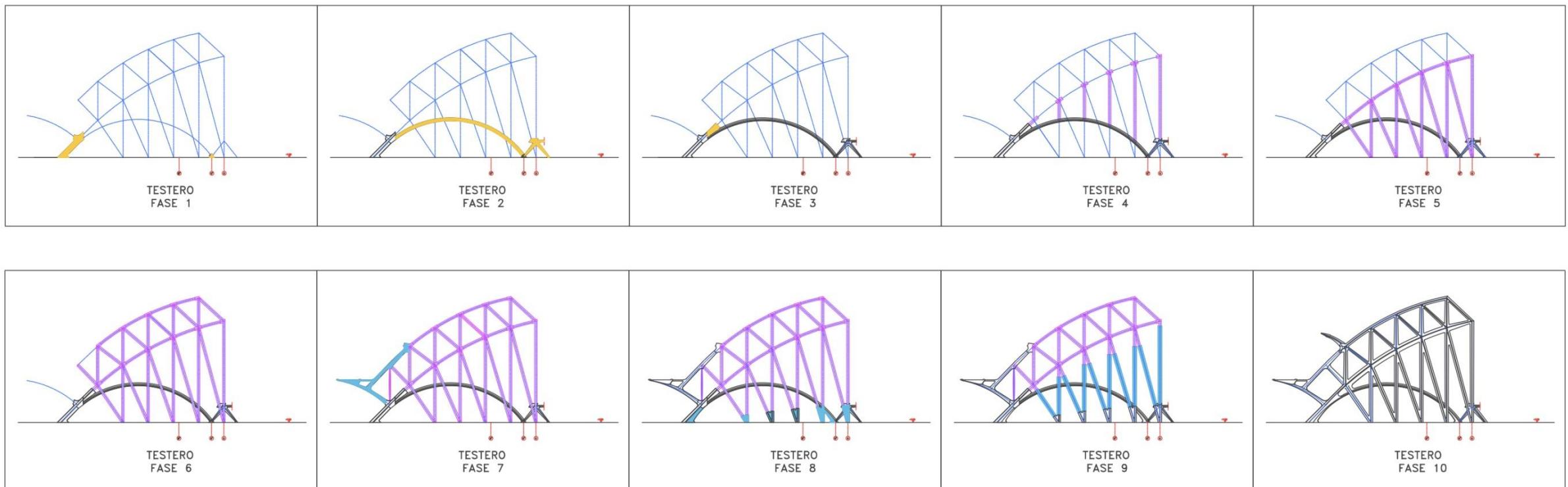
Para finalizar se maciza la junta formada entre dovelas y el arco, y se repasan las juntas entre dovelas.



Tronco de cono casi terminado.

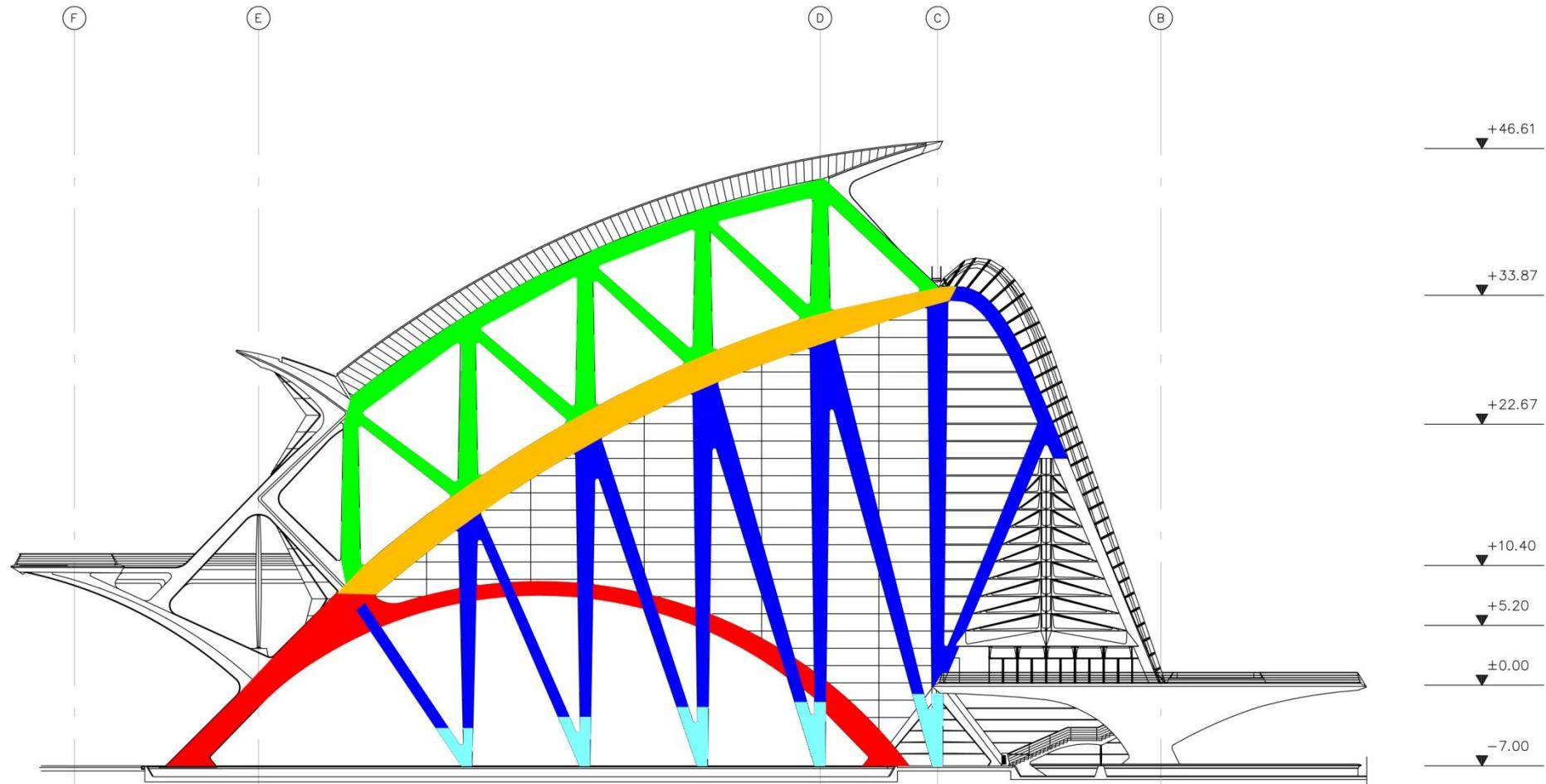


## FASES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TESTEROS



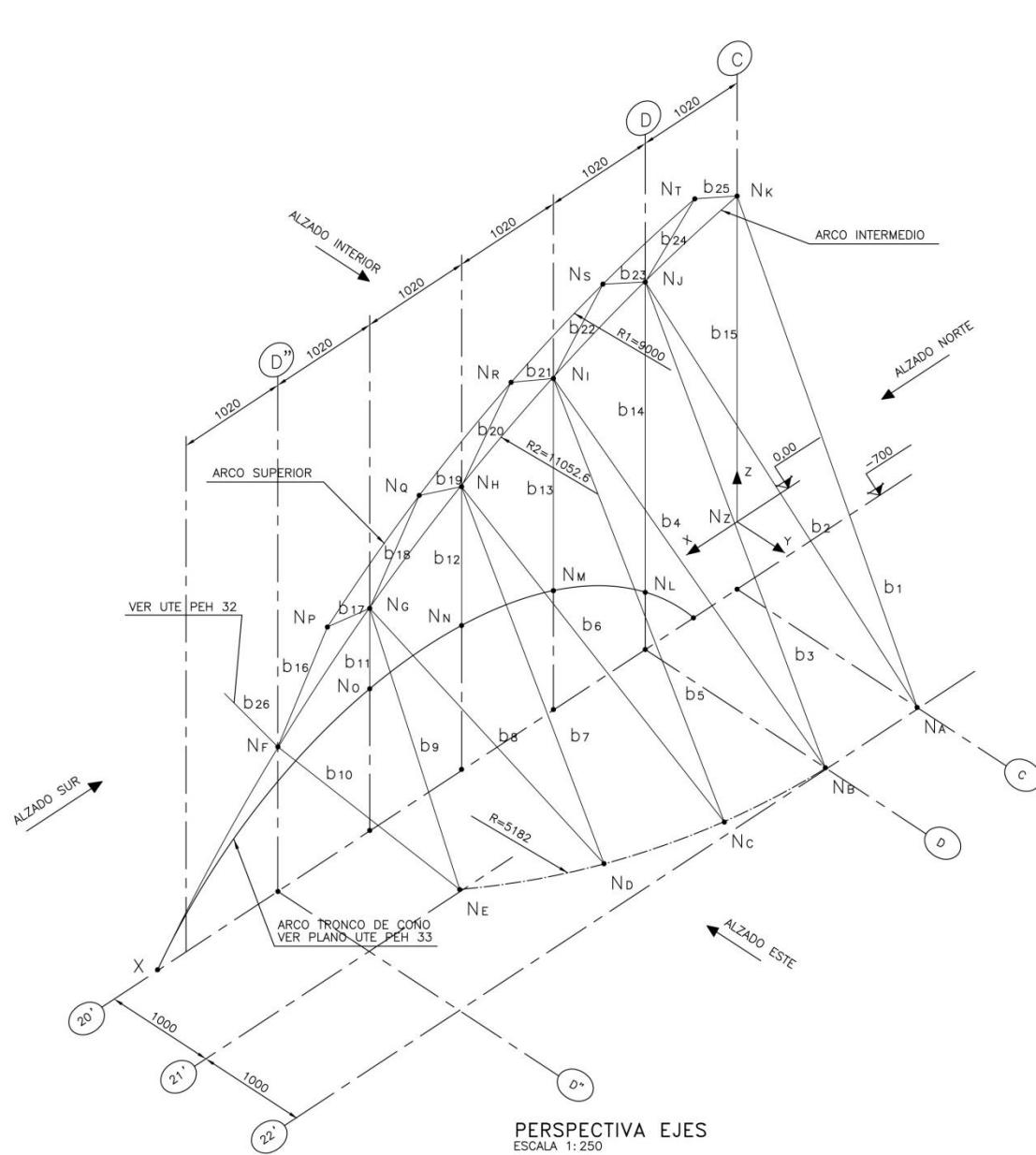


TESTERO



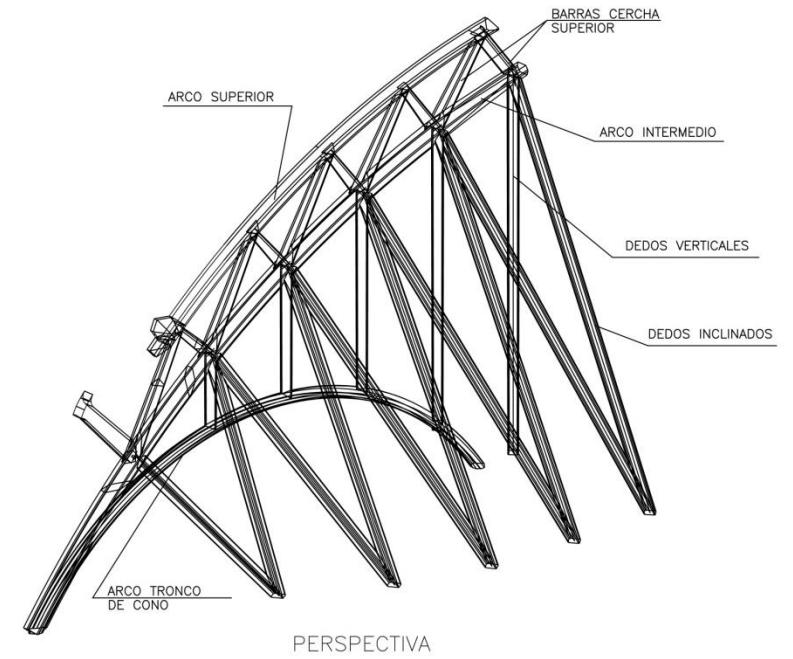
- TESTERO VIGA ARCO
- TESTERO NUDOS INFERIORES
- TESTERO DEDOS
- TESTERO VIGA UNION
- TESTERO CELOSIA SUPERIOR



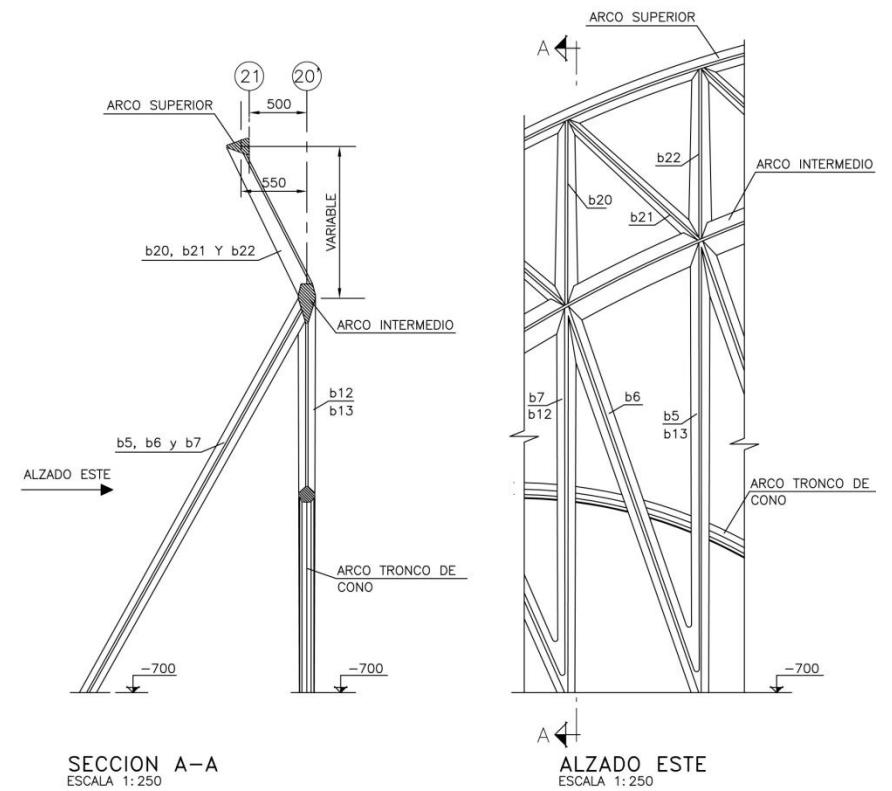


PERSPECTIVA EJES  
ESCALA 1:250

- NOTAS.-
- 1.- COTAS EN CENTIMETROS
  - 2.- EL TESTERO OESTE ES SIMETRICO RESPECTO AL ESTE
  - 3.- PARA DEFINICION DE "DEDOS" (BARRAS b1 a b15) VER HOJAS 2 a 4
  - 4.- PARA DEFINICION DEL ARCO INTERMEDIO VER HOJAS 5 a 10
  - 5.- PARA DEFINICION DEL ARCO SUPERIOR VER HOJAS 11 y 12
  - 6.- PARA DEFINICION DE MONTANTES DE CERCHA VOLADA VER HOJA 13
  - 7.- PARA DEFINICION DE DIAGONALES DE CERCHA VOLADA VER HOJA 14
  - 8.- PARA NUDOS VER PLANOS 85, 86, 87 Y 88



PERSPECTIVA



SECCION A-A  
ESCALA 1:250

ALZADO ESTE  
ESCALA 1:250



## CUBIERTA

La estructura de cubierta se apoya sobre la "celosía" modular de hormigón armado de la fachada sur y sobre los "árboles". Se trata de un sistema modular también formado por vigas que conforman las limatesas y limahoyas de la cubierta. Entre esas, se disponen correas trianguladas en sentido transversal que soportarán los paneles de cerramiento de cubierta.

El módulo de cubierta utilizado se subdividió en cinco tramos distintos para facilitar tanto el transporte como la puesta en obra. Estos cinco tramos se denominan desde el sur hacia el norte, pico-pato, tramo central, mirador norte inferior y mirador norte superior.

El montaje de la cubierta fue como se enumera continuación:

1. Colocación de las placas de apoyo del "tramo sur" sobre los pernos ya embebidos en la cabeza del nudo "NP-5", después se nivelan.
2. Izado del "tramo sur", mediante la grúa torre sur, una vez situado sobre la placa de apoyo y comprobado topográficamente se suelda la placa, una vez finalizada la soldadura, se suelta la grúa.
3. Se colocan unos tirantes en las ramas prefabricadas de los árboles como estructura auxiliar para recibir el "mirador norte inferior".
4. Se iza con la grúa torre norte el "mirador norte inferior", el primero que se izo iba con dos cajones de apoyo (que apoyarán sobre el vértice de las ramas prefabricadas superiores "pieza 8") mientras que los siguientes tramos se izaron con un único cajón cada uno.
5. Con las dos grúas torres (la norte y la sur) se iza el "tramo central", que se sitúa en su posición soldándose al "tramo sur" y al cajón de apoyo del "mirador norte inferior".
6. Se iza el "mirador norte superior", recibéndose a su mitad inferior así como al "tramo central".
7. Para finalizar ya el montaje de un módulo de cubierta, se izó el "pico-pato" sobre las placas de anclaje previstas en los dos tetones superiores de dos nudos "NP-5" contiguos.



Encuentro de la cubierta con los árboles, zona norte

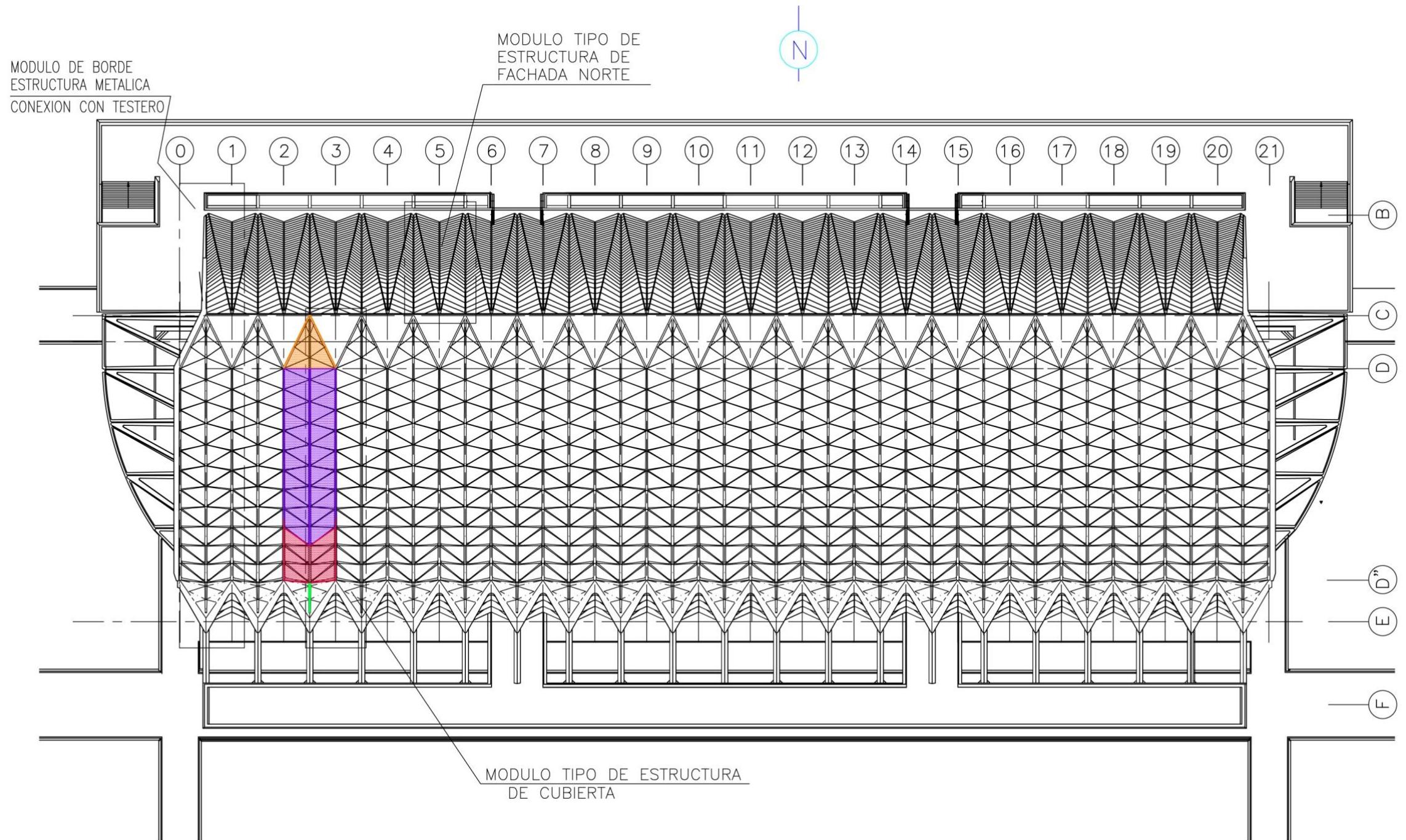


Encuentro de la cubierta con la fachada sur



Estructura de cubierta

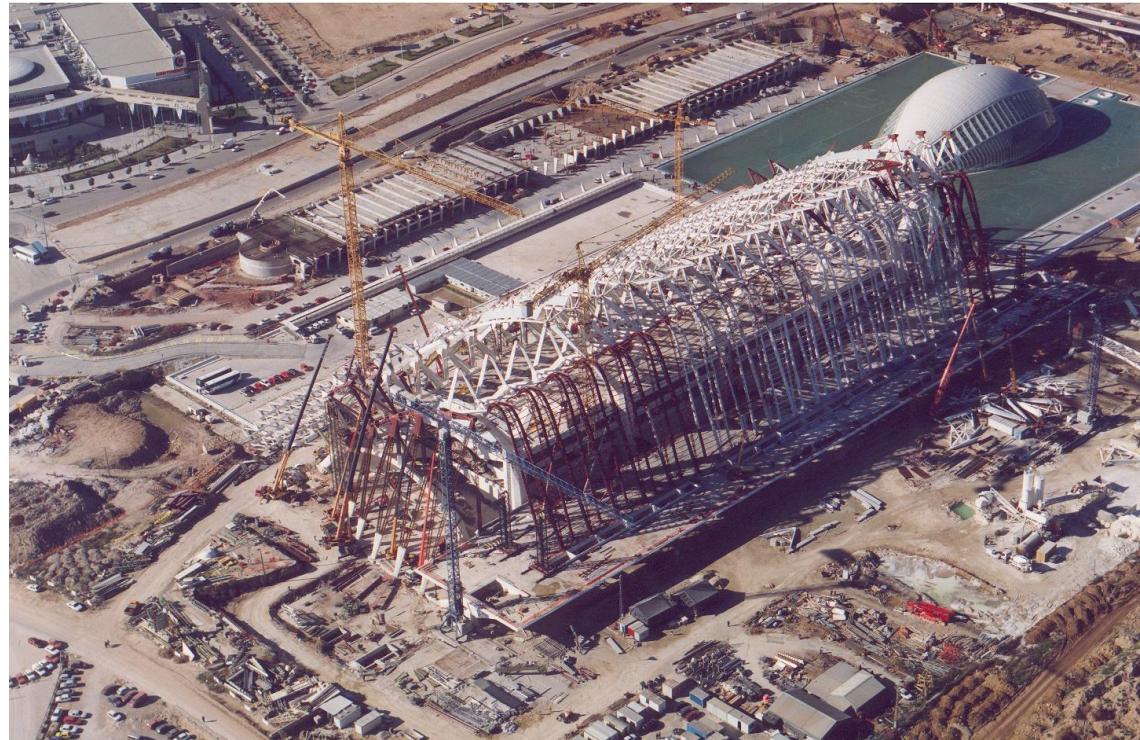




## FACHADA NORTE

La fachada norte esta conformada por una estructura principal tubular S 355 J2 G3, arriostrada mediante costillas también metálicas que van creando la retícula a acristalar. La estructura tubular, mediante un juego de distintas inclinaciones, va conformando distintos planos que le confieren movimiento a la fachada.

Se explican a continuación los materiales y el proceso constructivo por fases como se montó la estructura de la fachada norte y las diferentes piezas que forman los módulos.



*Vistas generales de la obra en fase de estructura*



## Acero

El acero utilizado en la estructura tubular fue el S 355 J2 G3, el llamado coloquialmente acero corten.

Es un acero al carbono cuya principal característica es su resistencia a la corrosión, su composición química hace que su oxidación tenga unas características particulares que protegen a la pieza frente a la corrosión atmosférica sin perder sus características mecánicas.

El acero corten tiene un alto contenido de cobre, cromo y níquel que hace que adquiera un color rojizo anaranjado característico. Su aspecto es atractivo para arquitectos y su resistencia para ingenieros.

Este material ofrece buenas condiciones para el conformado en frío. Es aconsejable que se proceda al plegado de forma perpendicular al sentido de laminación.

Las piezas en las que se utiliza resisten entre 52 y 70 kg y son fácilmente soldables y mecanizables.



*En la imagen se puede ver el color cobrizo del acero corten*



## Vidrios

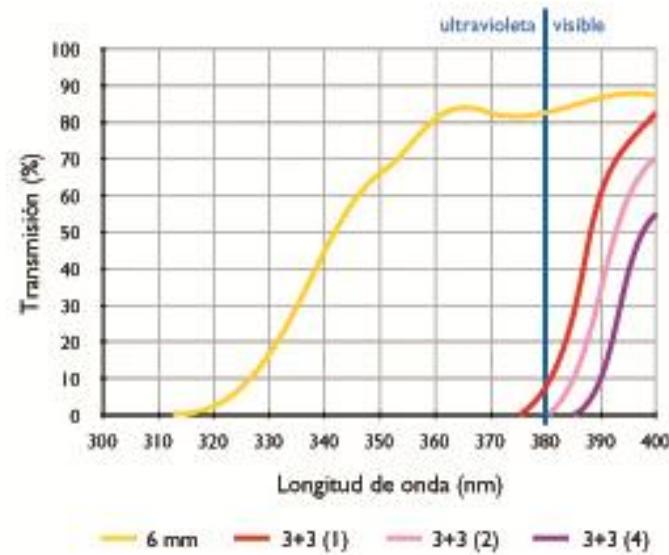
El vidrio utilizado en la fachada norte es el vidrio laminado de la casa Ariño-Duglass, se trata de un vidrio laminado compuesto por varias lunas unidas mediante láminas de butiral de polivinilo (PVB). Este material combina las propiedades específicas del vidrio, tales como la transparencia y durabilidad, con las del PVB, adherencia al vidrio, elasticidad y resistencia a los impactos protección acústica y contra los rayos UV.



### Propiedades

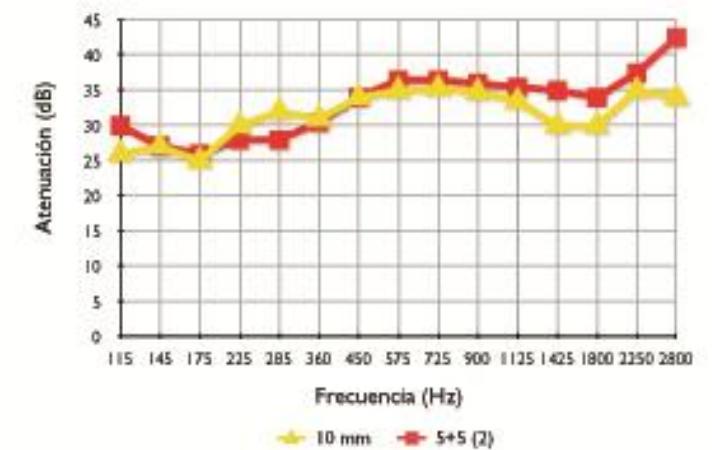
-Protección frente a la radiación UV:

El PVB utilizado para el ensamblaje de las lunas que componen el vidrio laminado Stralami incorpora aditivos especiales que absorben la radiación ultravioleta. Gracias a esta propiedad los vidrios laminados bloquean más del 99% de la radiación ultravioleta.



-Mejora de la atenuación acústica:

Este vidrio es una buena alternativa para una protección eficaz frente al ruido. La elasticidad del PVB amortigua el sonido en las frecuencias de coincidencia del vidrio, mejorando la atenuación respecto a un vidrio monolítico.



-Protección contra el riesgo de accidentes físicos:

La gran elasticidad del PVB le confiere una alta resistencia frente a impactos. Gracias a su resistencia a la penetración el vidrio laminado Stralami resulta especialmente indicado para la seguridad y protección de personas y bienes. En caso de rotura de los fragmentos de vidrio permanecen adheridos al butiral y el conjunto permanece íntegro, por lo que ofrece seguridad a las personas cercanas, además de dificultar la entrada a través del mismo.

El vidrio laminado es la opción idónea para la fachada del Museo pues a parte de cumplir su función de acristalamiento protege a las personas y los bienes que se encuentran dentro del edificio.

-Protección contra el vandalismo y el robo:

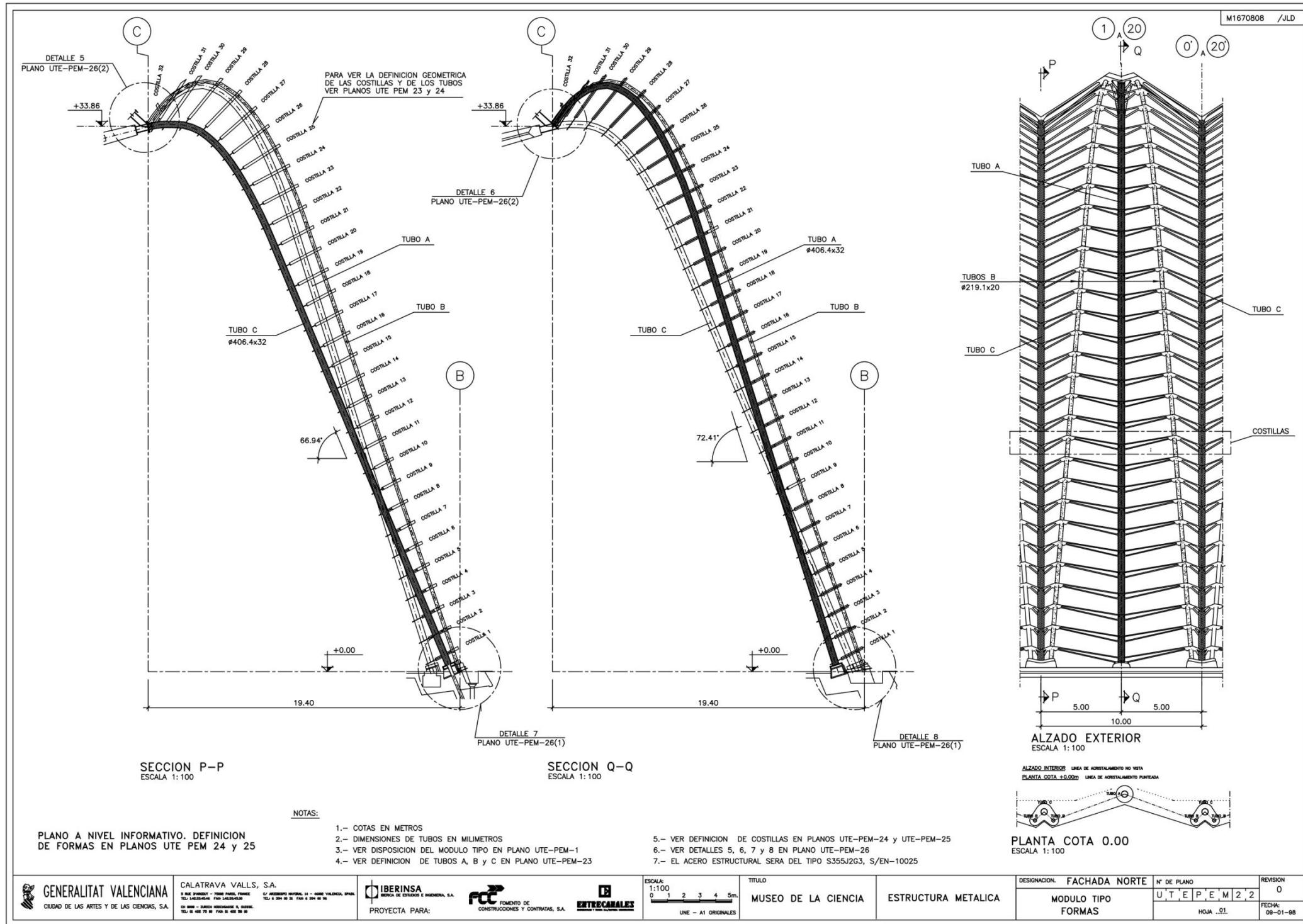
La norma EN 356 define ocho niveles de calificación que representan la aptitud de los vidrios para resistir lanzamientos de objetos o tentativas de robo. En este caso se utiliza un vidrio Stralami de 8 mm de espesor, Stralami 8P3.

NORMATIVA UNE-EN 356				
Nivel de seguridad	Denominación	Espesor nominal	Ensayo (impacto de bola de acero de 4,11 kg)	
			Nº de impactos	Altura de caída
P1A	Stralami 7P1	7 mm	3	1,5 m
P2A	Stralami 9P2	9 mm	3	3,0 m
P3A	Stralami 8P3	8 mm	3	6,0 m
P4A	Stralami 10P4	10 mm	3	9,0 m
P5A	Stralami 15P5	15 mm	9	9,0 m

NORMATIVA UNE-EN 356			
Nivel de seguridad	Denominación	Espesor nominal	Ensayo (ataque combinado de maza y hacha)
P6B	Stralami 19P6	19 mm	Sin abertura entre 30 y 50 golpes
P6B	Stralami 23P6	23 mm	Sin abertura entre 30 y 50 golpes
P8B	Stralami 21P8	21 mm	Sin abertura con más de 70 golpes

NORMATIVA UNE-EN 1063					
Nivel de seguridad	Denominación	Espesor nominal	Ensayo		
			Tipo de arma	Calibre	Nº de impactos
BR2	Stralami 27BR2	27 mm	corta	9mm Luger	3
BR4	Stralami 24BR4	24 mm	corta	0.44 Rem.	3





## Fase 1

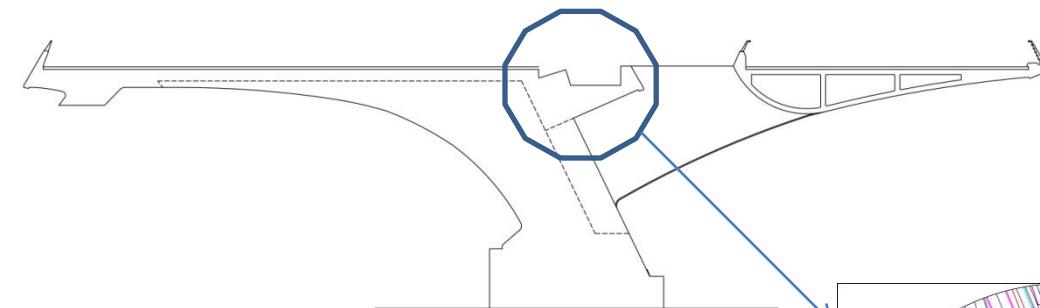
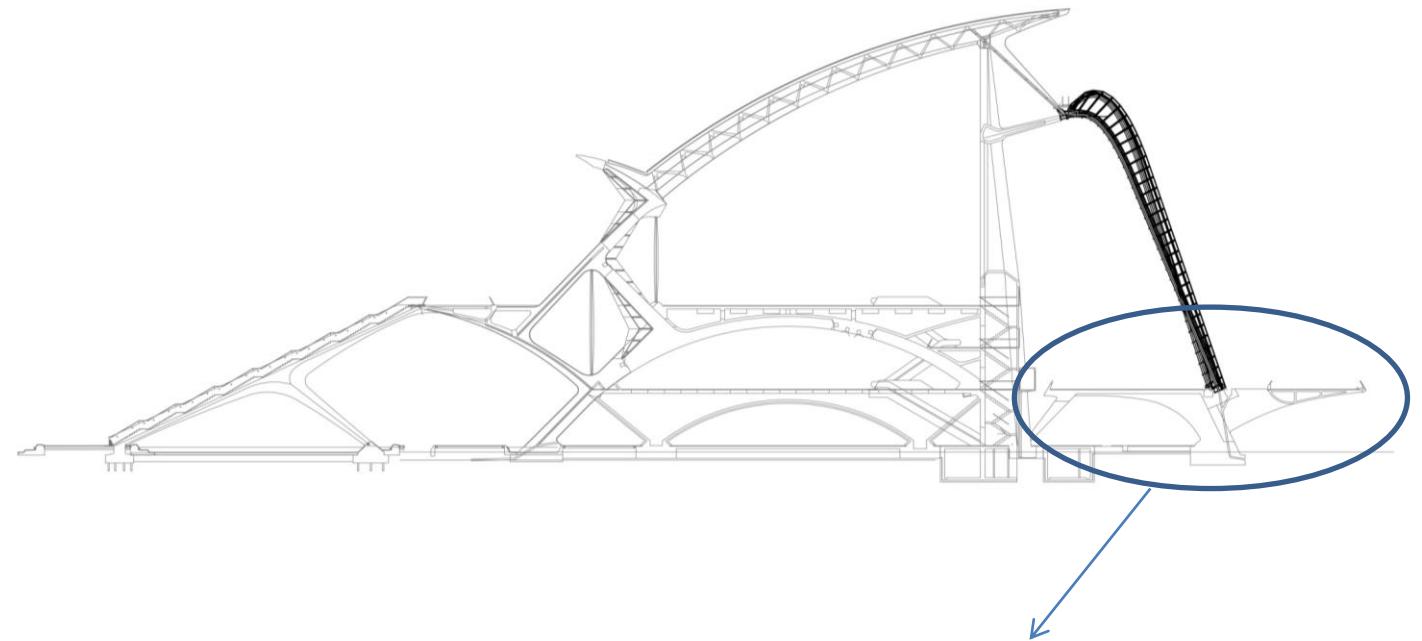
El muro cortina arranca de la cota 0.

La primera fase consiste en la colocación de las placas de anclaje de los tubos en su posición teórica sobre un elemento perteneciente a los árboles denominado pistola.

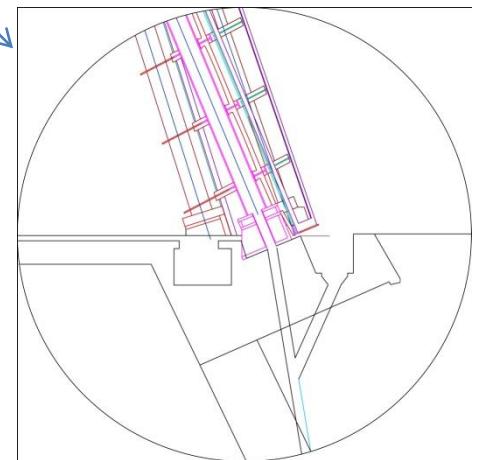
Para la colocación del anclaje se disponen una serie de pernos de una longitud aproximada de 1.5m embebidos en la estructura de hormigón, dejando un extremo a la vista. Se coloca la placa de 85cm y se roscan los pernos. Por la perforación central que tiene la placa se vierte el mortero de nivelación.



Placa de anclaje



Pistola

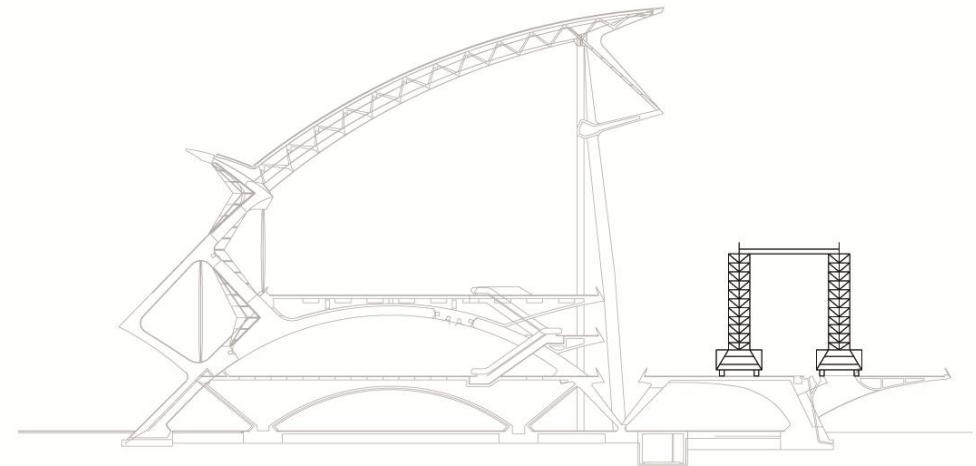


Detalle de muro cortina con pistola



## Fase 2

Se montaron unas torres como estructura auxiliar, para el apoyo de los tubos durante su montaje. Se colocaron sobre la pieza denominada pistola y su utilidad es la de soportar o arriostrar las barras para así poder soldarlas con su correcta inclinación.

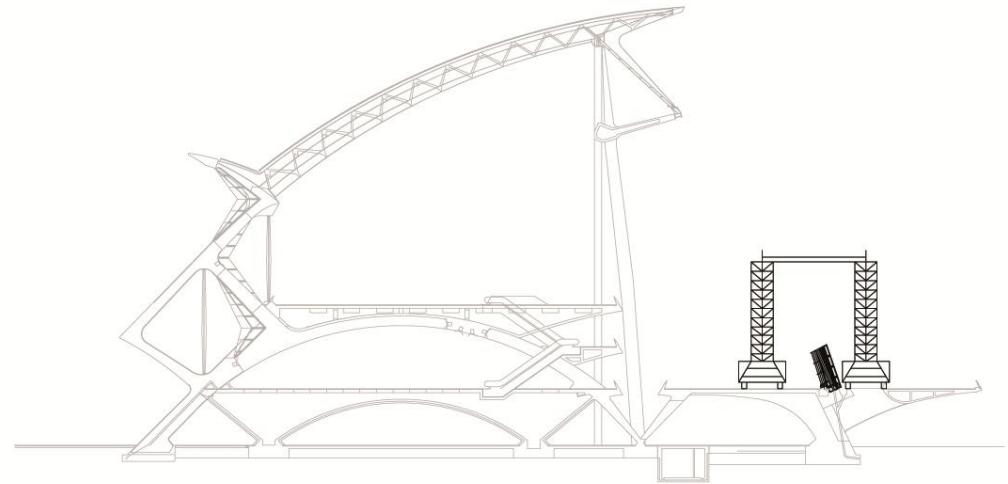


Diferentes vistas de la estructura auxiliar



### Fase 3

Se izaron los arranques de los tubos A,B y C, se verificaron topográficamente y se soldaron a las placas bases. Estos tubos, en su primer tramo eran autoestables, por lo que no apoyaban en la estructura auxiliar.



Arranques

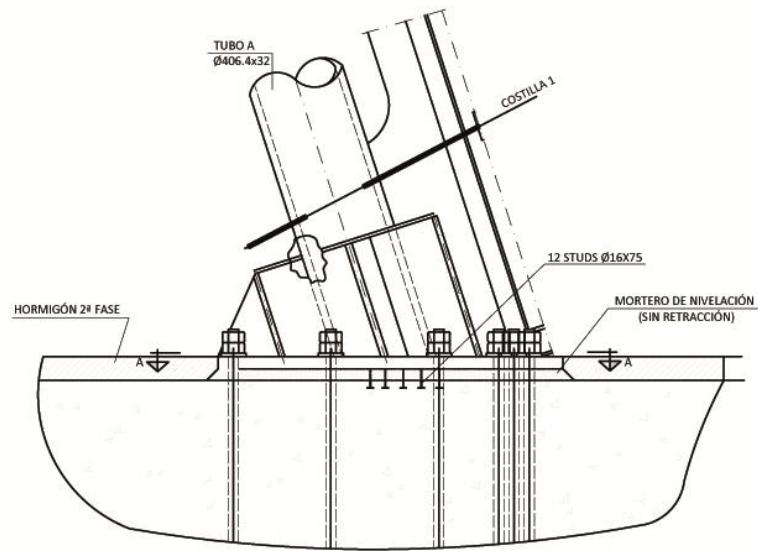


Arranque tubos B y C

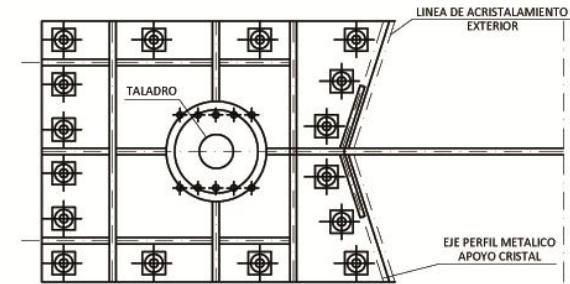


Arranque tubo A

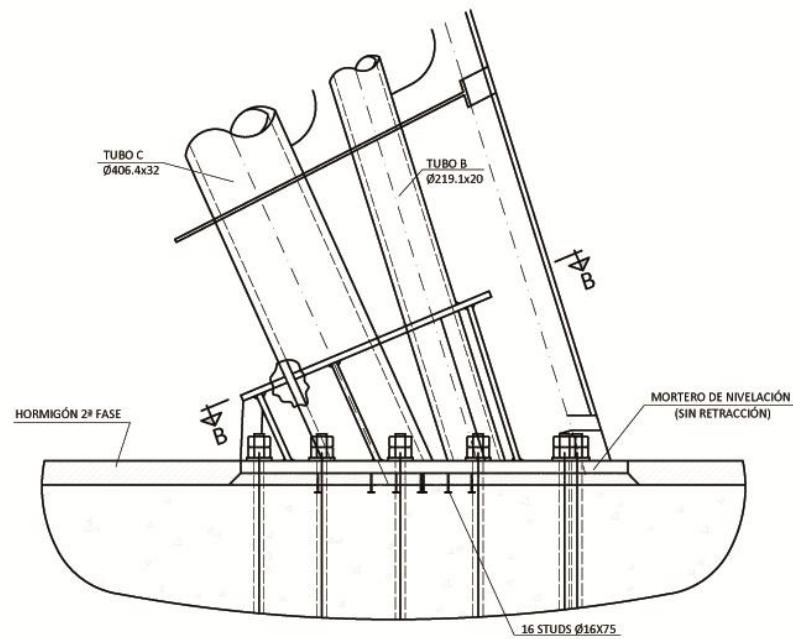




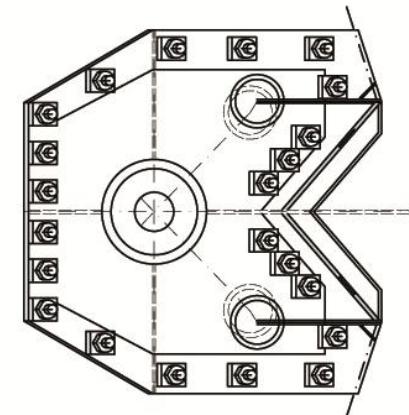
ALZADO TUBO A



SECCION A-A



ALZADO TUBO B Y C

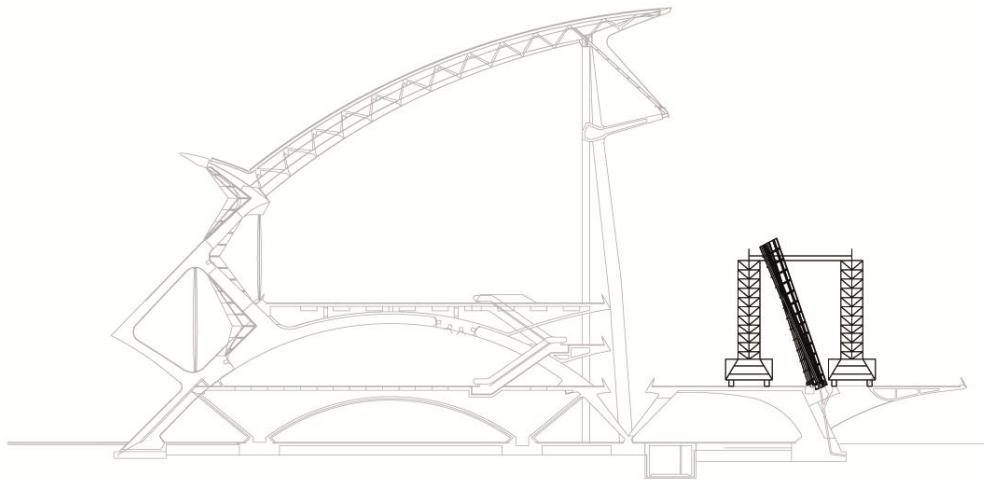


SECCION B-B



## Fase 4

Se izaron los tramos siguientes que apoyan en los tramos de arranque y en las torres de la estructura auxiliar. Se comprobaron topográficamente y una vez correcta su posición se soldaron.



*Izado de estructura*



*Soldado de la segunda parte con los arranques*

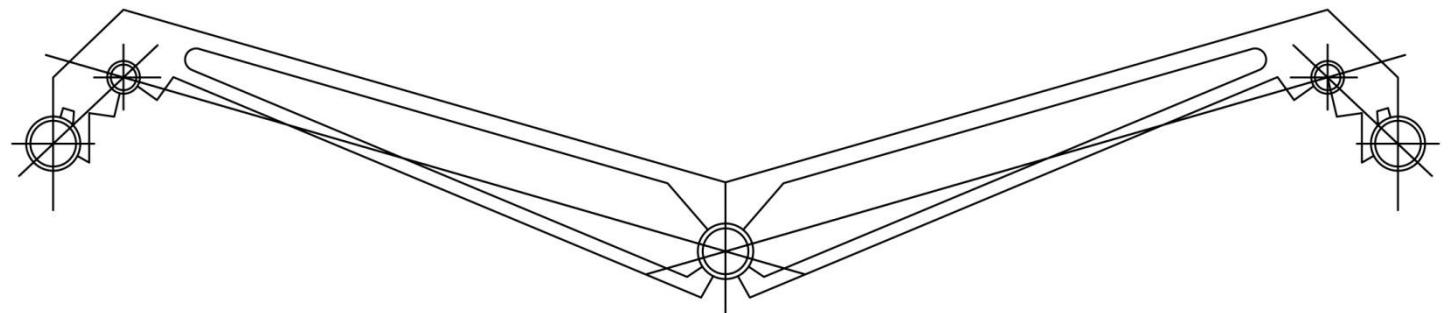


## Fase 5

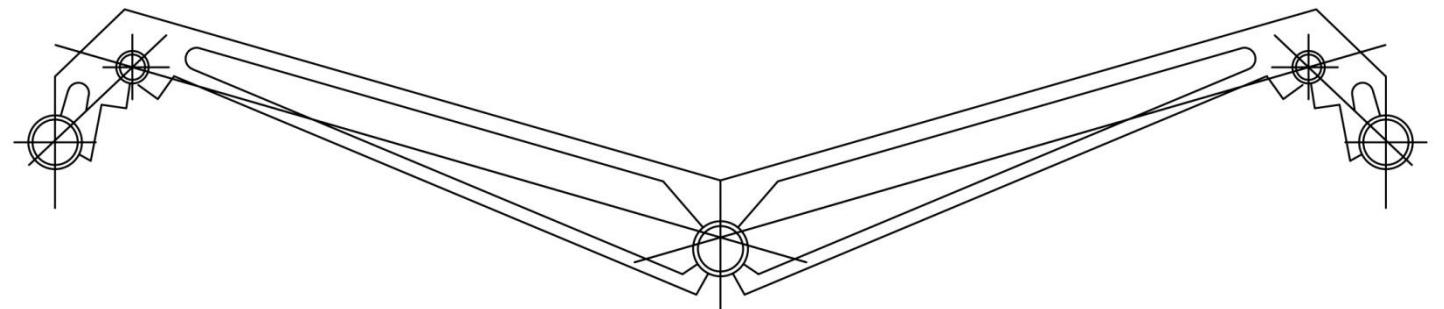
Se fueron arriostrando los tubos con las costillas



*Arriostramiento de tubos con costillas*

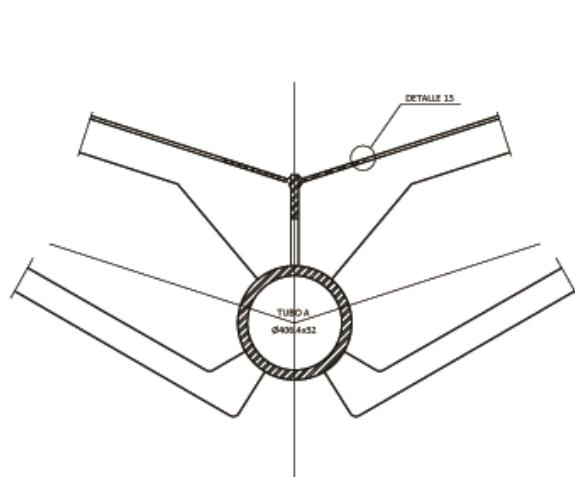
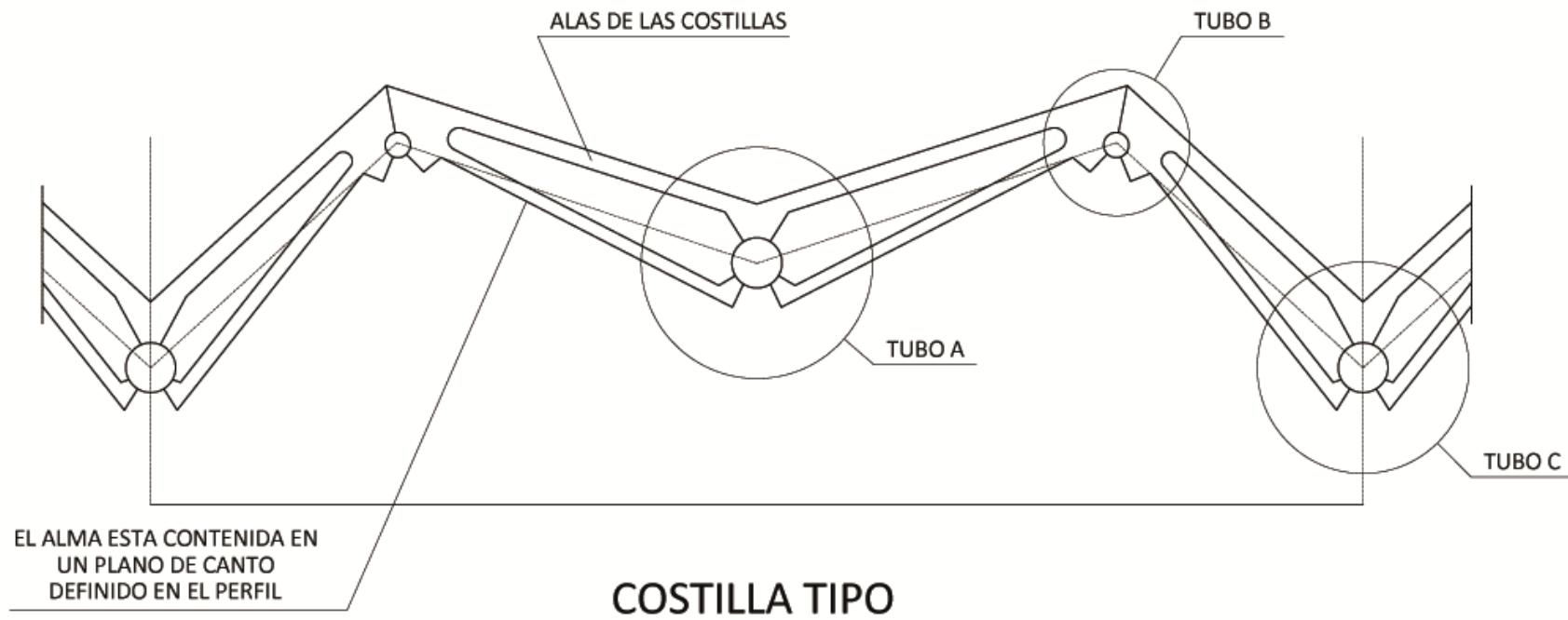


Costilla tipo I

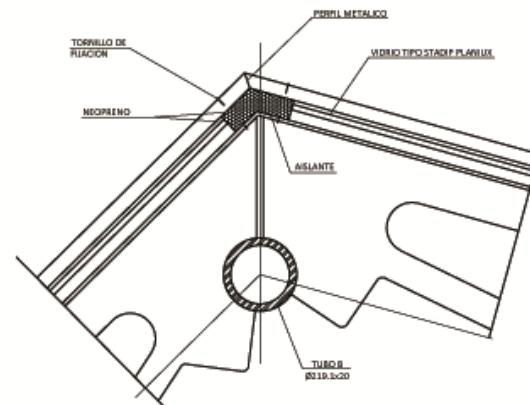


Costilla tipo II

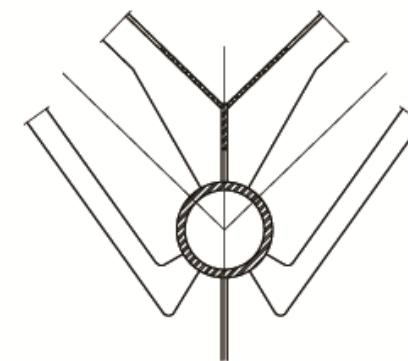




**DETALLE TUBO A**



**DETALLE TUBO B**

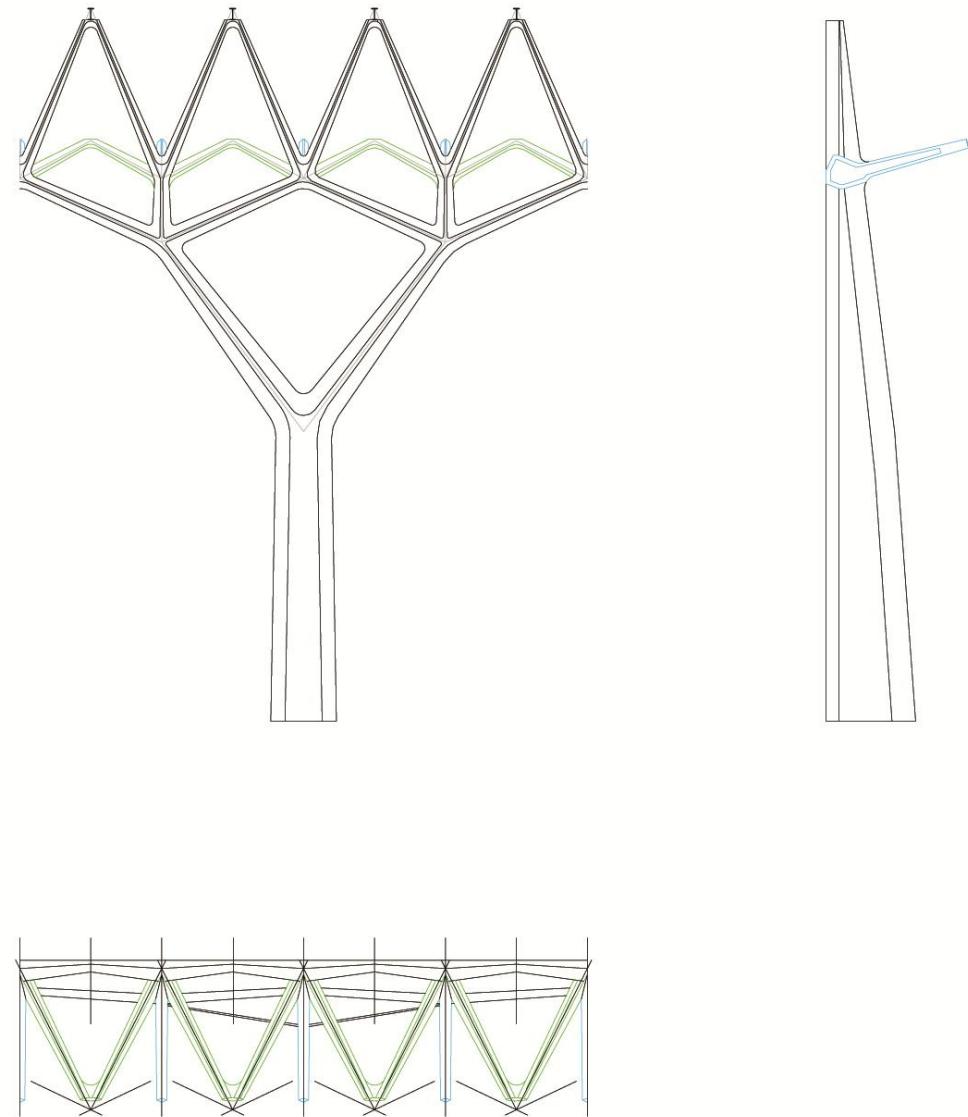
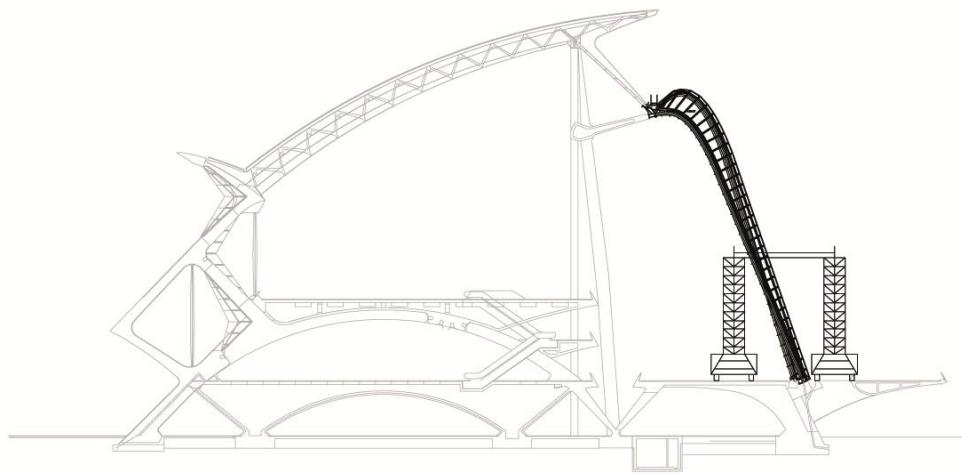


**DETALLE TUBO C**



## Fase 6

Se izaron los tramos curvos de los tubos, la conexión entre los tubos del muro cortina y las piezas 6 y 7 de los árboles en proyecto venían solucionado con la soldadura del tubo a una placa y fijando ésta mediante pernos a la placa que dispondrían las piezas 6 y 7. Pero debido al movimiento que tendrá que soportar el muro cortina, se sustituyó la conexión fuertemente fijada (empotramiento) por una rótula, permitiendo así el movimiento de los tubos.

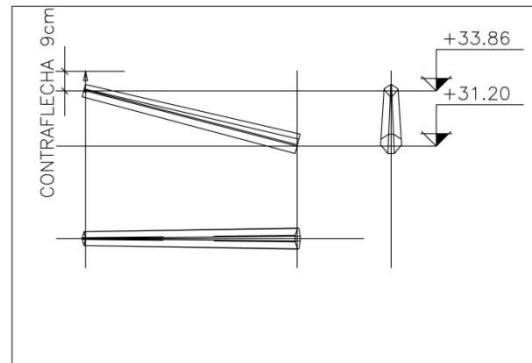


Vistas de árbol y piezas 6 y 7

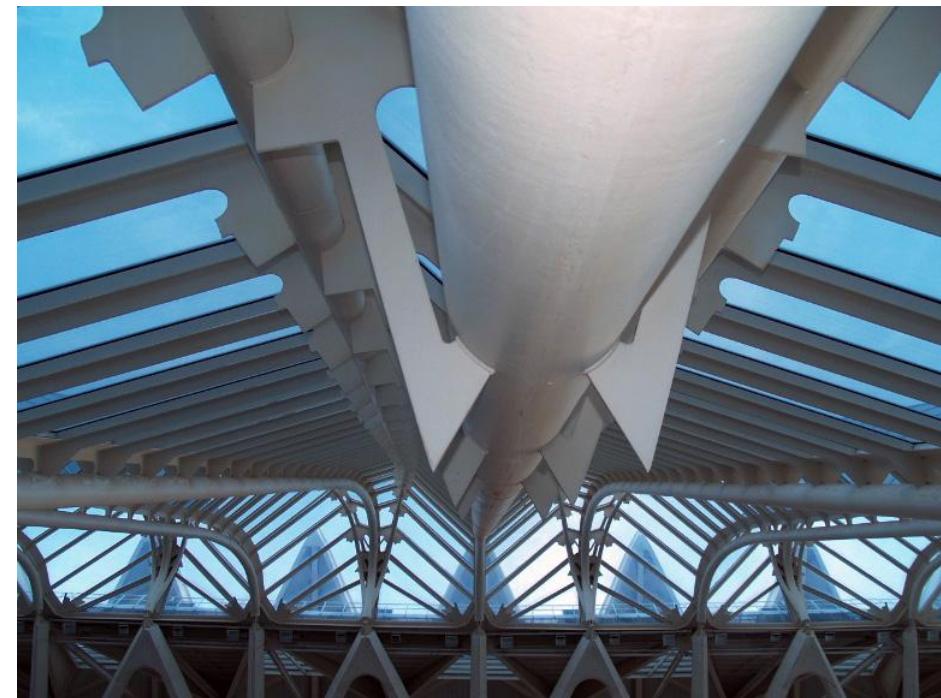
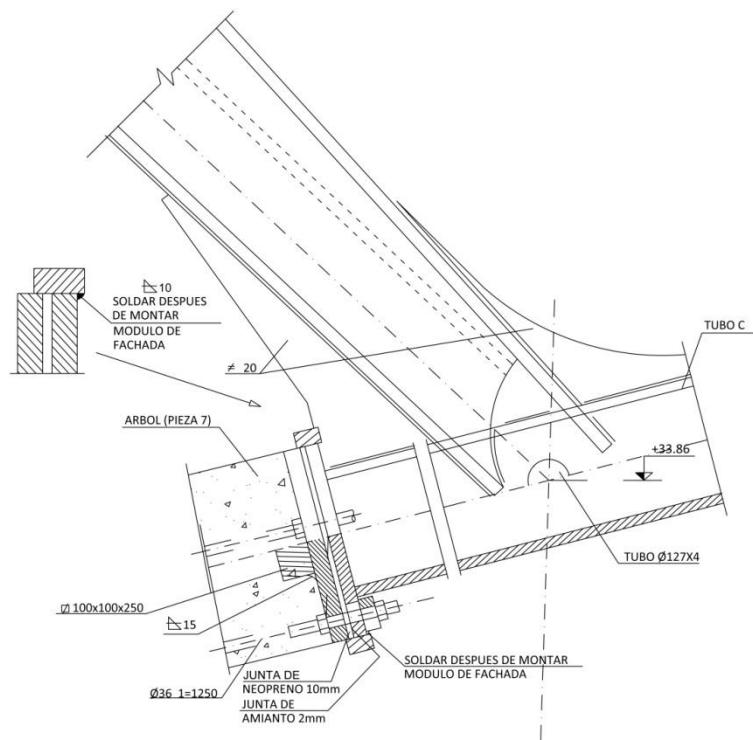
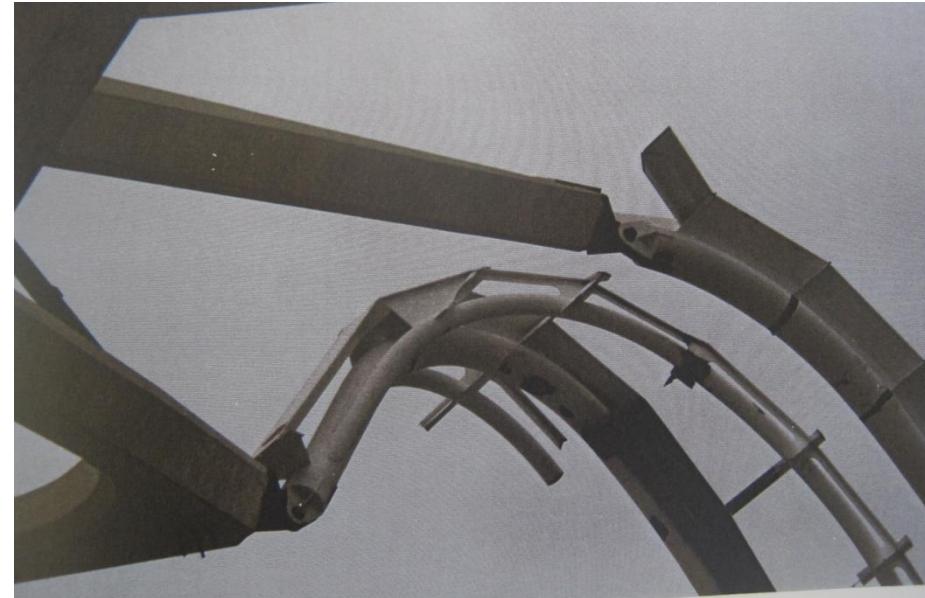


## Nudo 5

Unión del tubo C con la pieza 7

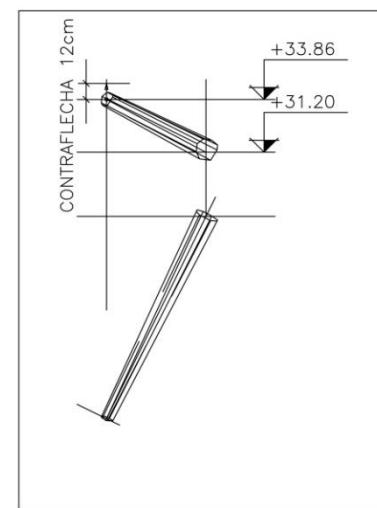
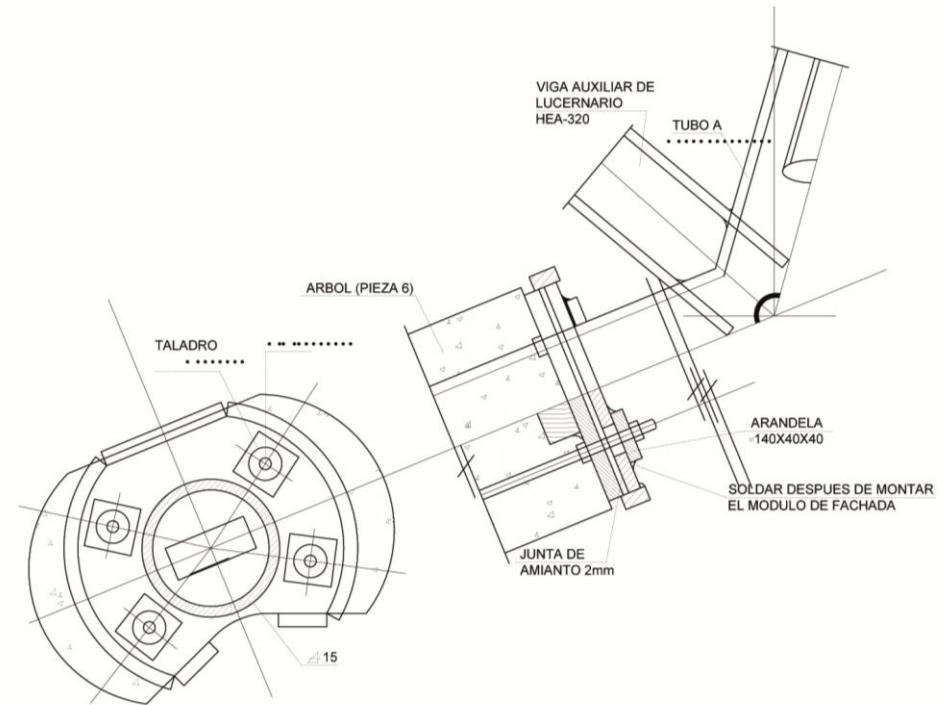


POSICION REAL PIEZA 7  
ESCALA 1:200

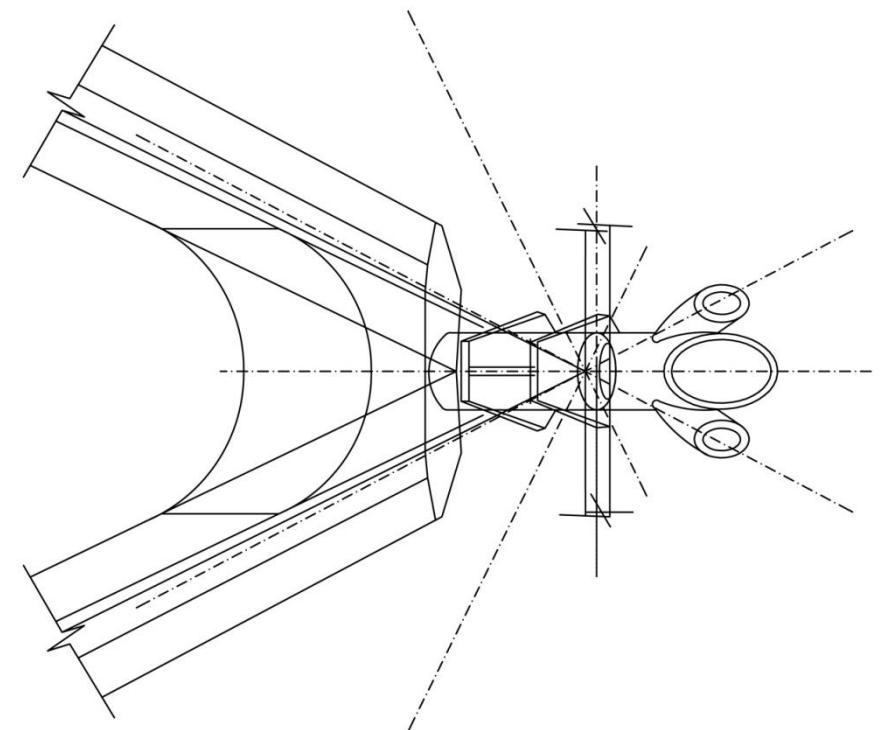


## Nudo 6

Unión del tubo A con la pieza 6

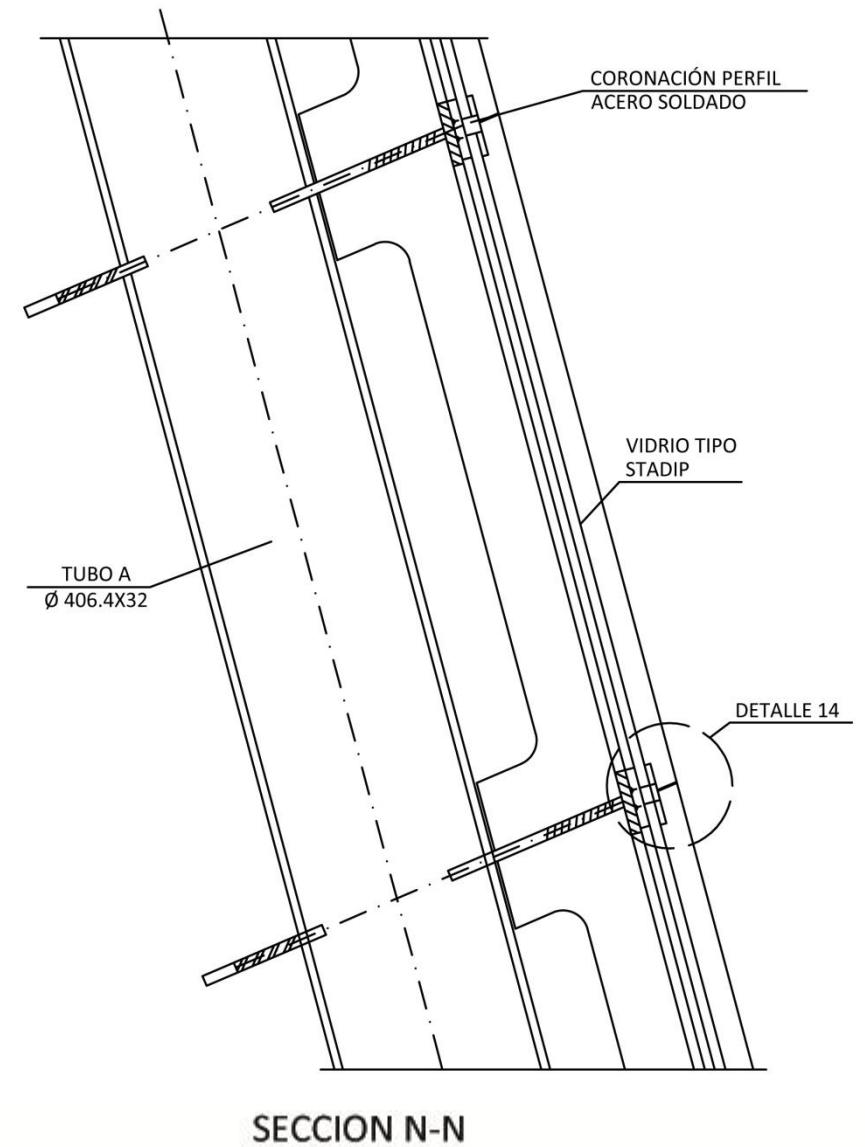
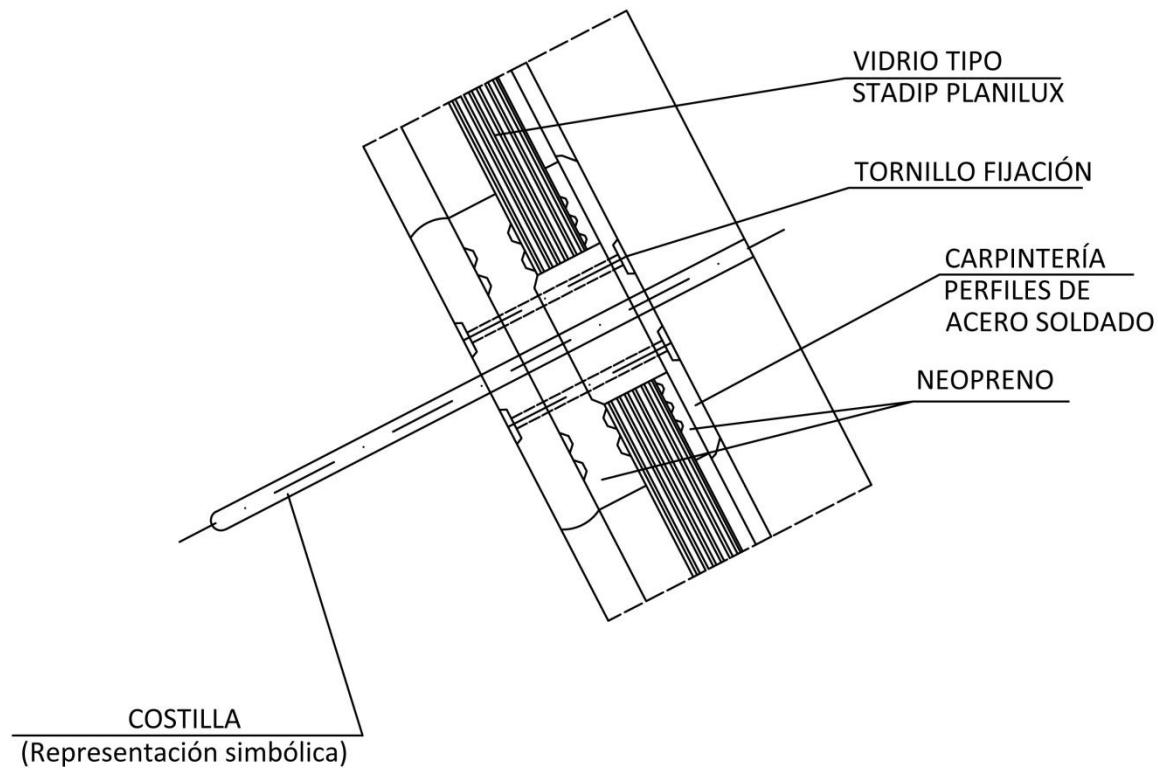


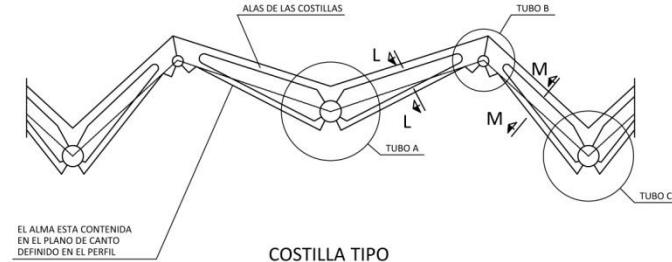
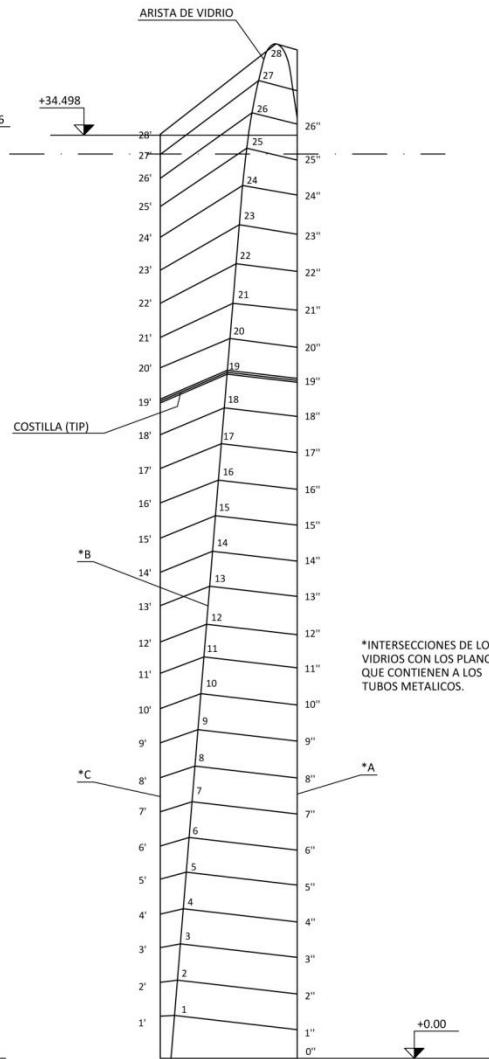
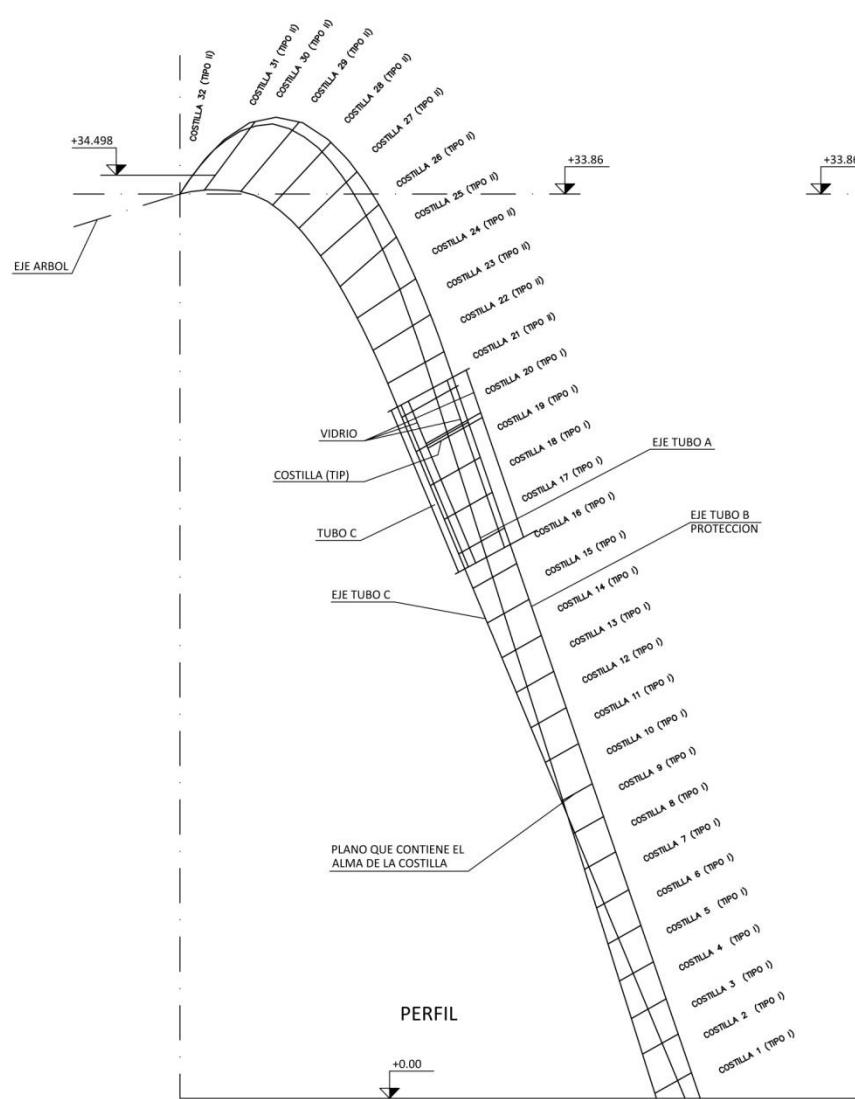
POSICION REAL PIEZA 6



## Acristalamiento

Como se ha dicho anteriormente el vidrio utilizado fue Stralami 8+8, montado sobre carpintería de acero.





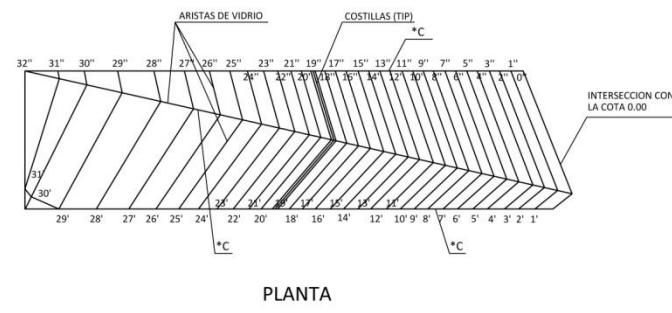
SECCIONES L-L/M-M COSTILLA TIPO I

SECCIONES L-L/M-M COSTILLA TIPO II

PUNTO	X	Y	Z
0	19945	000	386
0"	19645	000	000
0"	19416	000	5000
1'	19405	1572	510
1"	18972	1345	000
1"	18129	904	5000
2'	18955	2881	614
2"	18434	2608	000
2"	17710	2228	5000
3'	18506	4190	718
3"	17897	3871	000
3"	17290	3553	5000
4'	18057	5499	822
4"	17359	5133	000
4"	16870	4877	5000
5'	17607	6807	926
5"	16822	6396	000
5"	16450	6221	5000
6'	17158	8116	1030
6"	16284	7659	000
7'	16709	9425	1134
7"	15747	8922	000
7"	15610	8850	5000
8'	16259	10734	1238
8"	15209	10184	000
8"	15190	10187	5000
9'	15810	12043	1342
9"	14672	11447	000
9"	14771	11499	5000
10'	15360	13952	1446
10"	14134	12710	000
10"	14351	12823	5000
11'	14911	14661	1550
11"	13596	13972	000
11"	13931	14148	5000
12'	14462	15970	1654
12"	13059	15235	000
12"	13511	15472	5000
13'	14012	17260	1659
13"	12521	16530	000
13"	13091	16796	5000
14'	13563	18588	1862
14"	11984	17761	000
14"	12671	18121	5000
15'	13113	19897	1966
15"	11446	19023	000
15"	12251	19445	5000

PUNTO	X	Y	Z
16	12664	21205	2070
16'	10909	20286	000
16"	11832	20796	5000
17'	12215	22514	2174
17"	10371	21549	000
17"	11412	22094	5000
18'	11765	23823	2278
18"	9834	22812	000
18"	10992	23418	5000
19'	11316	25132	2382
19"	9296	24074	000
19"	10572	24743	5000
20'	10866	26441	2486
20"	8758	25437	000
20"	10152	26067	5000
21'	10417	27750	2590
21"	8221	26600	000
21"	9732	27391	5000
22'	9919	29192	2706
22"	7628	27858	000
22"	9280	28824	5000
23'	9358	30880	2835
23"	7081	29121	000
23"	8769	30283	5000
24'	8722	32109	2982
24"	6405	30348	000
24"	8187	31703	5000
25'	8011	33545	3147
25"	5638	31539	000
25"	7534	33139	5000
26'	7205	34909	3333
26"	4822	32659	000
26"	6792	34516	5000
27'	3818	36157	3560
27"	3818	33601	000
27"	5883	35795	5000
28'	5043	37160	3833
28"	2631	34303	000
28"	4782	36851	5000
29'	3629	37632	4160
29"	1237	34498	000
29"	3455	37404	5000
30'	2346	37386	4457
30"	285	34498	000
30"	2242	37240	5000
31'	1290	36682	979
31"	83	34498	000
31"	1237	36682	5000
32'	83	34498	5000

DEFINICION DE INTERSECCIONES DE PLANOS DE VIDRIOS (DEFINICION DE LOS PLANOS DE LAS ALAS COSTILLAS α Y β)



## 6. Análisis estructural.



## Muro cortina

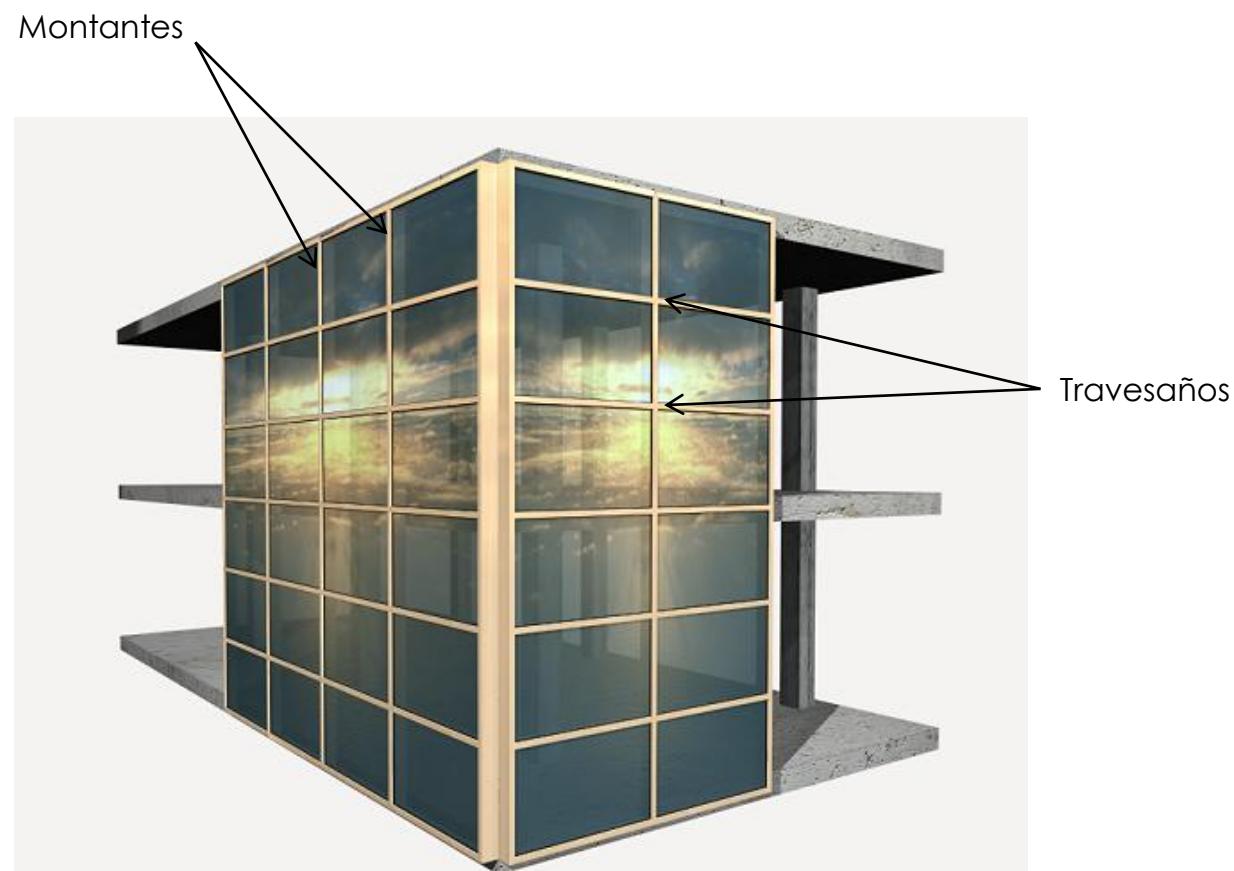
La solución adoptada en la fachada norte es la de muro cortina, que permite diseños y acabados superficiales muy elaborados e innovadores.

Se define como muro cortina al cerramiento formado por una retícula de elementos constructivos verticales y horizontales (montantes y travesaños) a modo de estructura auxiliar situada por delante de la estructura del edificio sobre la que se anclan elementos de cerramiento, formando una superficie continua y ligera que delimita completamente el espacio interior respecto del exterior del edificio. La estructura principal, normalmente forjados de hormigón, cuenta con bases de fijación previstas para efectuar los anclajes necesarios de la estructura auxiliar.

Los muros cortina se componen de los elementos siguientes:

- **Montantes verticales:** Elementos verticales fijados a los anclajes, destinados a soportar su propio peso, las acciones de los elementos que se fijan a ellos, y la carga del viento que incide sobre la fachada.

- **Travesaños horizontales:** Elementos dispuestos horizontalmente, que generalmente van anclados a los montantes, y dimensionados de tal forma que puedan aguantar la carga de los elementos de relleno (vidrios no colaborantes) que gravitan sobre ellos. Los otros elementos practicables (ventanas), elementos de relleno ( vidrios no colaborantes, paneles y cortafuego), elementos de fijación (anclajes y uniones) y elementos de remate (chapas y ángulos).



Muro cortina tipo, anclado a forjados de hormigón.



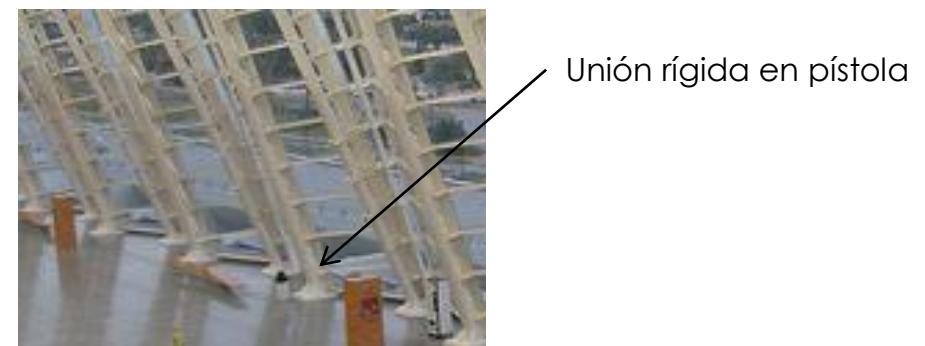
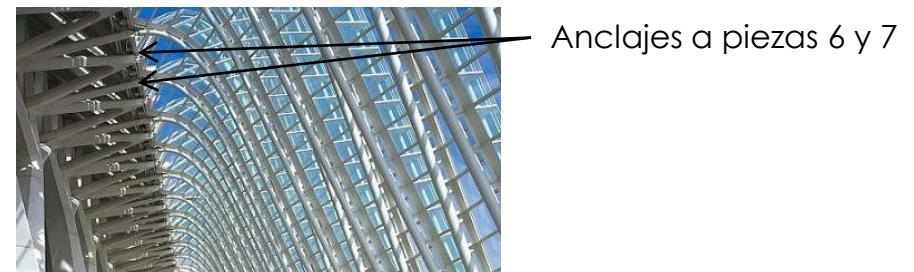
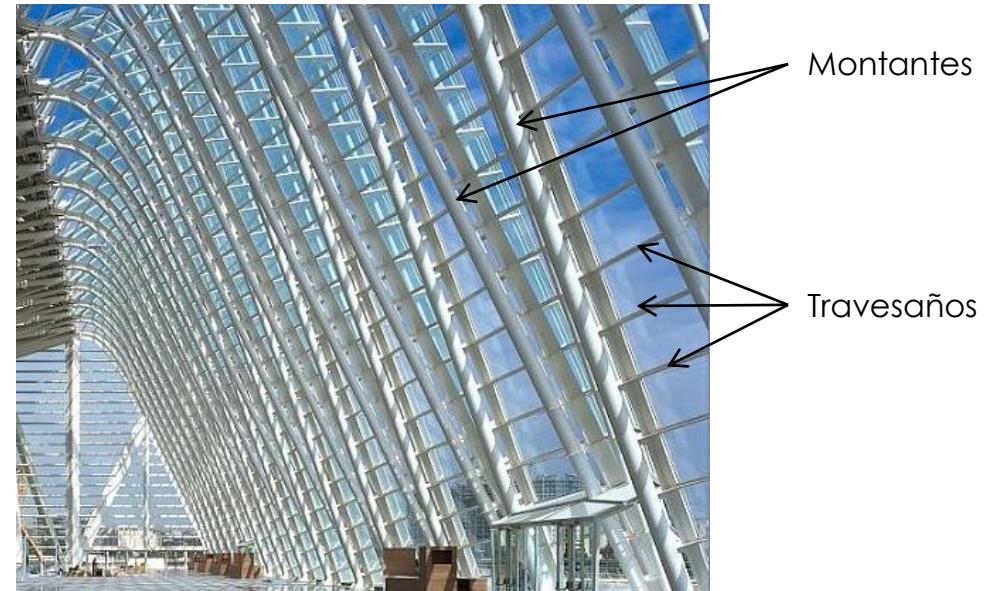
En este caso se trata de una fachada que representa la única separación entre el exterior y el interior. Es autoportante.

Como no existe obra en el trasdós el mismo muro cortina debe garantizar la estanqueidad entre plantas, el aislamiento acústico y térmico.

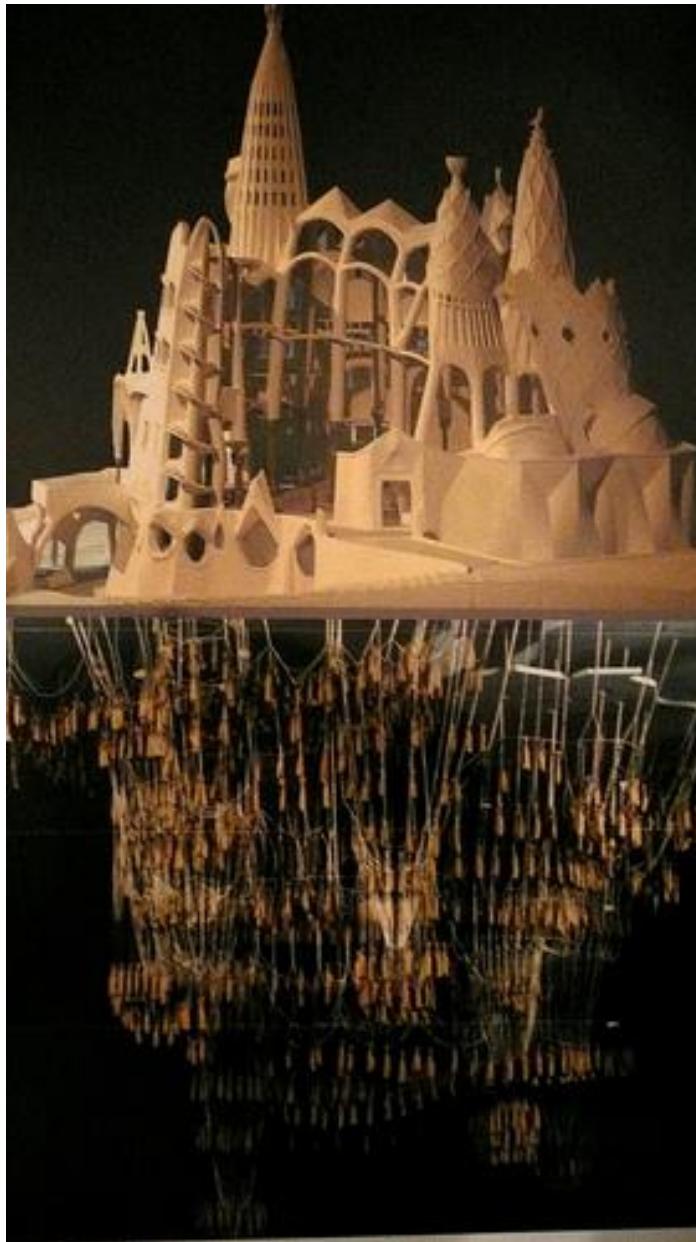
La fachada del Museo no es un muro cortina convencional, con montantes y travesaños comunes. En este caso lo que funciona como montante son los tubos de acero con forma de parábola, los travesaños serían las costillas que arriostran estos tubos y sobre las que carga el peso de la carpintería fija de aluminio.

Los tubos se anclan en la pieza horizontal de hormigón llamada pistola de forma rígida en su parte inferior y en la pieza 6 y 7 de los árboles (detalles constructivos apartado anterior, análisis constructivo) con una articulación en su parte superior. Estas uniones serían similares a las de una fachada ligera convencional con la estructura en frentes de forjado. Interpreto que se utiliza un apoyo rígido en la parte inferior, para que se garantice la transmisión de esfuerzos a la pistola y se eviten movimientos en la base debidos a la carga de toda la fachada.

En cambio, en el apoyo superior articulado no soporta apenas cargas y permite dilataciones y contracciones de la fachada para que no surjan roturas por cambios de temperatura.



## Montantes en forma de arco parabólico



Maqueta funicular de Gaudí.

El arco se puede considerar uno de los elementos estructurales básicos en todo tipo de arquitectura, se trata de una estructura que trabaja a compresión y se utiliza tanto para cubrir grandes como pequeñas luces.

Como se ha explicado en el análisis geométrico el arco de esta estructura es un arco parabólico. La parábola se considera una curva funicular, la forma que adopta una cuerda o cable cuando apoya en dos puntos y soporta una carga repartida.

Gaudí es un arquitecto que utilizó mucho este tipo de curvas, analizó los principios de los modelos funiculares que se convirtieron en su principal herramienta de diseño debido a la interacción entre la geometría y la mecánica. Descubrió que la simetrización de la catenaria daba lugar a uno de los arcos más perfectos "El más racional y mecánico de los arcos". El único que adopta perfectamente la línea de presiones, que distribuye los esfuerzos a compresión pura y siempre bajo la dirección y

sentido de la resultante de fuerzas que le llevo a utilizar maquetas funiculares para la comprensión de la lógica estructural.

Las formas inversas a los hilos colgantes catenarios, funiculares o parabólicos, que soportan su propio peso o carga y que siempre están traccionados, corresponden a las formas comprimidas que, con las mismas longitudes, soportan las mismas cargas.



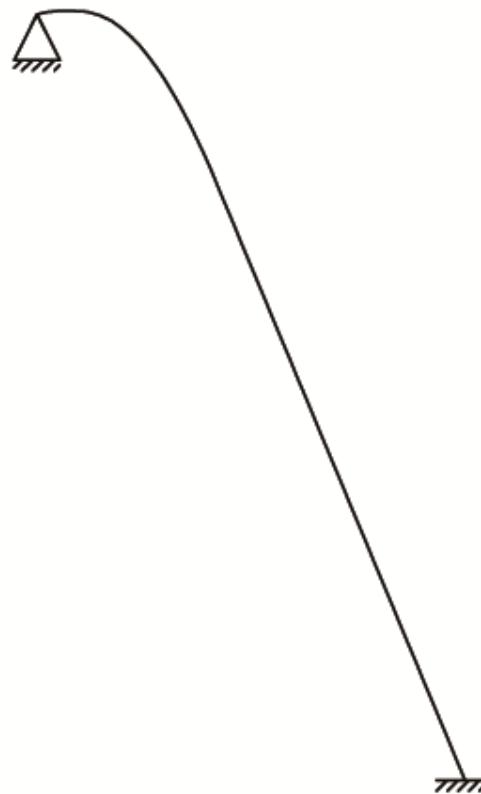
Palacio Güell. Pórtico de arcos parabólicos.



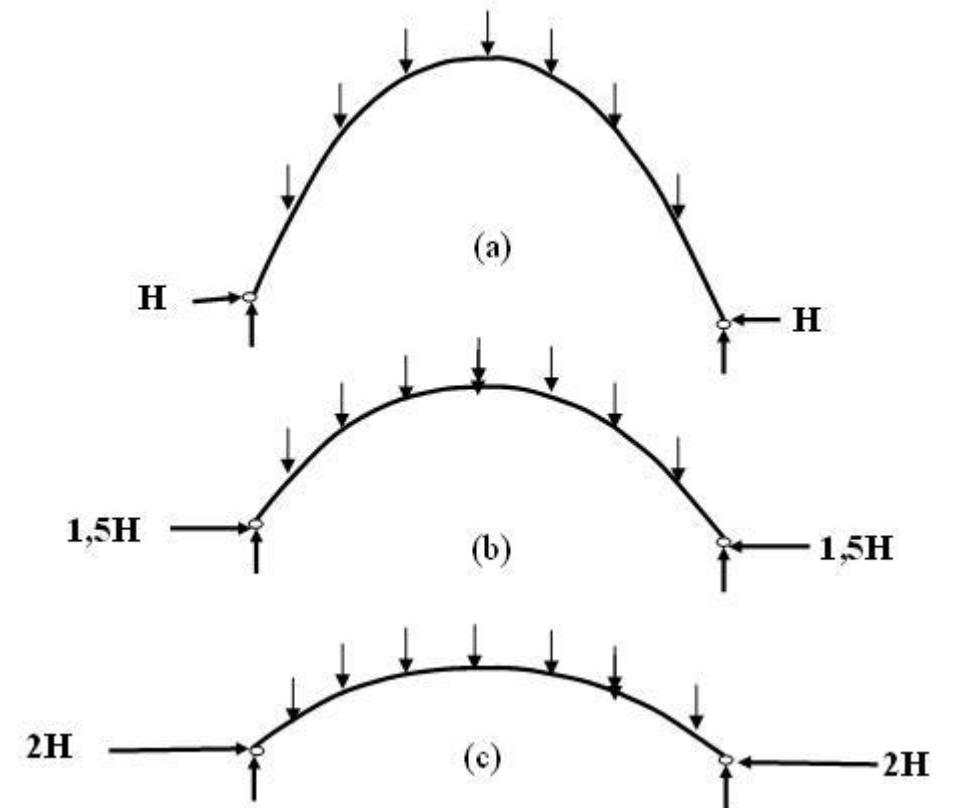
La parábola y la catenaria son muy similares, aunque la expresión matemática de la parábola es más sencilla  $y=kx^2$ .

Si se coloca un cable cargado uniformemente apoyado en sus extremos se obtienen curvas que al invertirlas trabajan perfectamente soportando la misma carga aplicada. La parábola invertida sirve, por tanto, como solución estática tanto para cargas realizadas desde arriba como desde abajo.

Los arcos también generan fuerzas horizontales, que se deben absorber en los apoyos, mediante contrafuertes o tensores. Cuanto más esbelto sea el arco menos son las fuerzas horizontales que crea en los apoyos, como es el caso, se trata de un arco de gran altura y poca distancia entre sus apoyos.



Curva parabólica de la estructura a de acero



Variación de las reacciones horizontales según la esbeltez del arco



## Cargas que afectan a la estructura

### Cargas propias

La carga propia del acero es una carga constante a lo largo de la barra que varía según el tipo de tubo.

Para los tubos A y C:  $\varnothing 406.4 \times 32 \rightarrow 295.45 \text{ kg/m}$

Para el tubo tipo B:  $\varnothing 219.1 \times 20 \rightarrow 98.20 \text{ g/m}$

### Cargas de viento

La acción del viento es una de las cargas que contempla el CTE. Según el mismo la carga de viento de la fachada norte es la calculada a continuación:

$$q_e = q_b \times c_e \times c_p = 0.5 \times 1.686 \times 0.7 = 0.59 \text{ KN/m}$$

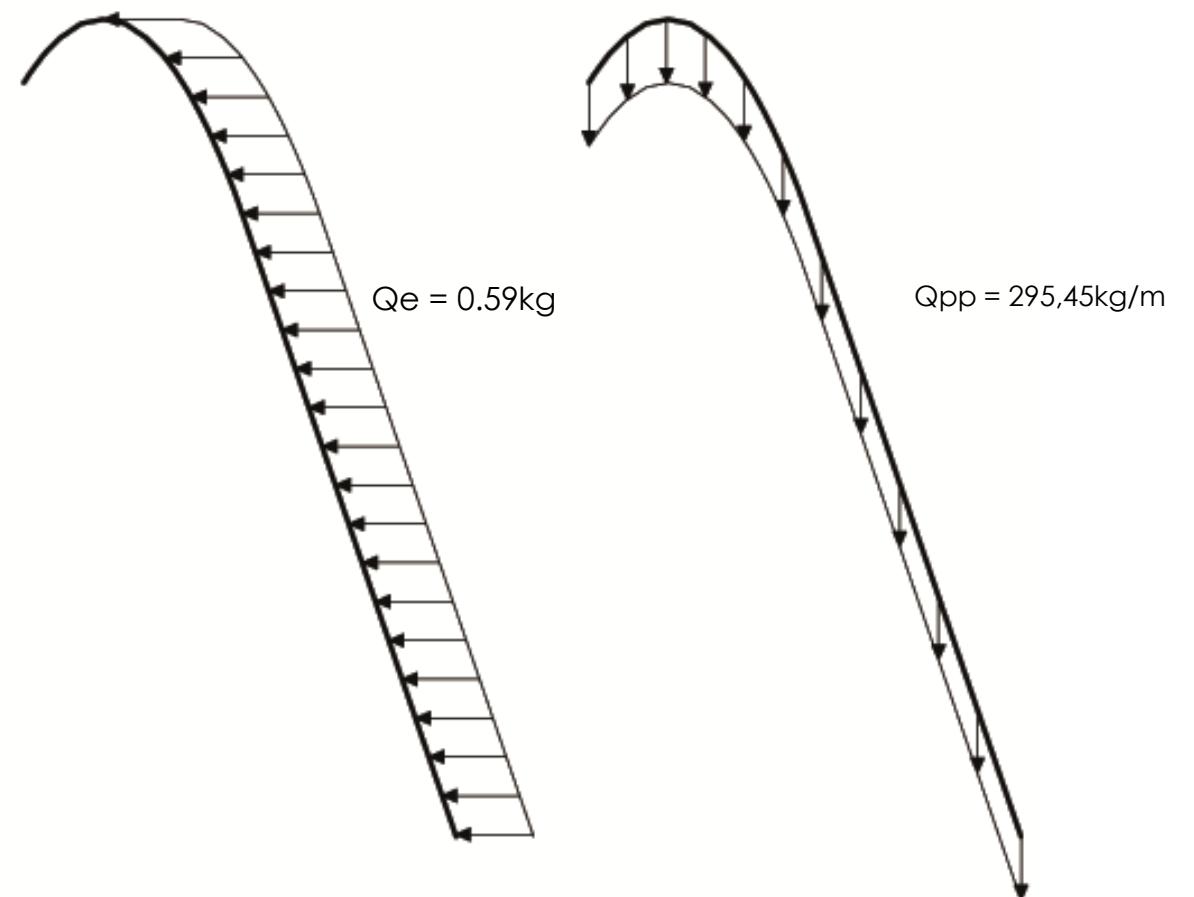
$q_b$  - Por norma general  $0.5 \text{ KN/m}^2$

$C_e$  - Zona urbana – Entorno IV – Coef. Expo 2,6

$$C_e = F (F + 7k) = 0.62 (0.62 + 7 \times 0.3) = 1.686 \text{ m}^2$$

$$F = k \times \ln(\max z, Z/L) = 0.22 \times \ln(5/0.3) = 0.62 \text{ m}$$

$$h/d = 33.87/210 = 0.16 - c_p = 0.7; c_e = -0.3$$



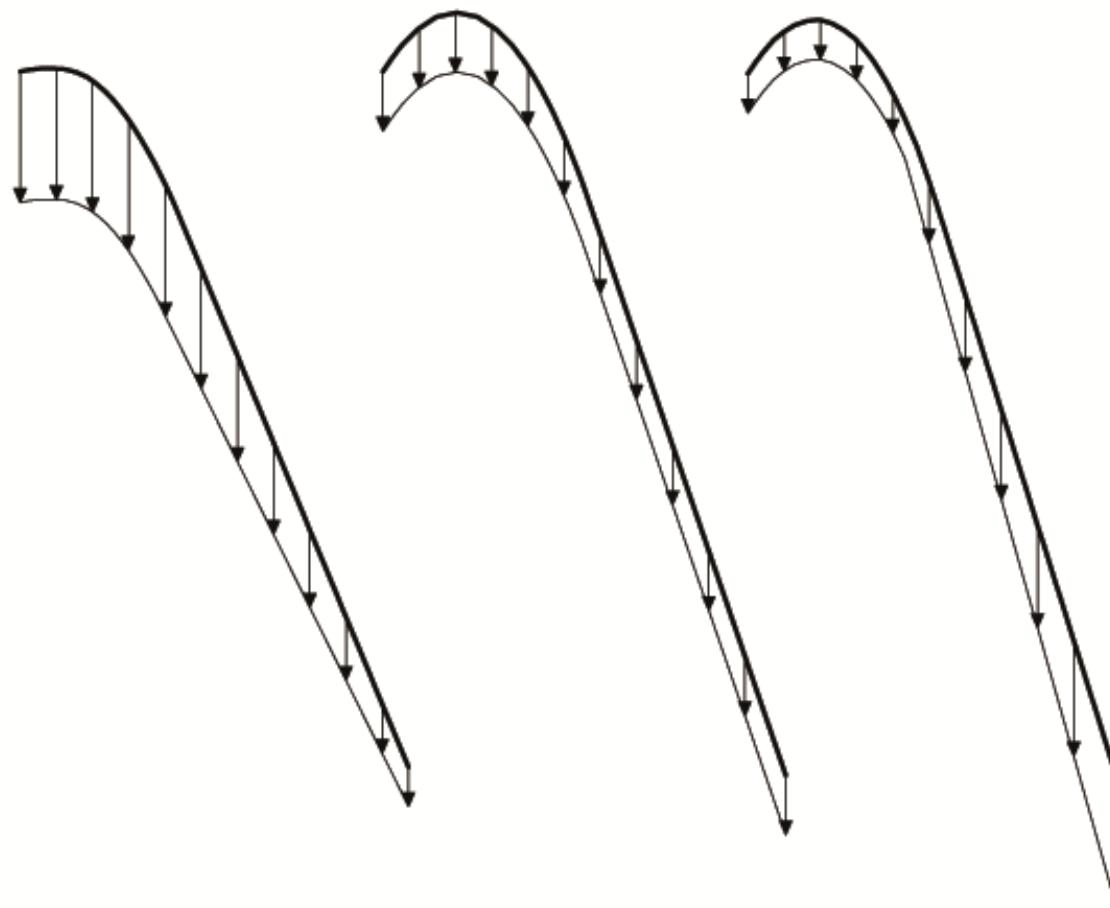
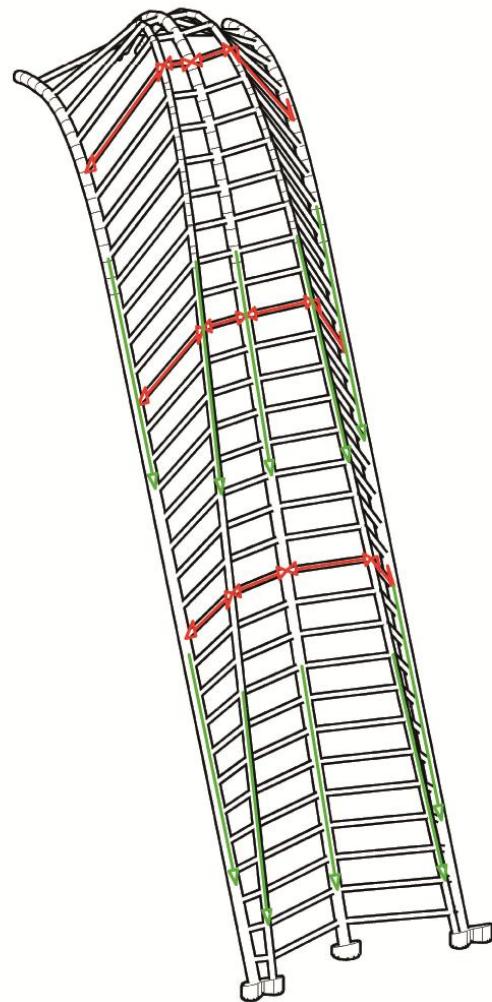
Esquemas de cargas de viento y propias



## Cargas que afectan a la estructura

### Cargas de la carpintería

La carga de la carpintería apoya sobre las costillas que arriostran los tubos de acero, transmiten así su carga a través de ellas hacia los tubos, y estos al anclaje con la pistola. En cada barra las cargas afectan de modo diferente, debido a la morfología de la estructura que cuenta con diferentes tamaños de cristal en cada zona. Interpreto que los gráficos de fuerzas serían, para cada tubo, similares a los de la derecha



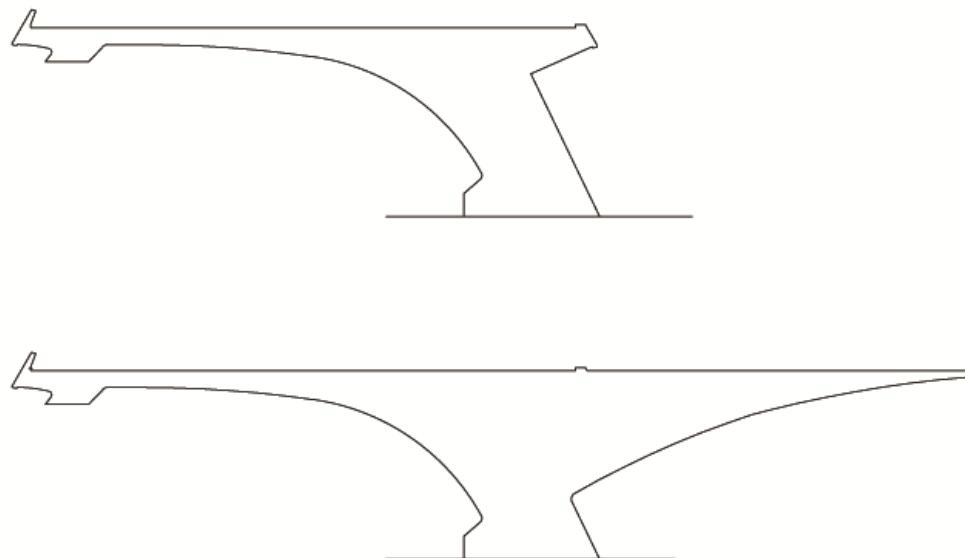
Esquemas de los diferentes tubos de la estructura con sus respectivas cargas



## Transmisión de cargas

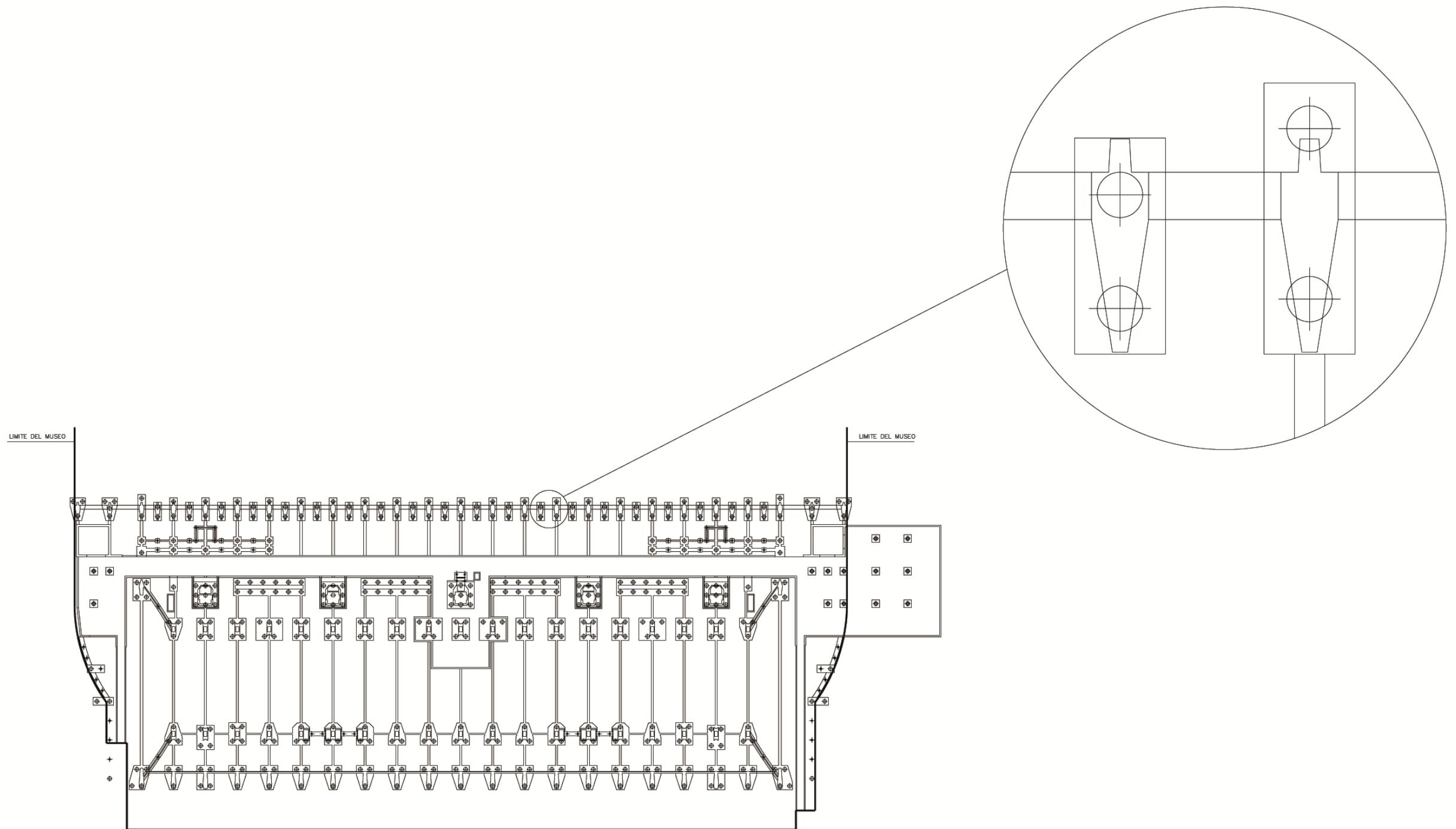
La fachada norte transmite mediante su estructura de acero los esfuerzos al anclaje anteriormente citado. Esta unión se realiza a la vida de borde que apoya en las pistolas.

Existen dos tipos de anclajes, en los que concurren 3 tubos y a los que solo llega un tubo. Según se ve en la imagen cada uno de ellos apoya y transmite sus cargas a una pieza diferente (Pistolas).



Diferentes tipos de Pistolas





## 7. Conclusiones

Cuando elegí taller para realizar el PFG apenas teníamos información: los títulos y una breve descripción. Siempre me ha encantado la geometría y el hecho de analizar un edificio geoméricamente me convenció, ahora que finalizo el proyecto considero que el análisis y estudio del edificio ha sido mucho mas complejo e interesante de lo que esperaba.

Estamos acostumbrados a ver edificios comunes de estructuras simples que siguen todos una misma línea de trabajo y un mismo proceso constructivo. En este caso he estudiado un edificio complejo, singular: el Museo de las Ciencias de Calatrava. Sucede con este y muchos edificios que el visitarlo, tanto por fuera como por dentro uno se pregunta cómo se ha construido, cuanto tiempo han tardado, qué técnicas constructivas se han utilizado, encofrados, materiales, etc. El proyecto ha consistido en encontrar la respuesta a estas preguntas y me ha servido para conocer otros métodos constructivos, medios auxiliares mas complejos a los que solemos ver, la organización en una obra grande en cuanto a espacios y tiempo, etc., es decir, una ampliación de todo lo estudiado en la carrera pero en este caso para una gran obra.

Otra parte del proyecto ha sido el análisis arquitectónico y geométrico. Ha sido muy interesante estudiar de dónde proviene la inspiración del autor, las obras no solo son funcionales, tienen una parte artística y estética que es tan importante como la funcionalidad, sobre todo en este caso.

El análisis geométrico me ha recordado muchos conceptos geométricos que ya tenía olvidados y he aprendido muchos otros. Las cónicas y superficies regladas están muy presentes en muchos edificios y pero nunca me había planteado su utilidad, su diseño o su construcción.

Lo más complicado de este proyecto ha sido conseguir la información. Agradezco enormemente su ayuda a José Luis Martínez Cava, Responsable del departamento de compras de FCC, que ha sido la única persona, y la única empresa que ha respondido a mi solicitud, rápida y eficazmente. He contactado con otras empresas pero ninguna ha podido darme nada de información excepto FCC.

Me alegro de haber seleccionado este taller porque ha sido una buena experiencia y muy interesante, con un buen ritmo de trabajo y la ayuda constante de los tutores, a los que también les doy las gracias.



## 8. Bibliografía

### Libros consultados:

JODIDIO. P : *Calatrava*, Ed. Taschen, 2007

LEWIS KAUSEL.C, PENDLETON-JULLIAN.A: *Santiago Calatrava, conversaciones con estudiantes*. Ed. Gustavo Gili, S.A, 2003

POLANO.S: *Santiago Calatrava, obra completa*, Ed. Electa, 1996

McQUAID. M: *Santiago Calatrava, Structure and Expression*. Ed. The Museum of Modern Art, New York. 1993

TZONIS.A: *Santiago Calatrava*. Ed. Polígrafa. 2004

JODIDIO.P: *Calatrava, Complete Works*. Ed. Taschen, 2007

ZARDINI.M: *Santiago Calatrava. Secret sketchbooks* . 2000

GARCIA BROSETA,F.M. *Control de calidad del Museo de la Ciencia y la Tecnología*. UPV. 1997

DOMINGUEZ MARTINEZ.F. *L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas*. UPV. 1999

### Personas que me han facilitado información:



MARTINEZ CAVA.J.L. Responsable Dpto. Compras FCC.

### Webs consultadas:

[www.fccco.es](http://www.fccco.es)

[www.duglass.com](http://www.duglass.com)

[www.cac.es](http://www.cac.es)

[es.wikipedia.org](http://es.wikipedia.org)

[www.arquitectura.com](http://www.arquitectura.com)

[www.artehistoria.jcyl.es](http://www.artehistoria.jcyl.es)

[www.floornature.es](http://www.floornature.es)



Referencia de imágenes

Imagen portada introducción: conflagratio.net  
 Pag 2.1: Figura 1: [www.sostenibleycreativa.es](http://www.sostenibleycreativa.es)  
 Foto 2, 3 y 4: ZARDINI.M: Santiago Calatrava. Secret sketchbooks . 2000  
 Pag 2.2: [www.cac.es](http://www.cac.es)  
 Pag 2.3: <http://www.search-congress.com>  
 Pag 2.4: Boceto: ZARDINI.M: Santiago Calatrava. Secret sketchbooks . 2000  
 Pag 2.5: Fotos: [www.valencia.es](http://www.valencia.es)  
 Bocetos: ZARDINI.M: Santiago Calatrava. Secret sketchbooks . 2000  
 Foto 1: [www.trekearth.com](http://www.trekearth.com)  
 Foto 2: [www.urbanity.es](http://www.urbanity.es)  
 Foto 3: [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)  
 Pag 2.6 Fotos: [www.screen.turisvalencia.com](http://www.screen.turisvalencia.com)  
 Pag 2.7 [arteyartificios.blogspot.com](http://arteyartificios.blogspot.com)  
 Pag 2.8 Foto 1: [www.urbanity.es](http://www.urbanity.es)  
 Foto 2: [prospectivanoematica.wordpress.com](http://prospectivanoematica.wordpress.com)  
 Foto 3: [www.elpais.com](http://www.elpais.com)  
 Pag 2.9 Foto 1: [www.lospiratas.org](http://www.lospiratas.org)  
 Foto 2: [mural.uv.es](http://mural.uv.es)  
 Pag 2.10 Foto 1: [www.trivago.es](http://www.trivago.es)  
 Foto 2: Cristina Marco García  
 Pag 2.12 Foto 1: <http://www.lightstalkers.org>  
 Pag 2.13 Fotos: FCC  
 Pag 2.13 y Pag 2.14: [www.cac.es](http://www.cac.es)  
 Pag 2.28 Foto 1: [www.publico.es](http://www.publico.es)  
 Foto 2: [www.arquitectura.com](http://www.arquitectura.com)  
 Foto 3: [cprmerida.juntaextremadura.net](http://cprmerida.juntaextremadura.net)  
 Foto 4: [albertotallon.blogspot.com](http://albertotallon.blogspot.com)  
 Foto 5: [www.dtlux.com](http://www.dtlux.com)  
 Pag 2.29: Foto 1: [www.epdlp.com](http://www.epdlp.com)  
 Foto 2: [www.urbanscraper.com](http://www.urbanscraper.com)  
 Foto 3: [blog.darioalvarez.net](http://blog.darioalvarez.net)  
 Foto 4: [www.arqchile.cl](http://www.arqchile.cl)  
 Foto 5: [www.tripadvisor.es](http://www.tripadvisor.es)  
 Foto 6: [planetagadget.com](http://planetagadget.com)

Imagen portada análisis arquitectónico: [eldiariodechon.blogspot.com](http://eldiariodechon.blogspot.com)  
 Pag 3.1: Boceto 1: [www.arcspace.com](http://www.arcspace.com)  
 Boceto 2: [lgarquitectura.wordpress.com](http://lgarquitectura.wordpress.com)  
 Boceto 3: [schwytzermeitschi.blogspot.com](http://schwytzermeitschi.blogspot.com)  
 Boceto 4: [architecture.blogcu.com](http://architecture.blogcu.com)  
 Pag 3.2: Boceto 1: [lgarquitectura.wordpress.com](http://lgarquitectura.wordpress.com)  
 Bocetos cuerpo: [www.arcspace.com](http://www.arcspace.com)  
 Boceto : [lgarquitectura.wordpress.com](http://lgarquitectura.wordpress.com)  
 Pag 3.3: Bocetos: ZARDINI.M: Santiago Calatrava. Secret sketchbooks . 2000  
 Pag 3.4 Foto 1: [www.skyscrapercity.com](http://www.skyscrapercity.com)  
 Foto 2: [conflagratio.net](http://conflagratio.net)  
 Foto 3: [www.skyscrapercity.com](http://www.skyscrapercity.com)  
 Foto 4: [www.via-arquitectura.net](http://www.via-arquitectura.net)  
 Foto 5: [www.skyscrapercity.com](http://www.skyscrapercity.com)  
 Foto 6: [www.skyscrapercity.com](http://www.skyscrapercity.com)  
 Pag 3.5 Boceto 1: [www.arcspace.com](http://www.arcspace.com)  
 Foto 1: [www.todoarquitectura.com](http://www.todoarquitectura.com)  
 Foto 2: [dawnaronson.com](http://dawnaronson.com)  
 Boceto 2: [www.arcspace.com](http://www.arcspace.com)  
 Foto 3: [www.epdlp.com](http://www.epdlp.com)  
 Foto 4: [www.wehavenovision.com](http://www.wehavenovision.com)  
 Boceto 3: [www.arcspace.com](http://www.arcspace.com)  
 Foto 5: [www.foroxerbar.com](http://www.foroxerbar.com)  
 Foto 6: [www.foroxerbar.com](http://www.foroxerbar.com)  
 Pag 3.6 Bocetos: ZARDINI.M: Santiago Calatrava. Secret sketchbooks . 2000  
 Foto 1: [www.arquitectura.com](http://www.arquitectura.com)  
 Foto 2: [www.3dsign.es](http://www.3dsign.es)  
 Foto 3: [es.petrophoto.net](http://es.petrophoto.net)  
 Pag 3.7 Bocetos: ZARDINI.M: Santiago Calatrava. Secret sketchbooks . 2000  
 Foto 1: Cristina Marco García  
 Foto 2: [tomatoesfromcanada.blogspot.com](http://tomatoesfromcanada.blogspot.com)  
 Pag 3.8 Foto 1: [www.panoramio.com](http://www.panoramio.com)  
 Foto 2: [blog.darioalvarez.net](http://blog.darioalvarez.net)  
 Foto 3: [www.arqchile.cl](http://www.arqchile.cl)  
 Foto 4: [lacomunidad.elpais.com](http://lacomunidad.elpais.com)  
 Pag 3.9 Foto 1: [www.los-billetes-de-avion.com](http://www.los-billetes-de-avion.com)  
 Foto 2: [www.visitarvalencia.com](http://www.visitarvalencia.com)  
 Foto 3: [www.visitarvalencia.com](http://www.visitarvalencia.com)  
 Pag 3.10 Foto 1: [wikipedia.orange.es](http://wikipedia.orange.es)  
 Foto 2: [www.taringa.net](http://www.taringa.net)  
 Foto 3: [laarquitecturadetushuesos.wordpress.com](http://laarquitecturadetushuesos.wordpress.com)



Imagen portada análisis geométrico:

Imagen portada análisis estructural: FCC

Pag 5.2: Foto 1: [www.lovingcity.com](http://www.lovingcity.com)

Foto 2: FCC

Pag 5.3: Fotos: FCC

Pag 5.3: Fotos: GARCIA BROSETA, F.M. Control de calidad del Museo de la Ciencia y la Tecnología. UPV

Pag 5.5: Foto 1,2 y 3: GARCIA BROSETA, F.M. Control de calidad del Museo de la Ciencia y la Tecnología. UPV

Foto 4 5 y 6: [www.alcor-ingenieria.es](http://www.alcor-ingenieria.es)

Pag 5.11: Fotos: [www.ugescon.es](http://www.ugescon.es)

Pag 5.12 Foto 1: [www.alcor-ingenieria.es](http://www.alcor-ingenieria.es)

Foto 2 y 3: FCC

Pag 5.13: Fotos: FCC

Pg 5.17: Foto 1: DOMINGUEZ MARTINEZ, F. L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas. UPV

Foto 2: [www.lovingcity.com](http://www.lovingcity.com)

Foto 3: [www.lovingcity.com](http://www.lovingcity.com)

Pag 5.19: Foto 1: FCC

Foto 2: [www.lovingcity.com](http://www.lovingcity.com)

Pag 5.20: Foto: DOMINGUEZ MARTINEZ, F. L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas. UPV

Pag 5.22 y 5.21: Imagens: [www.duglass.com](http://www.duglass.com)

Pag 5.25: Foto: DOMINGUEZ MARTINEZ, F. L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas. UPV

Pag 5.26: Foto 1: DOMINGUEZ MARTINEZ, F. L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas. UPV

Fotos 2 y 3: FCC

Pag 5.27, 5.29, 5.30 y 5.31: Fotos: DOMINGUEZ MARTINEZ, F. L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas. UPV

Pag 5.32: Foto 1: DOMINGUEZ MARTINEZ, F. L'hemisferic i el centre de les ciencies: estudio de secuencias constructivas. UPV

Foto 2: [www.arquitectura.com](http://www.arquitectura.com)

Pag 5.32: Foto: Cristina Marco García

Imagen portada análisis estructural: [sobrealencia.com](http://sobrealencia.com)

Pag 6.1: Foto: [www.generadordeprecios.info](http://www.generadordeprecios.info)

Pag 6.2: Fotos: [arteyartificios.blogspot.com](http://arteyartificios.blogspot.com)

Pag 6.3: Foto 1: [katdemorat.blogspot.com](http://katdemorat.blogspot.com)

Foto 2: [www.esacademic.com](http://www.esacademic.com)

Pag 6.7: Fotos: Cristina Marco García

Anexo: Imágenes: [www.skyscrapercity.com](http://www.skyscrapercity.com)

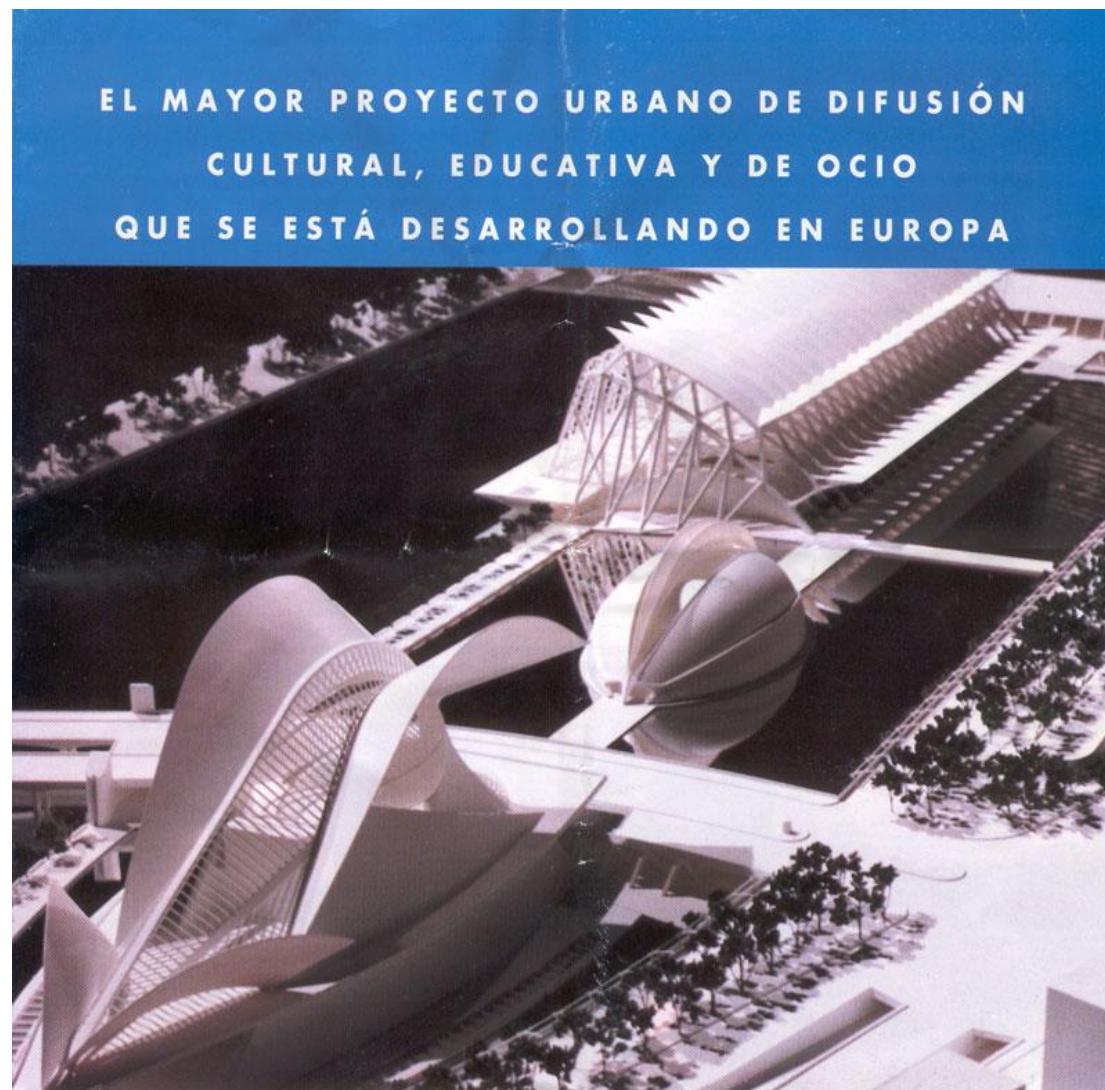


## 9. Anexo

Adjunto un tríptico de propaganda de la primera maqueta de la CAC anterior al inicio de las construcción.

Se pueden ver las variaciones que con el tiempo ha sufrido el proyecto. El Palacio Reina Sofía ha variado en su forma y su función, L'Hemisferic y El Museo

no son exactamente como se proyectaron y L'Umbracle ni siquiera estaba previsto. Como dato curioso se puede leer "El complejo de la Ciudad de las Artes y de las Ciencias, que estará finalizado en tres años,..."



## PALACIO DE LAS ARTES

El **Palacio de las Artes** es un edificio emblemático, de formas singulares y carácter multidisciplinar destinado a la promoción y difusión del arte en todas sus manifestaciones. El diseño del Palacio de las Artes permitirá unificar en un solo edificio todas aquellas actividades que actualmente se encuentran dispersas; profundizar y desarrollar actividades artísticas y culturales, e instaurar nuevas enseñanzas que actualmente no se imparten en nuestra Comunidad.

Las vanguardias, las tradiciones y el patrimonio artístico de nuestra tierra compartirán espacios. Pasado, presente y futuro se armonizan así en este singular edificio, que albergará también nuevos centros de formación artística:

### La primera Escuela de Cinematografía de la Comunidad Valenciana.

En el Palacio de las Artes se destinarán varias salas, talleres y estudios para la enseñanza de todos los aspectos relacionados

con la industria del cine; producción de películas, técnica del guión, montaje y realización.

### El Centro de las Artes Escénicas

Dedicado a la formación teórica y práctica en el arte dramático: interpretación, escenografía, danza, canto...

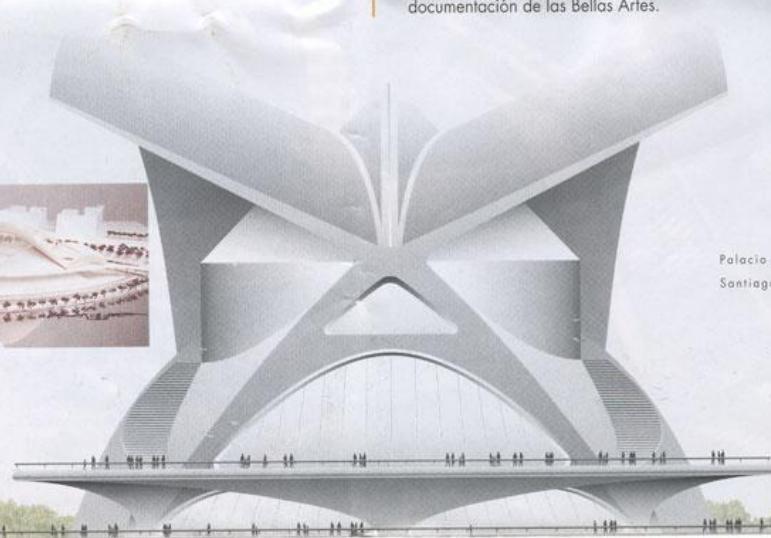
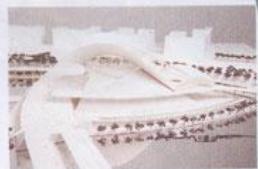
### El Centro Valenciano de la Música

Creado para impulsar las tradicionales bandas de música de la Comunidad Valenciana.

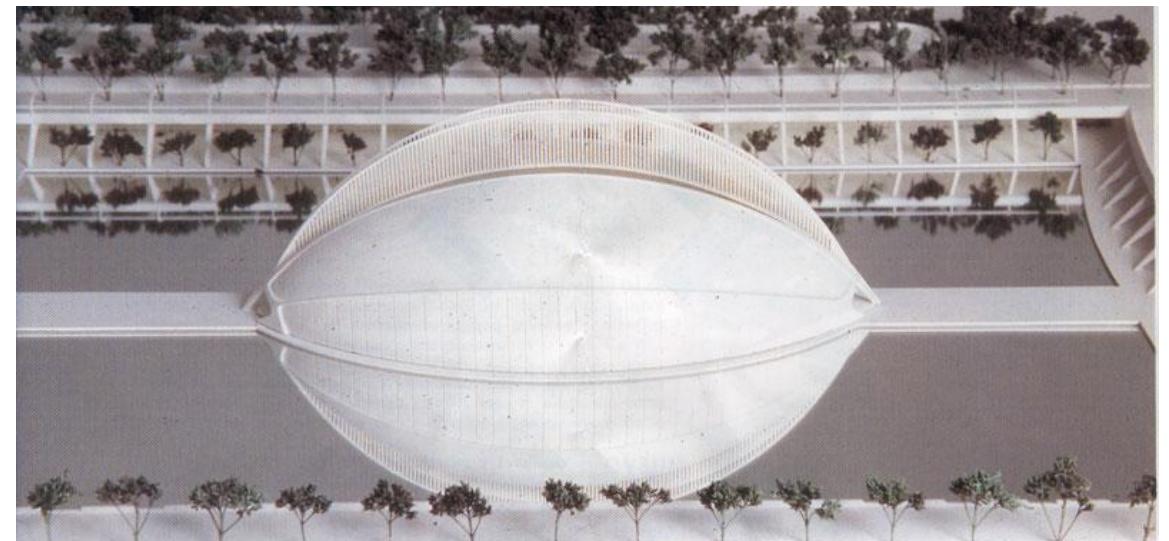
### La Filmoteca Valenciana

Trasladará sus archivos y actividades a este nuevo complejo cultural.

La infraestructura del Palacio de las Artes se completa con salas de exposiciones, auditorios y un gran centro de documentación de las Bellas Artes.



Palacio de las Artes.  
Santiago Calatrava



Cine Planetario L'Hemisfèric. Santiago Calatrava

## CINE PLANETARIO, L'HEMISFERIC

El **Cine Planetario-L'Hemisfèric** es el **segundo edificio de la zona de las Ciencias**. Sus avanzados sistemas de proyección permitirán a los espectadores sentir el poder de las nuevas tecnologías de la imagen: viajar por el espacio y conocer los secretos del Universo, integrarse en las imágenes, "palpar" la tercera dimensión...

En el cine planetario, los agujeros negros, el "big-bang", los meteoritos, los planetas...aparecerán ante el espectador sobre una **pantalla de 24 metros de diámetro y butacas con 30 grados de inclinación**.

Los efectos logrados por un sistema de proyección de láser de última generación aportarán infinidad de variaciones de luz, color y movimiento.

El cine L'Hemisfèric permitirá la **proyección de películas de gran formato, "Omnimax"**, sobre una pantalla gigante hemisférica de 900 metros cuadrados. Los equipos de alta tecnología, las espectaculares dimensiones de la pantalla y los seis canales de sonido estereofónico harán que el espectador se sumerja en la proyección. **El realismo de las películas en 3D (tres dimensiones) también podrá vivirse en el cine hemisférico.**



## MUSEO DE LAS CIENCIAS

El **Museo de las Ciencias** constituye un gran proyecto de divulgación cultural y científica con los objetivos básicos de informar, formar y divertir a todos los ciudadanos. Consta de dos grandes pilares: Un gran complejo museístico y científico y un innovador proyecto educativo, pedagógico y didáctico.

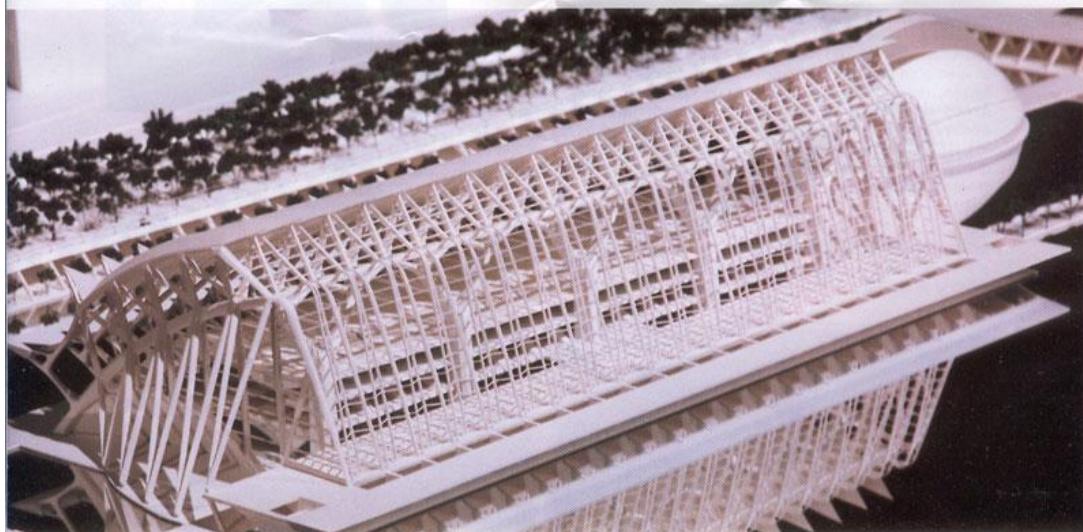
En el **Museo de las Ciencias** estarán presentes muy diversas disciplinas científicas. Las grandes áreas temáticas del presente y del futuro recibirán una atención especial: biología al servicio del hombre, el genoma, el código genético, la predicción de fenómenos naturales, la geología y la estructura del Universo contarán con espacios propios de exposición.

Museo de las Ciencias. Santiago Calatrava

El **Museo de las Ciencias** está concebido como un espacio vivo y abierto a todos, creado para servir de centro emisor de formación, documentación, información y divulgación científica.

Y ésta es precisamente su mayor innovación: la accesibilidad de sus bases documentales e informativas a todos los centros de enseñanza básica y media de la Comunidad Valenciana.

El Gobierno de la Generalitat creará una red que permitirá a alumnos y profesores de cualquier centro de nuestra Comunidad acceder a imágenes y datos del museo mediante las autopistas de información y los sistemas informáticos más avanzados.



## PARQUE OCEANOGRÁFICO UNIVERSAL

El **Parque Oceanográfico Universal** está dedicado a la conservación, estudio y divulgación de la vida marina en todas sus manifestaciones.

El **Parque Oceanográfico Universal** se ha diseñado con el fin de que los humanos nos introduzcamos dentro del hábitat marino para observar la vida en él, no trasladando la vida acuática a espacios terrestres como sucede en los acuarios tradicionales.

Así, el **Parque Oceanográfico Universal** está diseñado como un parque marino en el que se recrea tanto el entorno submarino como terrestre de las zonas costeras de las diversas áreas climáticas de la Tierra.

El **Parque Oceanográfico Universal** se divide principalmente en dos zonas:

**a/ACUARIO** al aire libre, en el que se reproducirán los distintos paisajes marinos de la Tierra.

**b/ZONA RECREACIONAL**, en la que se sitúa el:

•**ÁGORA** (centro del Parque Oceanográfico) que integra un auditorio-delfinario, una fuente cibernética y de juegos de agua, así como un área para proyecciones audiovisuales y otros servicios.

La zona recreacional se completa con un •**Jardín japonés**, piscinas y áreas de juego, un micropuerto, un circuito submarino de observación, una escuela de submarinismo y viveros.

•**EL ARCA**, zona concebida como alojamiento para grupos de escolares que deseen instalarse en el Parque por varios días para desarrollar programas educativos medioambientales.

**RESTAURANTE FLOTANTE SUBMARINO**, en el centro del acuario, que ofrece a los visitantes la posibilidad de contemplar la variedad de especies.

