

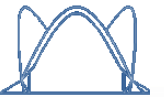


Superficies Arquitectónicas Singulares

PFG Julio2011

Modalidad: Científico Técnico
Grado en Ingeniería en Edificación

CUBIERTA DE ACCESO AL OCEANOGRÁFIC



Índice:

1- INTRODUCCIÓN

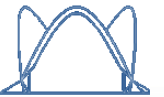
La Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia	1
El Oceanográfico	8
Edificio de Acceso	10
Cubierta Paraboloide Hiperbólico: Edificio de Acceso	12
Memoria fotográfica de Acceso	13
Félix Candela (1910 -1997)	17
Cronología de las obras de Félix Candela	20

2 – ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO

El Paraboloide Hiperbólico para Félix Candela	1
La influencia de Candela de la arquitectura religiosa	3
Inicios del Paraboloide Hiperbólico en la construcción	5
Obras características	6
El cascarón de concreto armado	8
Análisis en el edificio de Acceso	10
Inspiración del arquitecto	11

3 – ANÁLISIS GEOMÉTRICO

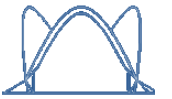
Formación del Paraboloide Hiperbólico	1
Formas geométricas	2
Definición de las generatrices en el edificio de Acceso	3
Definición de bordes	5
Definición de puntos del borde de intradós	7
Definición de aristas	10
Paraboloide Hiperbólico	11
Generación de superficie	12



4- ANÁLISIS ESTRUCTURAL	
Borde Libre	1
Estado tensional de una membrana	8
Diagrama de esfuerzos de un paraboloides hiperbólico	5
Deformada de un paraboloides hiperbólico	6
Forma de trabajo del HYPAR	9
Armaduras de la cubierta	10
Cálculo de cargas	14
El apoyo de la lámina	15
5 – ANÁLISIS CONSTRUCTIVO	
Condiciones de replanteo - Cimbras y encofrados	1
Materiales	9
Armado	10
Hormigonado	11
Ejecución	13
Apoyo de la lámina	16
Cerramiento del edificio	17
Proceso constructivo	19
6 - PLANOS ADJUNTOS	1
7 - MEMORIA DE ILUSTRACIONES	
Ilustraciones	1
8 - CONCLUSIONES	1
9 – BIBLIOGRAFÍA	1

INTRODUCCION:





LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS DE VALENCIA

Desde abril de 1998, Valencia cuenta con un gran espacio sociocultural, siendo de referencia internacional y un símbolo de vanguardismo. Se encuentra junto al antiguo cauce del río Turia, situado entre el centro urbano, el recinto portuario y la autovía del Saler.

La razón por lo que se construye este complejo en el cauce del río, se debe a la inundación del 14 de Octubre de 1957 en la ciudad, donde se decidió desviar el cauce a la periferia y en urbanizar este espacio.

Años antes de poder disfrutar de la maravilla arquitectónica actual, el cauce, sufrió un periodo de transición, con una enorme explanada a lo largo de más de 7 kilómetros y poco cuidada.



1.1 Cauce del río Turia, Valencia 1960

En los años 90, comenzó la construcción de lo que hoy conocemos como la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia, obra promovida por la Generalitat Valenciana, para ello se contó con el arquitecto valenciano Santiago Calatrava Valls, quien en 1994 planteó un diseño innovador que fue aprobado aunque en varias ocasiones se pararon las obras.

El proyecto inicial contaba con una torre de comunicaciones que posteriormente se suprimió del proyecto.

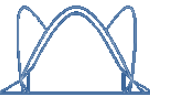
El proyecto final que se decidió construir acoge cuatro grandes áreas que se encuentran integradas en otros edificios de gran relevancia como:

PALACIO DE LAS ARTES: Espacio destinado a la creación y difusión de todas las Artes escénicas que, por su flexibilidad, permitirá una variedad muy amplia de usos culturales.

L'HEMISFÈRIC: Fue el primer elemento abierto al público de la Ciudad de las Artes y las Ciencias donde, por primera vez en España, se puede asistir a la proyección de tres grandes espectáculos sobre la pantalla cóncava de 900 m². Inaugurado en 1998.

MUSEO DE LAS CIENCIAS PRÍNCIPE FELIPE: Construcción de 41.000 m² albergará el Museo de las Ciencias, modelo y referencia internacional de difusión científica. Un museo donde el visitante podrá no sólo ver y tocar, sino sentir, un museo de sensaciones.

L'OCEANOGRÀFIC: Una ciudad submarina que permitirá a los visitantes introducirse en los diferentes hábitats marinos, en cuyo centro se situará el restaurante flotante submarino.



L'HEMISFERIC

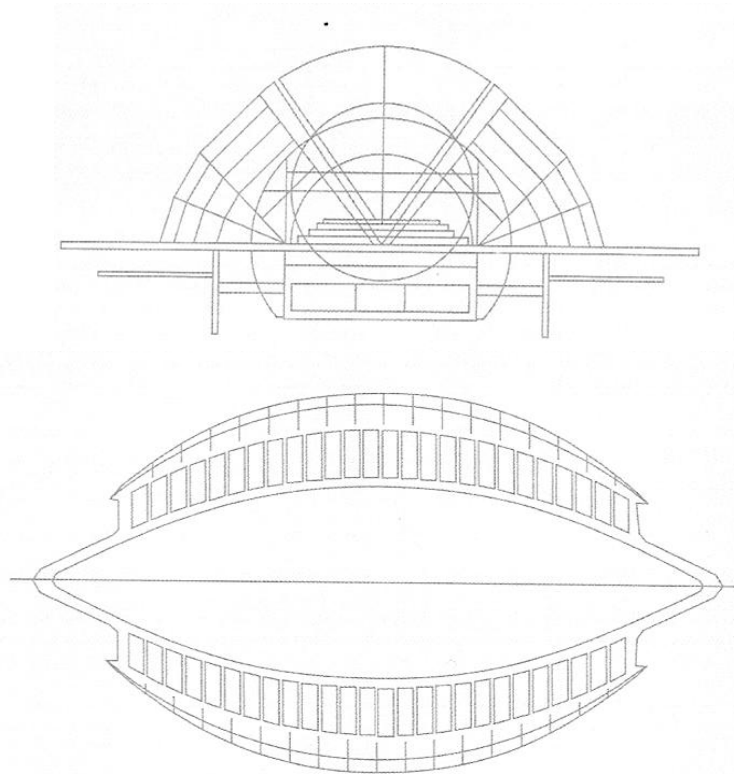
Sup:
14.000m²

60millones €

1994-1998



1.2 Hemisferio, Valencia 1997

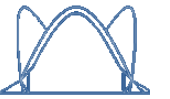


1.3 Hemisferio, Valencia 1999

Singular edificio, diseñado por Santiago Calatrava, representa el “Ojo de la sabiduría”. Después de cinco años en marcha, L’Hemisfèric, fue el primer elemento del complejo que se abrió al público en abril de 1998, contando con más de 4 millones de espectadores. Cuenta con la peculiaridad de tener la única sala de España donde se proyectan, sobre una pantalla cóncava de 900 metros cuadrados, tres espectáculos audiovisuales: representaciones de fenómenos astronómicos en el Planetario, películas en gran formato sistema IMAX y Láser Omniscam de última generación: Laserium.

Tiene una cubierta ovooidal de 100 metros de longitud, en su mayor parte acristalada, cuenta con dos cancelas móviles a ambos lados, que se elevan a modo de párpados articulados, como metáfora de un guiño a la observación y el conocimiento.

La estructura está constituida por una viga curva de sección circular que se mueve mediante gatos hidráulicos y pliega unos perfiles tubulares a los que van anclados paneles de vidrio. Bajo la cubierta hay un espacio público alrededor de la esfera de hormigón revestida de trencadís blanco donde se alberga la sala de proyecciones.



i

MUSEO PRINCIPE FELIPE

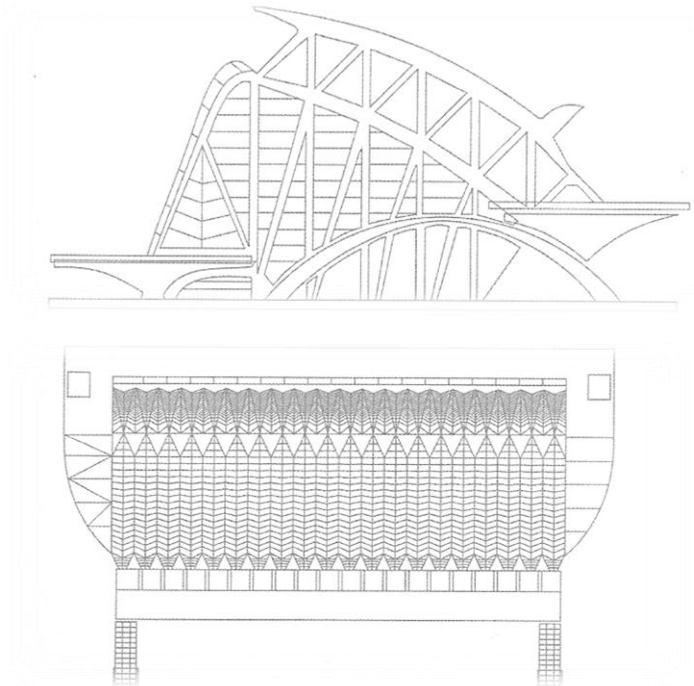
Sup:
12.000m²

40 millones €

1995-1999



1.4 Museo de las Ciencias Príncipe Felipe, Valencia 1997



1.5 Museo de las Ciencias Príncipe Felipe, Valencia 1999

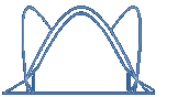
El museo de las Ciencias Príncipe Felipe, edificio repartidos en tres plantas de unos 8.000 metros cuadrados cada una.

El museo facilita el acceso a todo tipo de actividades e iniciativas relacionadas con la evolución de la vida y la divulgación científica y tecnológica. La asombrosa arquitectura diseñada por Santiago Calatrava se hallan al servicio de la cultura científica.

Parte de sus contenidos son abiertos al público, exhibiéndose o llevándose a cabo en las zonas de libre acceso: las magníficas Calle Menos y Calle Mayor, los voladizo, los paseos junto a sus estanques...

Su objetivo final es claro: mejorar el nivel cultural de la población que lo visita, provocando la reflexión y reactivando la capacidad crítica.

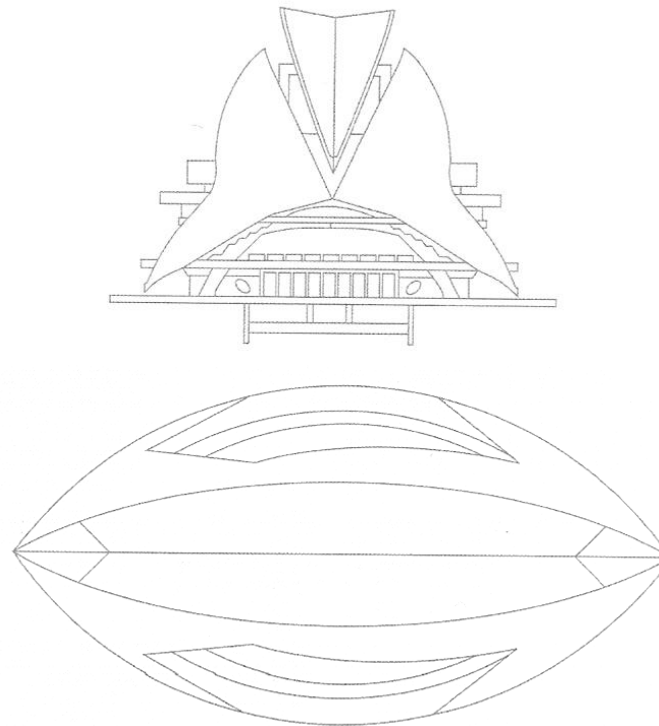
La particularidad principal de la programación del museo estriba en que no es permanente, sino que renueva periódicamente sus contenidos, los cuales tienen la misión de representar en cada momento las exposiciones más modernas sobre diversos aspectos de la ciencia y la tecnología.



PALACIO DE LAS ARTES

Sup:
40.000m²330millones
€

2000-2005



1.6 Palacio de las artes construcción



1.7 Palacio de las artes finalizado

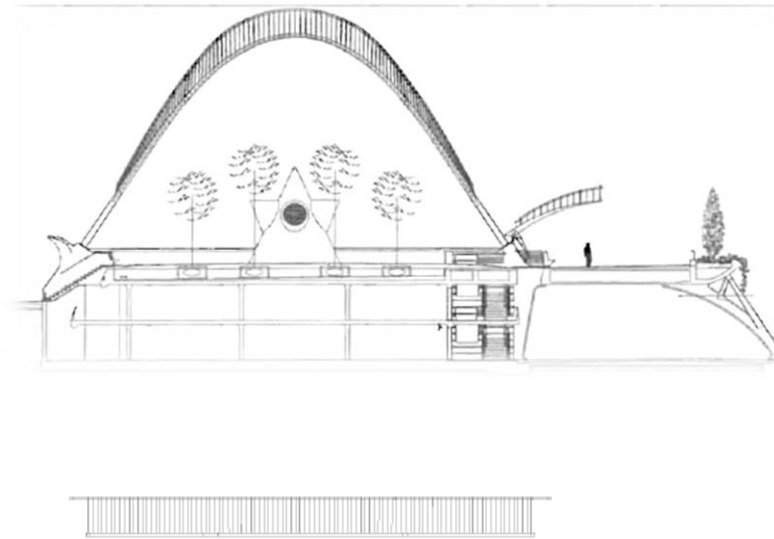
El Palacio de las Artes es un monumental edificio de diseño u formas singulares proyectado por Santiago Calatrava. Su altura supera los 75 metros, por su gran superficie cuenta como uno de los operadores culturales más importantes del mundo, dentro del circuito internacional de las artes escénicas.

Su estructura arquitectónica cuenta con plataformas en voladizo a diferentes alturas, con paseos y vegetación, ascensores panorámicos y escaleras. El contraste entre la opacidad de las cascaras metálicas laterales y la transparencia de los vastos espacios acristalados del auditorio superior y el restaurantes dinamiza la percepción de los espacios. Una estructura metálica plumiforme que arranca de pílono de hormigón armado al oeste del edificio y, con un núcleo de apoyo sobre la caja escénica, sobrevuela el conjunto 100 metros por encima del auditorio superior, en un claro gesto artístico que trasciende su contenido hacia el exterior.

Los objetivos de este proyecto eran: Posicionar un enclave vanguardista que albergue toda clase de actividades escénicas y contribuir a la difusión de diversas manifestaciones artísticas y culturales, como la música, la danza o el teatro.



i



L'Umbracle es el pórtico monumental de acceso a la Ciudad de las Artes y las Ciencias. Situado en la fachada sur del complejo, junto a la autovía de El Saler y con unas dimensiones de 320 metros de longitud y 60 metros de anchura, supone una novedosa solución para concertar las necesidades de aparcamiento del complejo con la estética imperante en el conjunto. Es un paseo mirado conformado por una sucesión de 55 arcos fijos u 54 arcos flotantes de 18 metros de altura. Sobre ellos crecen plantas enredaderas, dotándole del aspecto de "Winter Garden".

Aloja en su interior capacidad para 900 vehículos y 20 autobuses repartidos en dos planas. En la parte superior se encuentra el "Paseo de las Esculturas", es una galería al aire libre con nueve esculturas de autores contemporáneos, con un jardín central arbolado, poblado de especies autóctonas que cambian de formas y colores, creando microambientes en su agradable recorrido. La distribución esmerada de las flores proporcionan una delicada armonía cromática. Desde el balcón situado en el lado norte se disfruta de una magnífica panorámica de la Ciudad de las Artes y las Ciencias.

L'UMBRACLE

Sup:
17.500m²

1.6 millones €

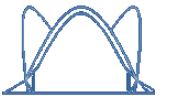
1998-2000



1.8 Vista general de L'Umbracle



1.9 L'Umbracle



EL ÁGORA

Sup:
5.000m²

60millones €

2007-2011



1.10 Construcción del Ágora



1.11 Ágora finalizado

El Ágora es una gran plaza cubierta diseñada por Santiago Calatrava situada en el complejo de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia, entre el puente de l'Assut de l'Or y el L'Oceanografic. Ha sido el último edificio en terminar de construir, aunque se inauguró sin estar terminado en noviembre del 2009 con el torneo del Open 500 (ATP World Tour 500) de tenis de la Comunidad Valenciana. Tras el torneo de Tenis aun se realizaron trabajos durante más de 12 meses hasta estar todo el complejo finalizado, esto es debido a la compleja instalación de las "alas" en la parte superior del complejo.

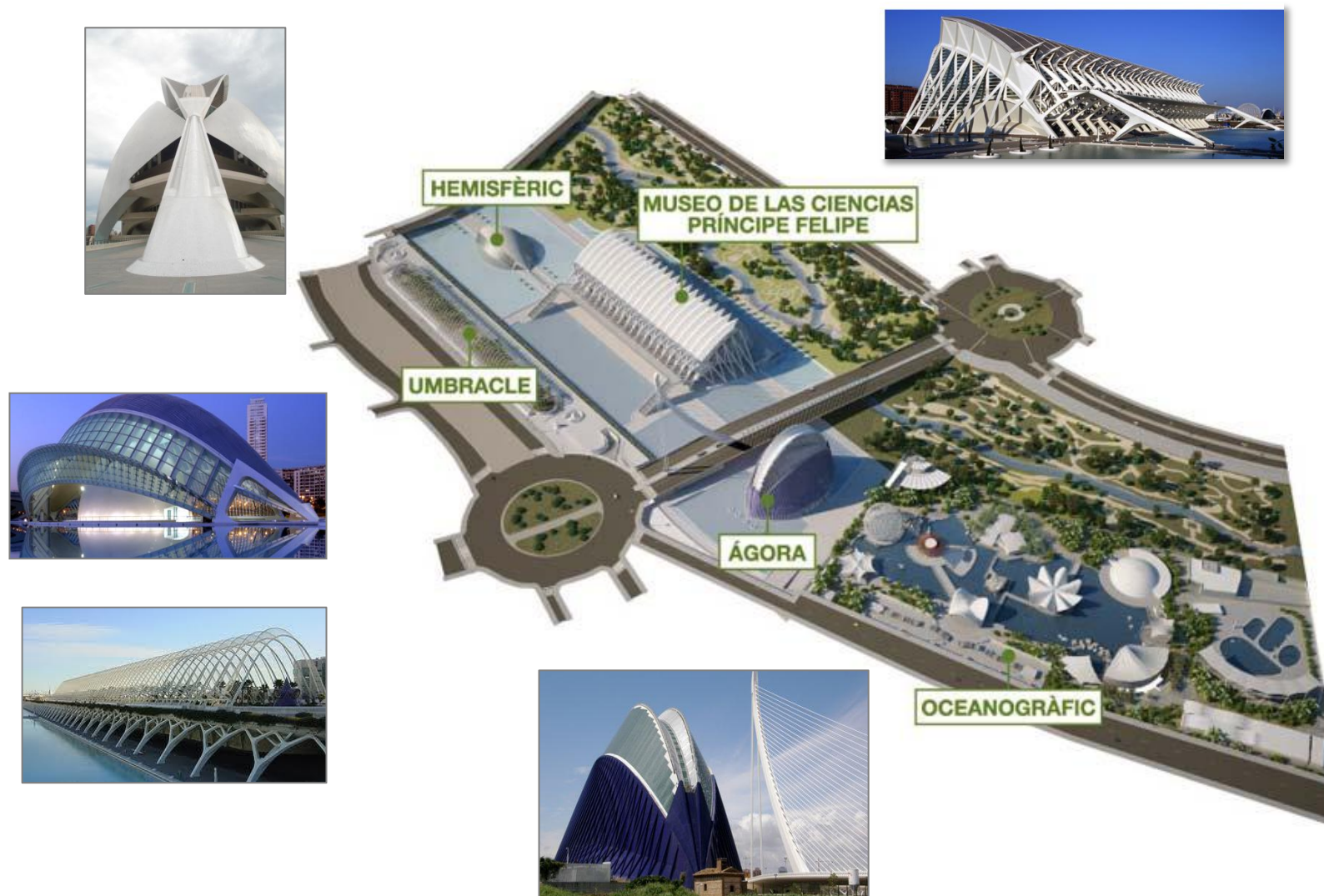
Su estructura es metálica y estará revestida de trencadís azul valenciano y cristal. Tendrá una altura de 80 metros y ocupará una superficie elíptica de 5.000 metros cuadrados.

Su forma recuerda, según el propio arquitecto, a dos manos entrelazadas pues en el proyecto inicial iba el Ágora constaba en su parte superior de unas alas (los dedos en el símil de las manos) que permitirán filtrar la cantidad de luz que entrará en su interior.

Calatrava sorprende con su arquitectura a el mundo con este impresionante edificio en el que sus formas circulares ya terminadas y sus dimensiones son objeto de admiración de todas las personas que pasean por la zona.



Tanto el complejo del Oceanográfico (diseñado por Félix Candela), como el edificio Reina Sofía, el puente L'Assut de L'Or y el Ágora se fue construyendo mas tarde, pues no contaban en el proyecto inicial definitivo.



1.12 Vista aérea 1997

Por otra parte y de manera complementaria, la gran capacidad de convocatoria y la imagen potente de futuro que proyecta la Ciudad de las Artes y las Ciencias son las principales ventajas para acoger eventos de grandes empresas y multinacionales que quieran identificarse con su proyecto, siendo así una fuente de riqueza a nivel turístico y empresarial para la ciudad.



EL OCEANOGRÁFICO

Valencia y el mar habían estado mucho tiempo viviendo al lado, pero separados por una extraña barrera que les obligaba a vivir su vidas, es por eso que Mariano García Montes, consciente del divorcio entre la ciudad y el mar; uniera Valencia y el Mar de una manera distinta y para siempre.

Del parque oceanográfico no podía desmerecer a sus edificios vecinos, pues debía ser atractivo para los visitantes ya que se trataba de un elemento rentable. No se trataba de ofrecer un acuario ligeramente mayor que los habituales, sino de crear el Oceanario del S.XXI; un lugar de encuentro con la vida submarina en el que se pudiera ver y tocar. Con delfines y orcas a los que fuera posible acariciar con sales y elementos interactivos de todo tipo.

Uno de los objetivos era la construcción con la pretensión de restar esa solemnidad que habitualmente existe en todos los museos.

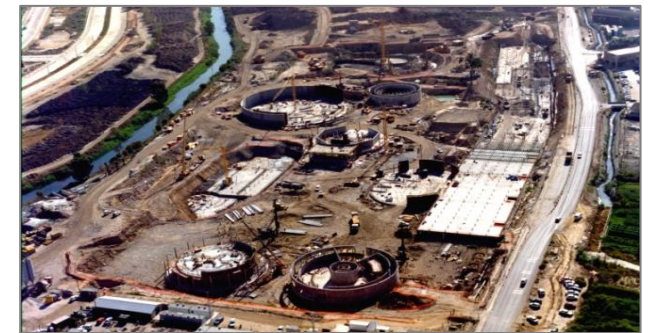
El “padre” de tal obra fue Félix Candela, arquitecto español exiliado a México tras la guerra civil. El oceanográfico de Valencia fue el último proyecto que realizó antes de su fallecimiento, en el que tan sólo presentó una serie de bocetos y planos de lo que más tarde sería el gran acuario de la ciudad.

La empresa FCC junto la Universidad Politécnica de Valencia fueron las encargados de sacar el proyecto adelante con un largo y complicado proceso de cálculo y el sistema constructivo que lleva consigo este tipo de construcción .



1.16 Santiago Calatrava con Félix Candela

El parque ocupa una superficie de 120.000m², de los cuales 100.000m² están construidos, edificado en dos niveles. El inferior subterráneo alberga la mayor parte de los acuarios zonas de servicio. El superior (en el aire libre) destinado a actividades propias del parque como el restaurante, el acceso, zona ajardinada y algunas atracciones al aire libre como son el delfinario entre otras.



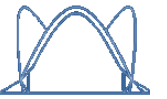
1.13 Construcción Oceanográfico , Valencia, 1998



1.14 Construcción Oceanográfico, Valencia, 2000



1.15 Construcción Oceanográfico, Valencia, 2002



1.4 Museo de las Ciencias Principe Felipe, Valencia 1997

Se han construido 19 edificios, distribuidos de la siguiente manera:

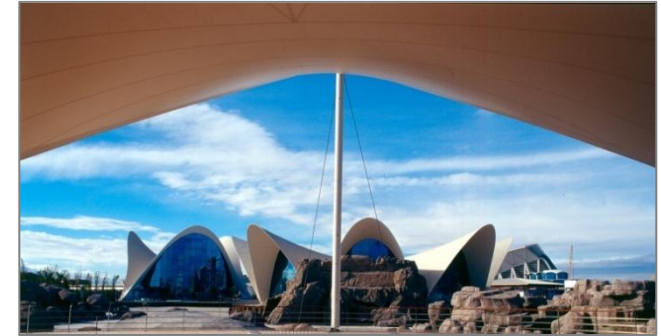
1. Edificio de acceso
2. Mar Mediterráneo
3. Las Aguas Continentales
4. Los mares tropicales y templados
5. Los océanos
6. Restaurante submarino
7. Sala interactiva (Mar Rojo)
8. Mares árticos
9. Mares antárticos
10. Isla de los leones marinos
11. Delfinario
12. Restaurante Steak House
13. Restaurante Pizzería
14. Restaurante self-service
15. Restaurante hamburguesería
16. Edificio de oficinas
17. Edificio educativo
18. Nave de servicios
19. Aparcamiento

Los edificios se han dispuesto alrededor de un lago, con una lámina de agua de 80cm, bajo el cual está situada la nave de servicios con más de 20000m² donde están las instalaciones generales del parque.

Los 44 millones de litros de agua que se distribuyen en los distintos acuarios del parque, lo convierten en uno de los mayores parques oceanográficos del mundo, pues de alguna manera se intentaba representar los diferentes fondos marinos del planeta.

Todas las tematizaciones de cada uno de los escenarios, se ha teniendo en cuenta el no tratar con materiales tóxicos que puedan perjudicar la vida animal.

Es importante señalar la acción erosiva que ejerce el agua marina sobre el armado de las estructuras de hormigón, el propio cemento, puede producir la contaminación de las aguas además del deterioro del parque. Como solución a éste problema se usó un sistema de acrílicos, que facilita las formas curvas y el aumento de las cristaleras. (Muy usado en la industria naval y aeroespacial).



1.17 Edificio de acceso y restaurante



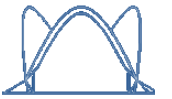
1.18 Auditorio y mar rojo



1.19 Sala oval



1.20 Túnel interior del mar tropical

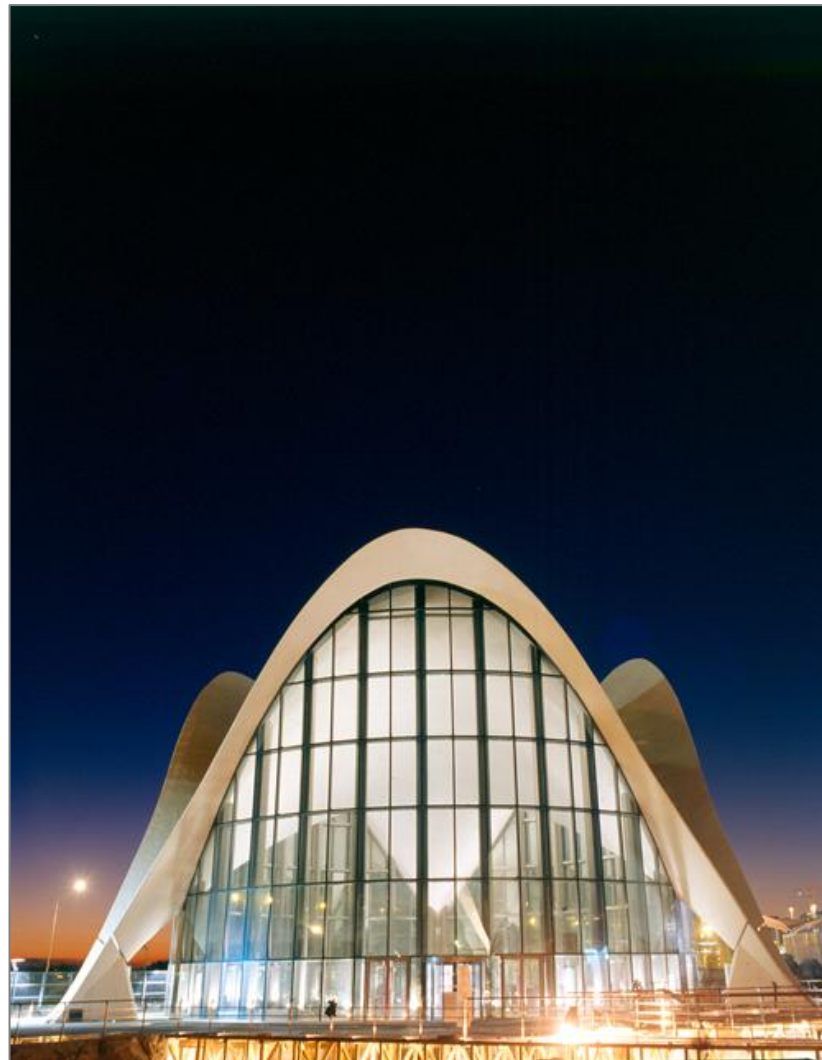


EDIFICIO DE ACCESO

De los edificios construidos en el parque del Oceanográfico de Valencia, merece especialmente destacar el Restaurante y el edificio del Acceso, diseñados por el arquitecto Félix Candela.

El procedimiento utilizado se aplica a cubiertas realizadas con una lámina de hormigón armado en paraboloides hiperbólicos, en el caso del Restaurante consistiría en 8 lóbulos, igual al restaurante Los Manantiales en Xochimilco, México, que hizo Félix Candela en 1957. La cubierta de Xochimilco, tenía una luz entre apoyos de 33m y la del Parque del Oceanográfico es de 35.5 m. Es por tanto un proyecto de Candela rehecho 43 años después.

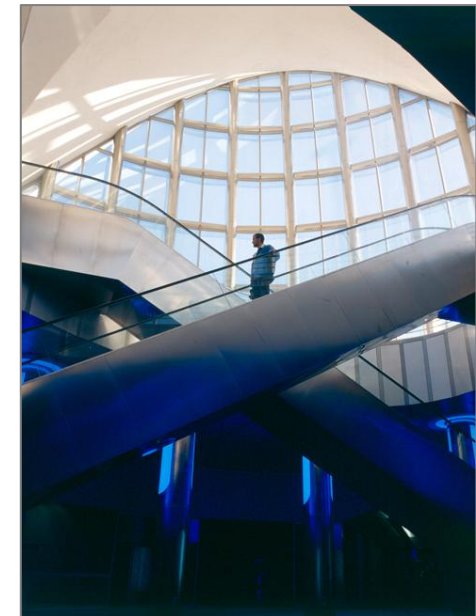
En el caso del edificio del Acceso, se trata de 3 lóbulos en paraboloides hiperbólicos similar al cascarón del Jardín Botánico de Oslo en 1962 el diseño de la cubierta del Casino de Puerto Rico en 1963.



1.21 Edificio de acceso

El edificio del es una espectacular construcción circular con paredes de cristal, donde se encuentran los puntos de información, tiendas y todos los servicios generales que pueda necesitar el visitante.

El edificio de Acceso está construido de hormigón armado, con un espesor de lámina de hormigón blanco proyectado de 12 cm y canto variable en las zonas de los nervios, hasta llegar a un canto mínimo de 4cm.



1.22 Interior del E. de acceso

Los arcos descritos por sus bordes son muy apuntados y las pendientes en las zonas de enclave muy elevadas, alcanzando una altura de 20.5 metros.

Las estructuras se apoyan en pilares mediante rótulas, las cuales transmiten los esfuerzos al terreno a través de pilares, encepados y pilotes



3 Humedales (pajarera)



2 Mar Mediterráneo



4 Restaurante



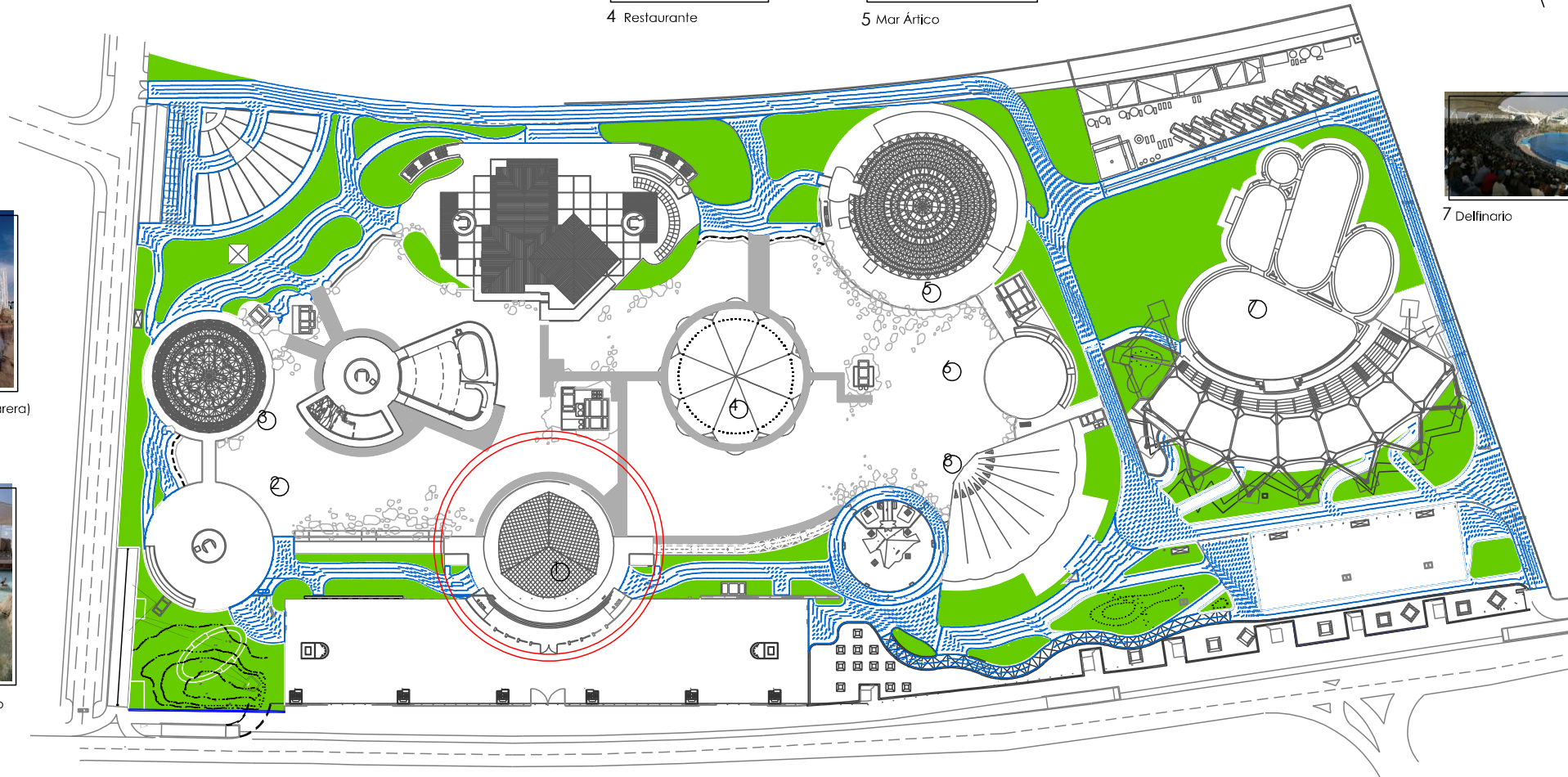
5 Mar Ártico



6 Restaurante



7 Delfinario



1 Edificio de Acceso
(EDIFICIO A ESTUDIAR)



8 Mar Rojo (Auditorio)

Plano del Parque oceanográfico de Valencia E 1:100



CUBIERTA PARABOLOIDE HIPERBÓLICO: EDIFICIO DE ACCESO

Ubicada en el Edificio de Acceso, recibe al visitante. Está formada por tres lóbulos y de gran altura.

El intradós de la lámina está formada por tres paraboloides hiperbólicos idénticos en el eje vertical girados 120 grados. Las intersecciones entre ellos forman los nervios interiores. El borde libre de cada lóbulo se forma con la intersección con un plano inclinado $69,20^\circ$ con el plano horizontal.

El paraboloides hiperbólico es una superficie reglada. Las líneas rectas que incluye su superficie se denominan generatrices. Por el vértice intersección de los tres HYPAR pasan las generatrices horizontales que forman entre ellas un ángulo de $82,12^\circ$. La distancia entre apoyos es de 29,28 m.

Al tratarse de superficies regladas su encofrado se genera colocando tablas rectas en la dirección de una de las familias de generatrices.

La armadura se coloca en dos capas, en las dos direcciones de las parábolas.

La estructura auxiliar del cerramiento de los lóbulos se ha solucionado con un muro cortina (Perfiles IPE apoyados mediante rótulas en su base, y anclados en el borde superior en la lámina), se han dispuesto de ésta manera para que colaboren con la cubierta a efectos de adaptar el proyecto original e innovador a la normativa vigente.



1.23 Inicio de encofrado



1.24 Inicio de hormigonado



1.25 Finalización de hormigonado



i

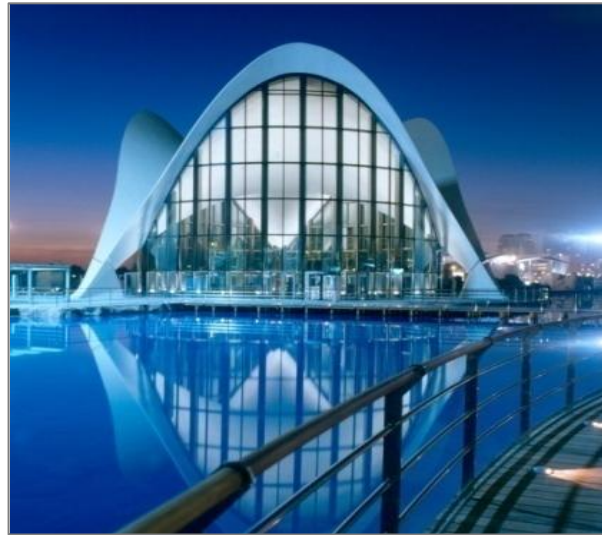
MEMORIA FOTOGRÁFICA DEL EDIFICIO ACCESO



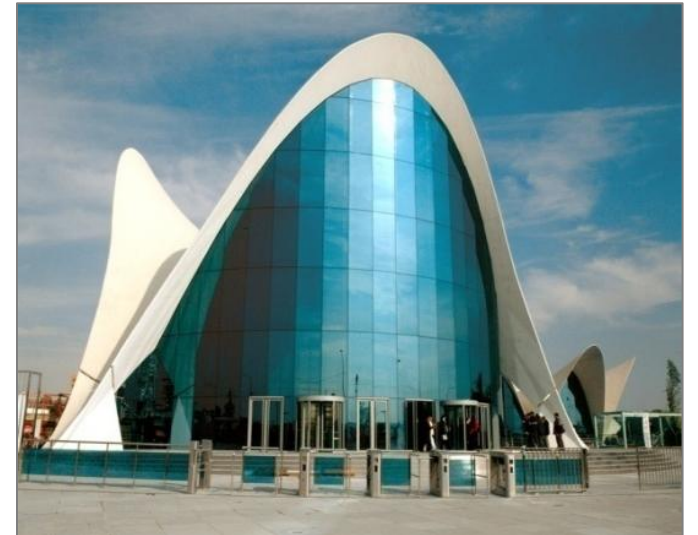
1.26 Estructura auxiliar de cerramiento



1.27 Ejecución del muro cortina



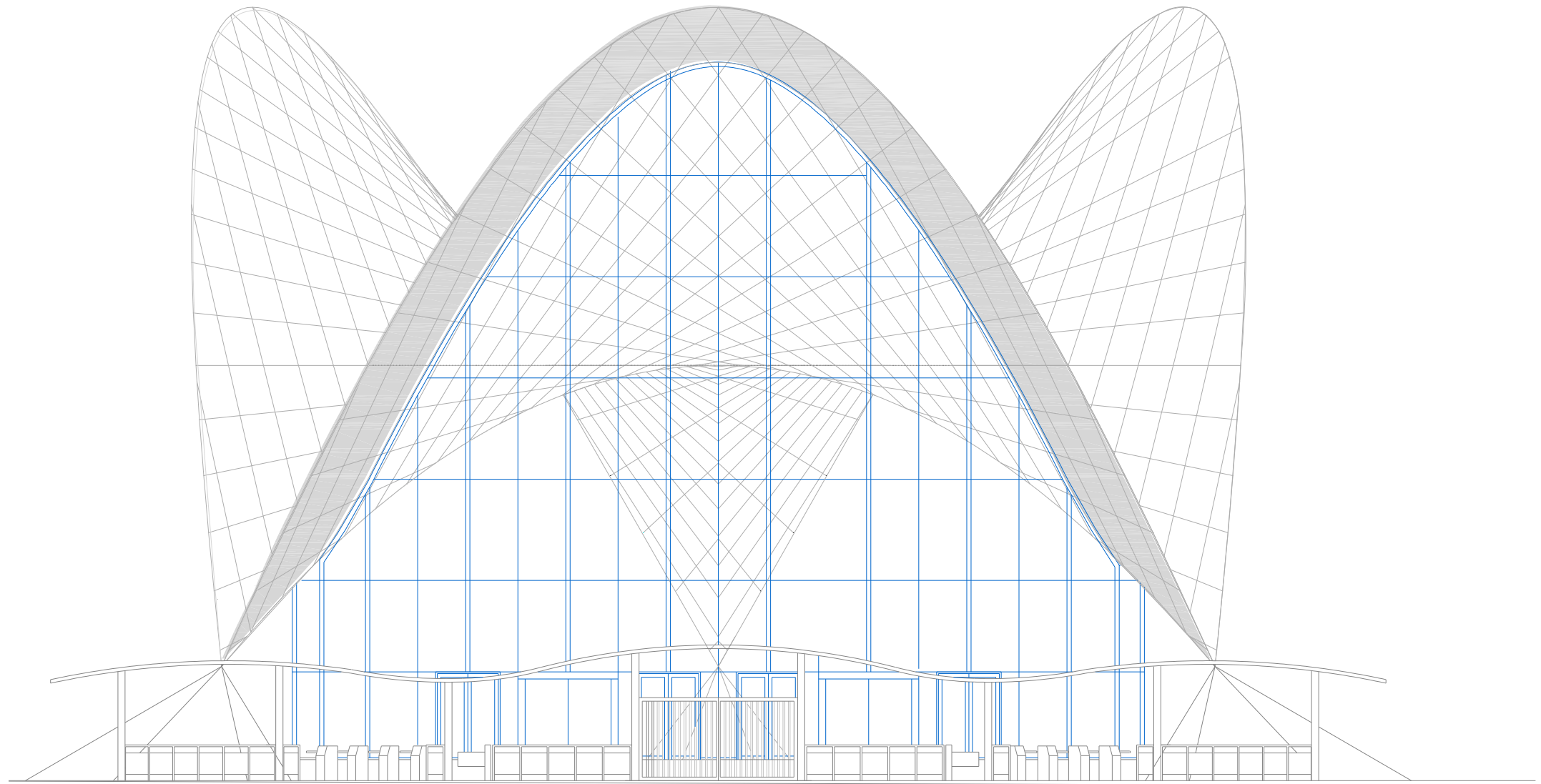
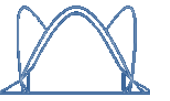
1.28 Entorno del edificio de acceso



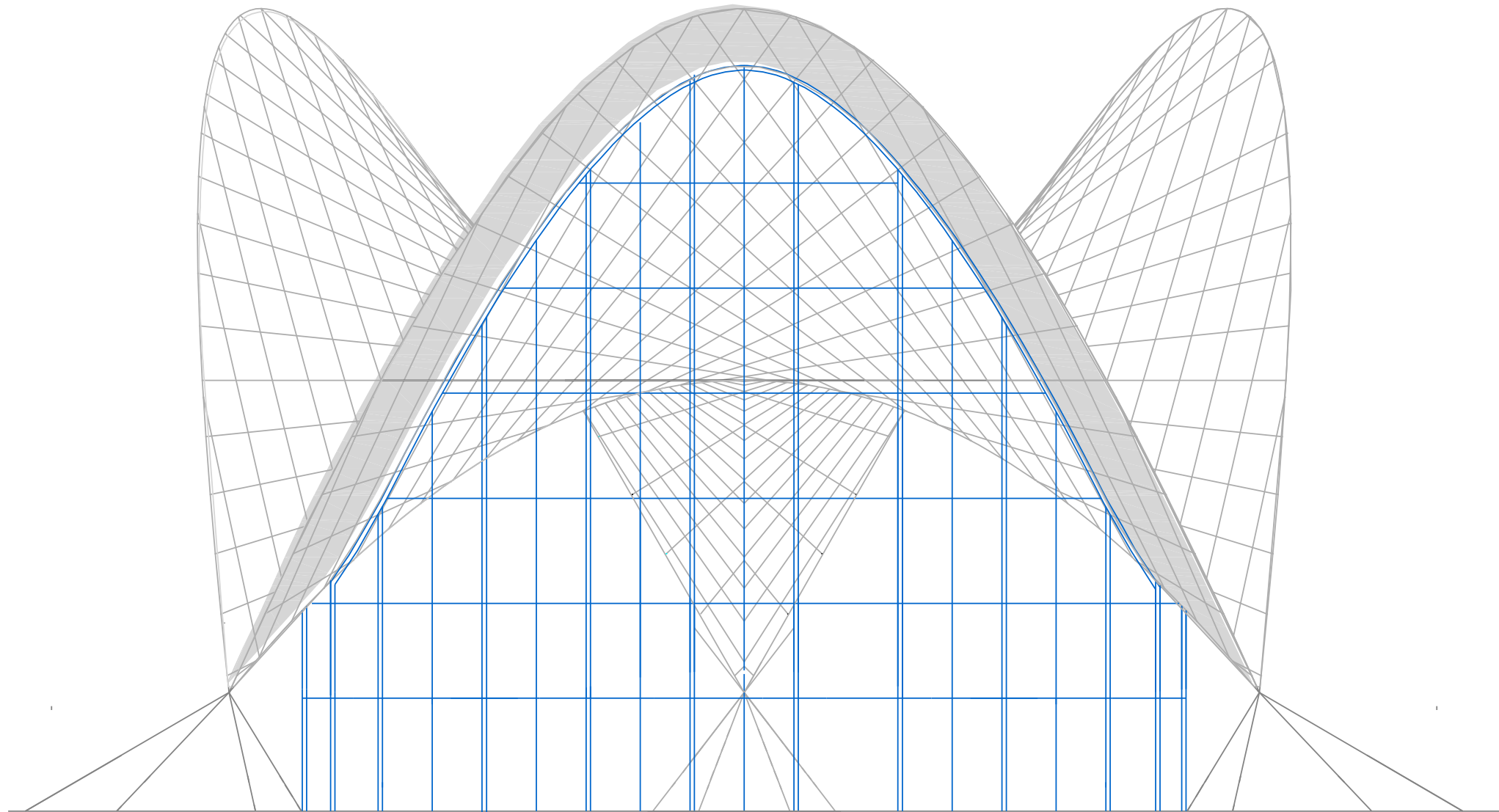
1.29 Entrada principal edificio acceso



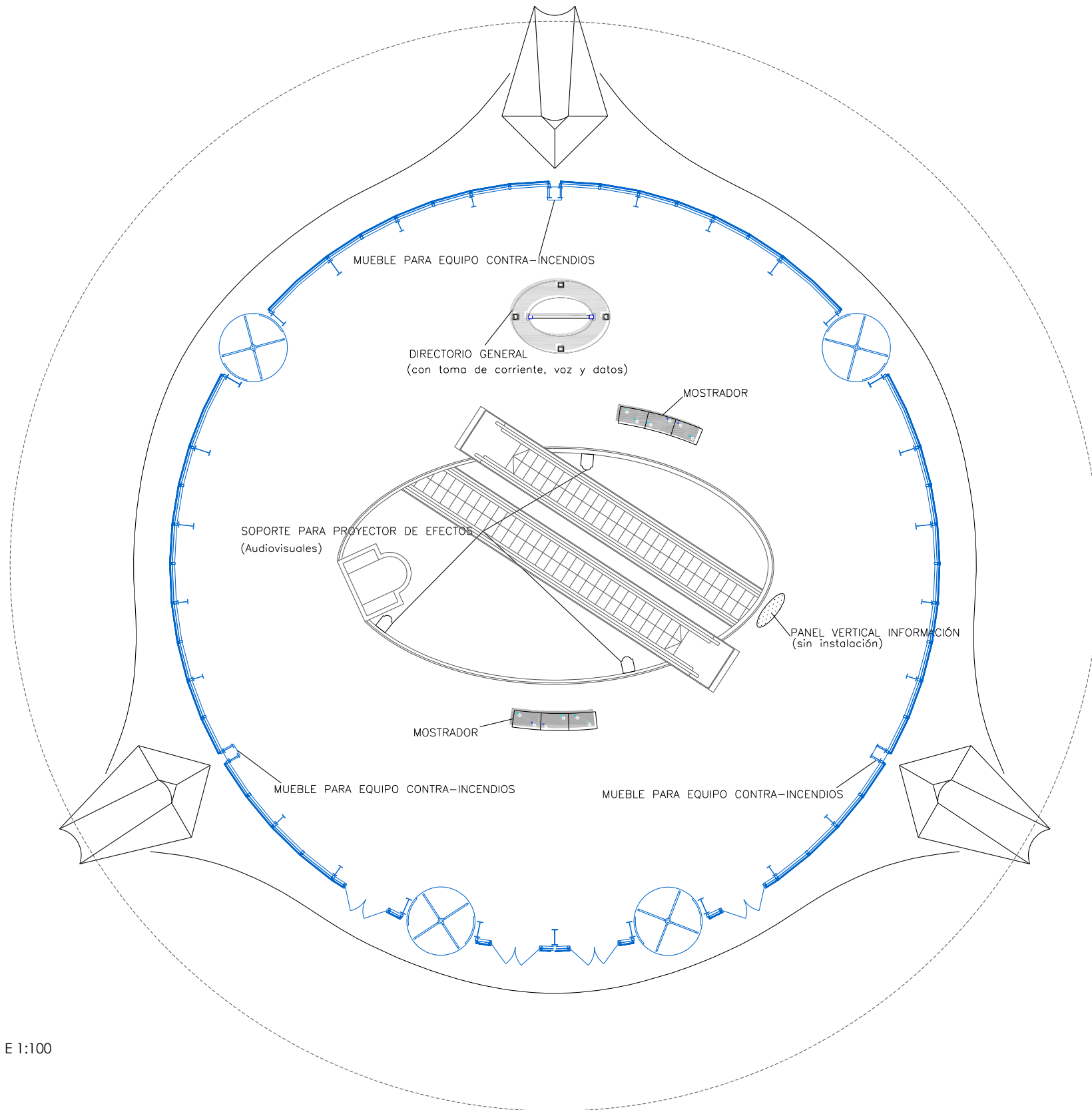
1.30 Cubierta del edificio de acceso



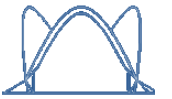
Alzado fachada principal edificio Acceso E 1:100



Alzado fachada edificio Acceso E 1:100



Planta nivel 0 Edificio de Acceso E 1:100



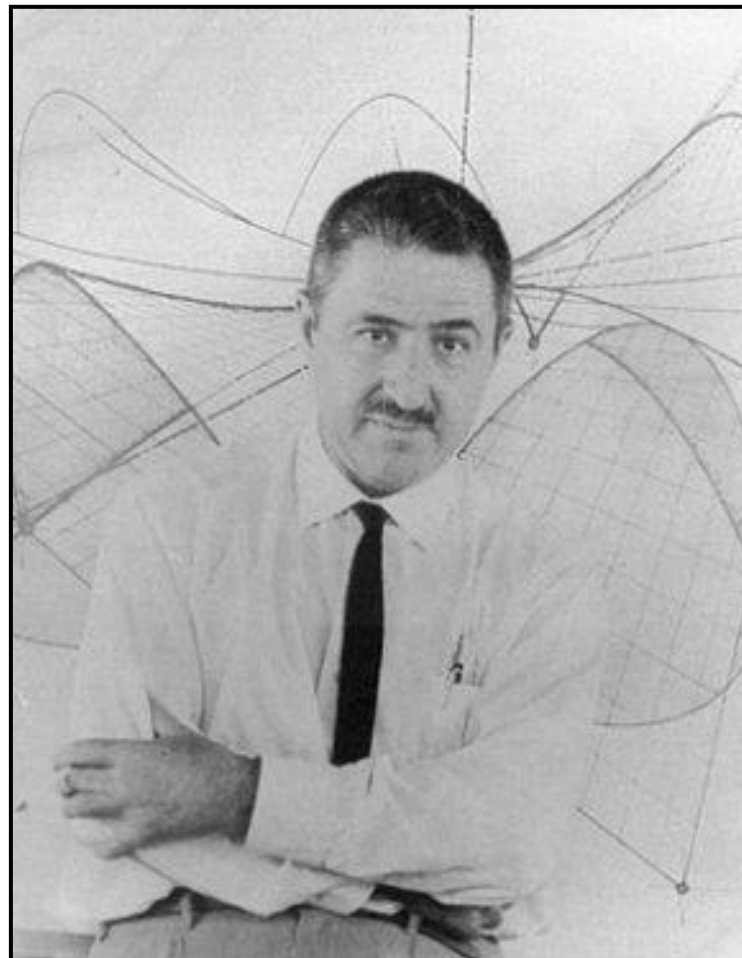
FELIX CANDELA (1910-1997)

Félix Candela Outeriño, nace en Madrid en 1910, dejó huella en la arquitectura del siglo XX. con las estructuras laminares de hormigón armado, conocidas popularmente como cascarones.

Se le considera un precursor de la arquitectura sostenible por su compromiso de realizar obras económicas, duraderas y bellas.

Su experiencia se expandió por el mundo y aun hoy podemos encontrarla en la expresión formal de algunos arquitectos contemporáneos.

Por avatares del destino, su vida se divide en tres periodos de duración similar (alrededor de treinta años cada uno) en los que residió en tres países distintos con sus respectivas nacionalidades. Cada periodo puede identificarse con su trayectoria vital.



1.30 Félix Candela

• Primer periodo (1910 – 1939)

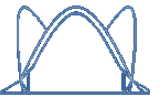
Su infancia y juventud transcurrieron en España, desde pequeño se aficiona al excursionismo, fue un destacado deportista, ganando campeonatos en su época universitaria de esquí y rugby.

En 1927 ingresó en la E.T.S. de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, terminando la carrera en 1935. Continuó sus estudios en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Por entonces conoció a Eduardo Torroja y sus técnicas de uso de cubiertas de hormigón.



1.31 Félix Candela

Por su tesis doctoral recibió una beca de la Academia en 1936 para ir a ampliar estudios en Alemania, pero el estallido de la Guerra Civil se lo impide. Formó parte del Ejército Popular Republicano como capitán de ingenieros. Participo en la ofensiva del Ebro y acabó cruzando los Pirineos buscando refugio en Francia, el 13 de junio de 1939 se exilia en México a bordo del Sinaia y desembarca en Veracruz dispuesto a comenzar una nueva etapa.



- *Segundo periodo (1939 – 1970)*

Se dice que en México se desarrolló su <<segunda vida>>, tras una década de dificultades, forma la empresa “Cubiertas Ala S.A.” de la cual fue presidente hasta 1969. Con esta empresa y sus filiales fuera de México construyó más de 850 estructuras con el sistema de superficies regladas (*hypars*).

Todo esto fue gracias a la arquitectura de las estructuras laminares de hormigón armado, (conocidas popularmente como cascarones) que había estudiado en Europa y se convierte en un constructor de éxito.

Es en México donde vivió su apogeo profesional y su plenitud creadora, el clímax de su obra se produce cuando levanta las inspiradas cubiertas de la capilla El Altílo, el Restaurante los Manantiales, la capilla de Palmira o la planta embotelladora Bacardi, su última gran obra en México fue el Palacio para las Olimpiadas.

- *Tercer periodo (1971 – 1997)*

A principios de los setenta, en medio de una crisis personal y profesional, decidió cambiar su residencia a Estados Unidos como profesor en la Universidad de Illinois, se centra entonces en la docencia y la consultoría para grandes estudios de arquitectura, pero no volvió a construir.

Regresó por primera vez a España en 1969, a partir de 1975, una vez muerto Francisco Franco, sus visitas eran más frecuentes.

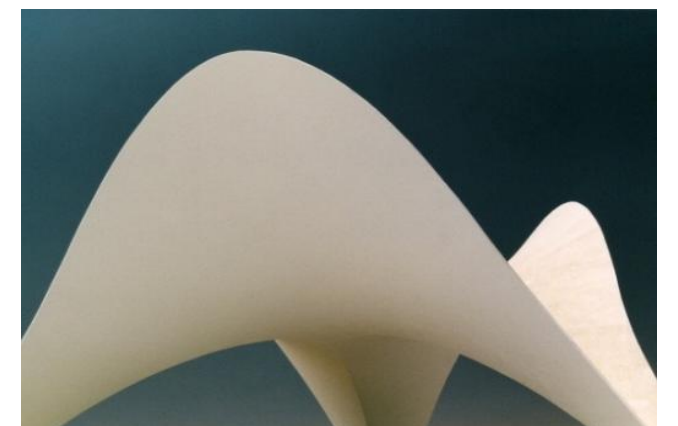
Félix Candela murió en Raleigh, Carolina del Norte, cuando se encontraba inmerso en la construcción de su último proyecto, el Oceanográfico de la Ciudad de las Artes y las ciencias en Valencia, lo que sería el colofón de una brillante carrera.



1.32 Edificio de mares árticos



1.33 Edificio de las aguas continentales



1.34 Cubierta del restaurante submarino



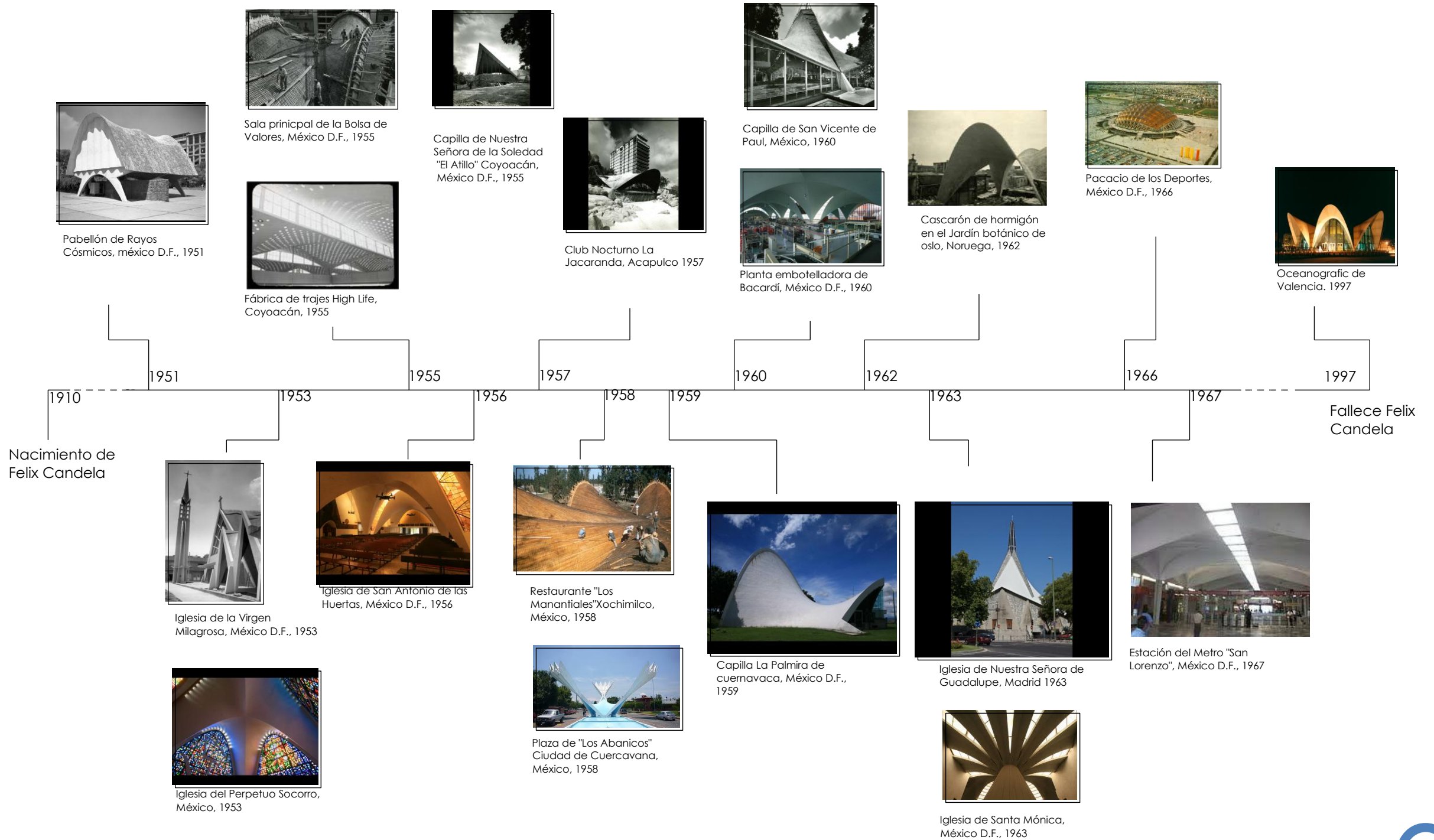
<< Como por arte de magia, he conseguido meterme en el grupo de los Santones de la arquitectura moderna, y puedes permitirte el lujo de teorizar, filosofar y de que todas las tonterías que se te ocurran, se consideren como santa palabra>>

FELIX CANDELA

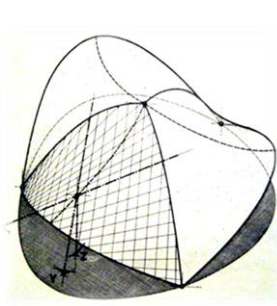
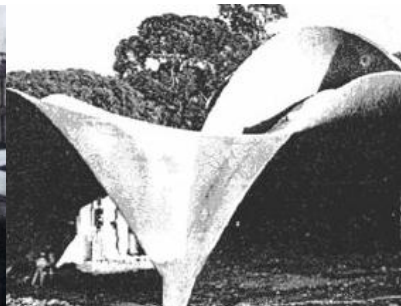


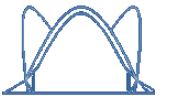
1.34 Félix Candela

CRONOLOGÍA DE LAS OBRAS DE FELIX CANDELA



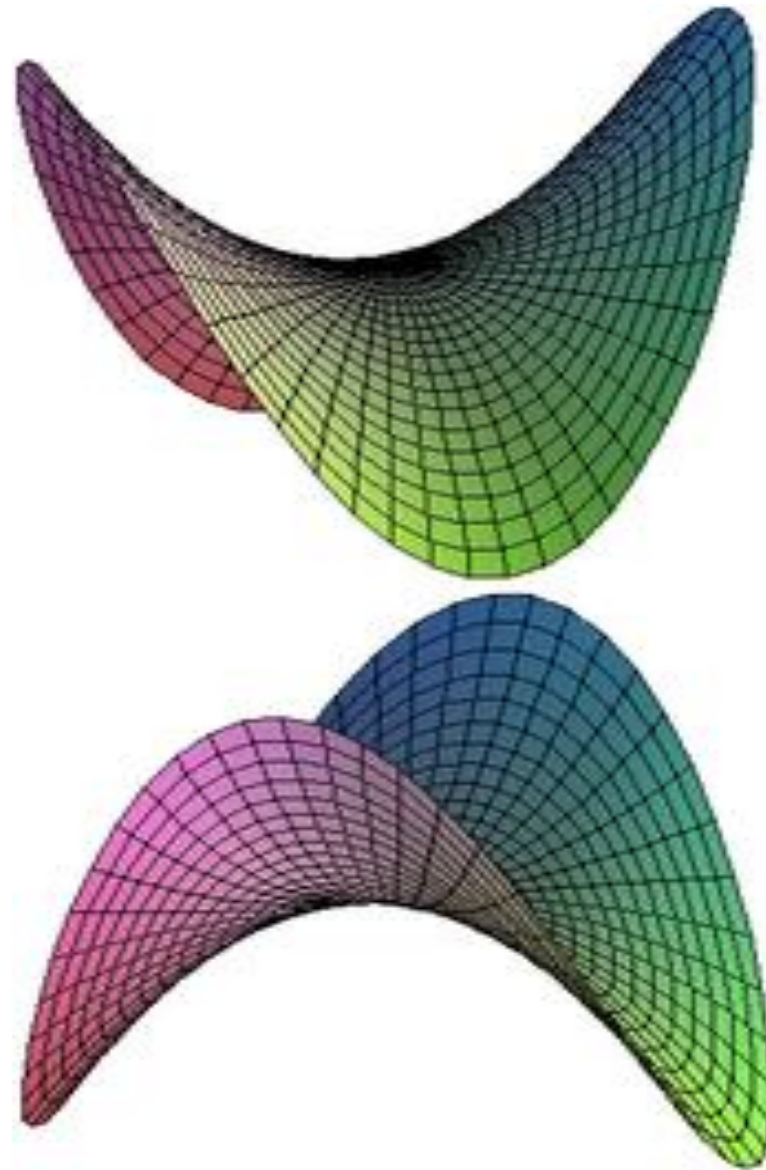
A NÁLISIS ARQUITECTÓNICO:





EL PARABOLOIDE HIPERBÓLICO PARA FELIX CANDELA

Conviene hacer mención del repertorio geométrico de Félix Candela. El punto de partida son las figuras geométricas con trazos curvos que se crean de la intersección de un plano con el cuerpo de un cono: parábola, hipérbola y elipse. Lo segundo es el paso de estas figuras hacia la tercera dimensión, dando lugar al paraboloides, el hiperboloides y el elipsoide (grupo de las cuadráticas). El tercer paso es la intersección de estas superficies con planos y la consecuente generación de estas formas, cuya complejidad va en



2.1 Paraboloides hiperbólico

aumento a medida que evolucionan sus diferentes giros e intersecciones. La más conocida es el paraboloides hiperbólico, denominado (hypar) que es el resultado de la traslación de una parábola (generatriz) sobre otra (directriz), con concavidades en direcciones contrarias y cuyo resultado final es una figura semejante a la de una “silla de montar”.

Cuando Candela se interesó por las superficies continuas moldeadas con hormigón, todas estas figuras ya existían en definición; pero él hizo posible la construcción, inventando “la ecuación de segundo grado más simple posible” y variando el espesor del hormigón y la cantidad de acero que debía existir en el interior, para compensar el peso de la estructura en las verticales.

En la imaginación de Candela y sus ayudantes se fueron creando diferentes modelos de superficies, que se trasladaban primero al papel donde se estudiaban sus evoluciones y después, a los moldes de madera que recibían el hormigón.

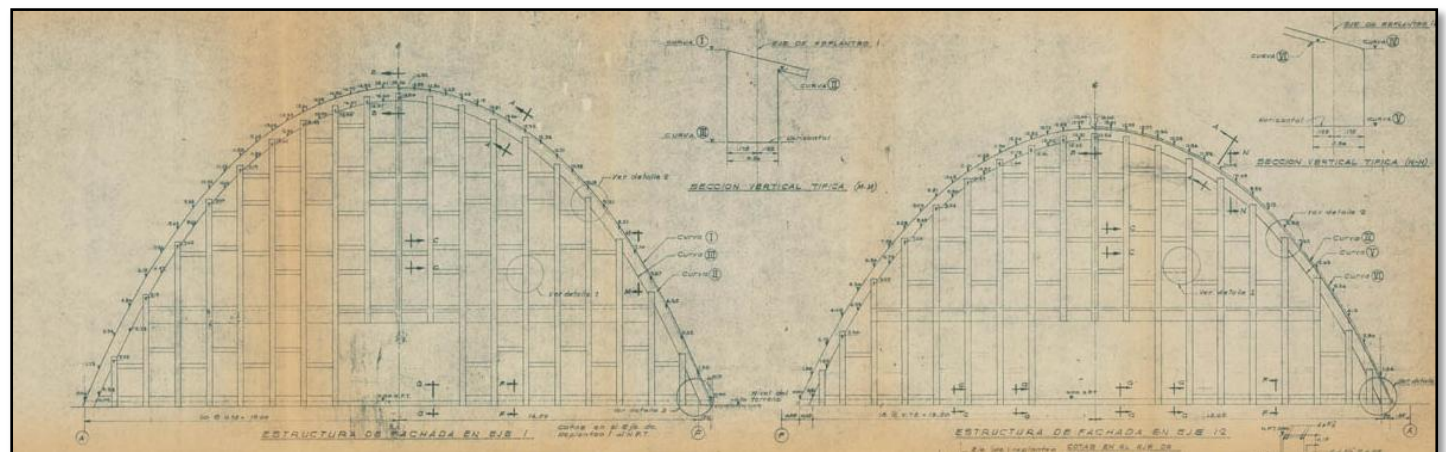


Candela, con su equipo intuían el tipo de cuádrlica que mejor podría resolver el tema arquitectónico que se planteaba en cada una de sus edificaciones.

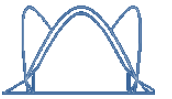
Eran capaces de dibujarla sobre una lámina de papel haciéndola girar mediante trazos para saber sus características, después ya calculaban el material que se necesitaría para soportar las cargas. Lo que se veía en los planos con posiciones de ejes y generatrices, quedaría resuelto gracias a los albañiles que entreteñían con barras de hierro las armaduras, como encargadas de sustentar la tracción que soportaría a su vez la membrana de hormigón una vez liberada de los apoyos de madera, dejando que ganara la autonomía en el espacio.



2.2 Planta embotelladora de Bacardi , Mexico DF 1960



2.3 Planta embotelladora de Bacardi , Mexico DF 1960 (plano)



LA INFLUENCIA DE CANDELA EN LA ARQUITECTURA RELIGIOSA

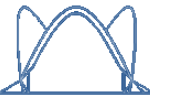
Partiendo del supuesto de que una Arquitectura elocuente es aquella que puede llegar a expresar algo, ahora surge la siguiente pregunta: ¿Cuál es el final de la Arquitectura religiosa? Existen dos vertientes, la primera de ellas buscando la función práctica del edificio, mientras que la segunda es de la opinión que tiene que lograr la belleza, la búsqueda del arte.

Entre aquellos que opinan que se ha de hacer primeramente un análisis funcional se encuentran algunos arquitectos revolucionarios, que al paso del tiempo pudieron comprobar que se trata de un elemento constructivo poco efectivo.



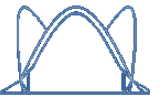
2.33 Capilla de Palmira, obras de Cuernavaca, Morelos ,1958

También surgió como un problema ético, por la necesidad de frenar los derroches del eclecticismo del siglo pasado, considerando la iglesia como el guardián de la moral, por lo que definían una serie de virtudes que debía requerir un edificio religioso. Encontramos el segundo grupo que dice no olvidar el problema funcional, pero considera que está a la altura de cualquier otro detalle técnico. Piensan que el diseño de un edificio debiera ser irracional y extravagante, movido por impulsos y sentimientos, sin seguir la lógica convencional. De hecho, las altas cumbres del pensamiento religioso buscaban conocer la verdad absoluta usando la máquina del subconsciente, que consistía en desarrollar alguna facultad combinatoria de la mente mediante hábitos musculares en un periodo de entrenamiento, al igual que hacían los atletas ya en la antigua Grecia. Se trata de un ejercicio imprescindible para la creación de nuevas ideas. Lo importante en la Arquitectura religiosa es saber qué expresar, conocer el espíritu religioso de la época y saber qué medios se tienen para expresarlo, es decir los diferentes símbolos que solo el tiempo y costumbres hacen que tenga sentido. Existen dos manifestaciones dentro del simbolismo formal: estilo - elementos decorativos - y carácter - encargado de diferenciar los edificios -.



2.34 Iglesia de la Virgen de la Medalla Milagrosa México DF, 1953

La Arquitectura moderna busca la originalidad en el sentido de nunca repetir una solución que haya sido utilizada previamente, lo cual da lugar a confusión desde el punto de vista expresivo debido a la ausencia de cambios graduales en formas y estilos, complicado para hacerse entender. El estructuralismo, actual movimiento arquitectónico es la forma que se tiene de llegar a algo completamente nuevo ya que consiste en el intento extravagante de concebir estructuras originales pero con una idea muy vaga de cómo funciona en realidad. Lo más sensato si se pretende evitar cualquier tipo de error en el funcionamiento de la estructura, es lo que hacen los maestros estructurales consagrados con la introducción progresiva de cambios sobre obras ya conseguidas por ellos mismos u otros, para al final conseguir una buena consolidación, aunque es evidente que éstos no se atreverían a proponer estructuras absurdas ya que su prioridad no es el problema estético sino el funcional.



INICIOS DEL PARABOLOIDE HIPERBÓLICO EN LA CONSTRUCCIÓN

Los paraboloides hiperbólicos fueron desarrollados y construidos gracias a Félix Candela y otros arquitectos como Fernando López Carmona y Oscar Coll, pero únicamente en México debido a que las normas mínimas de seguridad de naciones más desarrolladas no aprobaban las delgadas láminas de hormigón que conformaban los cascarones. Otro aspecto importante era la rentabilidad de este tipo de cubiertas, se basaba en materiales de primera calidad, a su vez se constaba con la ventaja de la mano de obra barata de los albañiles mexicanos.

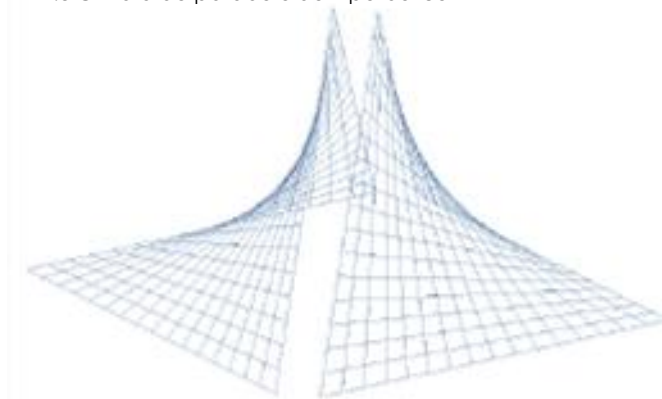


2.4 2.5 2.6 2.7 Restaurante Los Manantiales, Xoximilco 1960

El complicado proceso de construcción de los cascarones, tenía la clave en la cimbra. Su elaboración era a base de **tablillas rectas de madera** conformando la superficie alabeada que da forma a la cubierta.



2.8 Cimbra de paraboloides hiperbólico

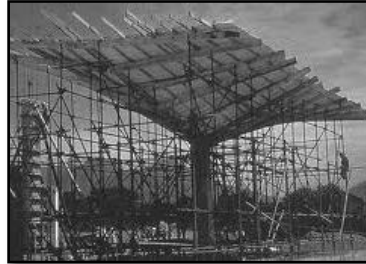


2.9 Representación de paraboloides hiperbólico

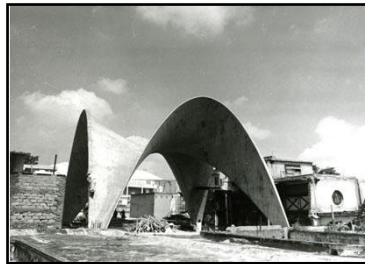
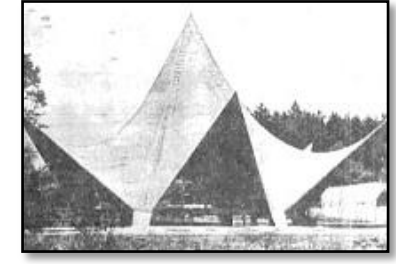
Sobre la cimbra se colocaba el armado de finas varillas que creaban una retícula sobre la que se vaciaba el cemento, que una vez fraguado, daba lugar a el cascarón tomando su forma definitiva.



a



2.10 Paraguas, México DF . 1951

2.11 Pabellón de Rayos
Cósmicos, México DF . 19512.12 Iglesia de San José Obrero,
Monterrey, 19592.13 Centro nocturno "La
Jacaranda". México D.F 1954.2.14 Jardín Botánico de Oslo,
Noruega. 19622.15 Mercado de
Coyoacán 19582.16 Sinagoga par Centro
Hebreo. Guatemala 19582.17 Caseta de ventas Verde
Valle. Guadalajara, Jalisco, 19602.18 Sinagoga para Centro
Hebreo. Guatemala 1958

OBRAS CARACTERÍSTICAS

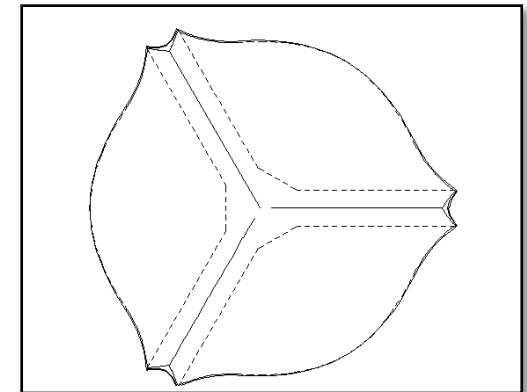
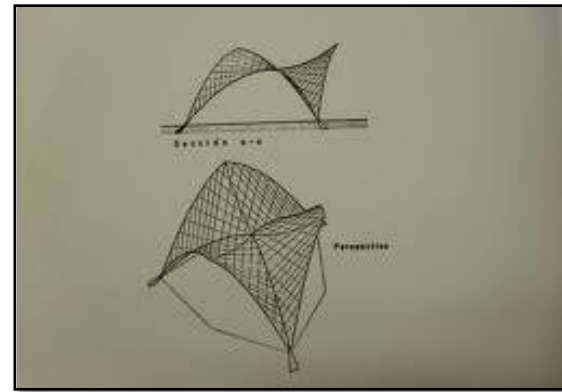
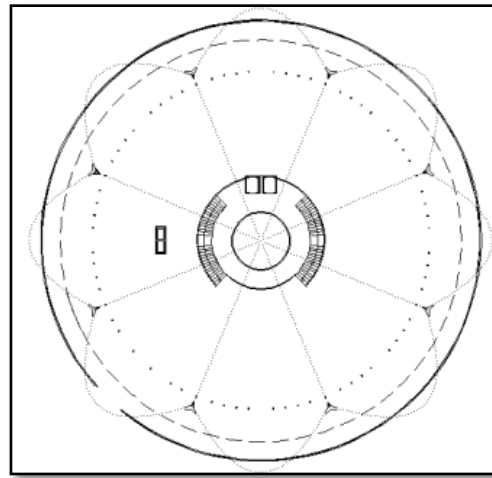
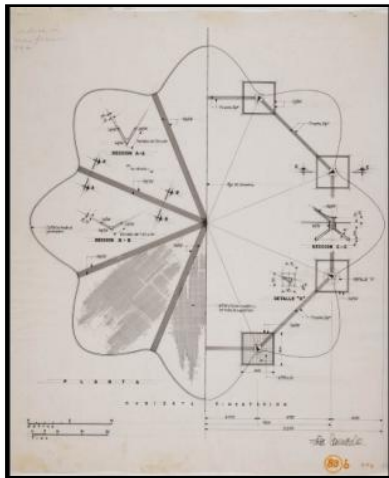
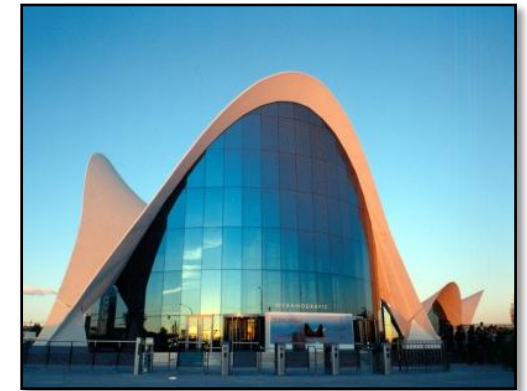
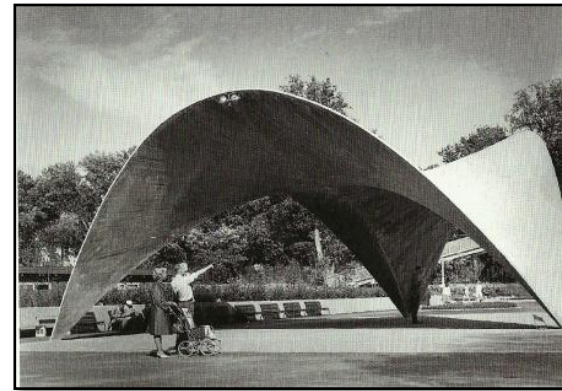
El edificio del Acceso ubicado en el Oceanográfico de Valencia, cumple con las características habituales de las construcciones de Candela, la mayoría de sus obras están formados a partir de paraboloides hiperbólicos con diferente número de lóbulos.

2.19 Palacio de los Deportes,
México DF. 19682.20 Hemeroteca Municipal de
Madrid. 19832.21 Restaurante
Oceanográfico Valencia. 1997



a

En el Parque del Oceanográfico de Valencia, Feliz Candela diseñó dos edificios a partir de paraboloides hiperbólicos, se encuentra por un lado el edificio del restaurante de 8 lóbulos, edificio similar al que está ubicado en Xochimilco (México) que también estaba destinado a ser un restaurante, y por otro lado el edificio del Acceso de 3 lóbulos que es semejante al Casino de Puerto Rico.



2.22 Restaurante "Los Manantiales"
Xochimilco. México 1958.

2.23 Restaurante "Oceanografic" Valencia 1997

2.24 Jardín Botánico de Oslo, Noruega. 1962

2.25 Edificio Acceso a Oceanografic. Valencia 1998



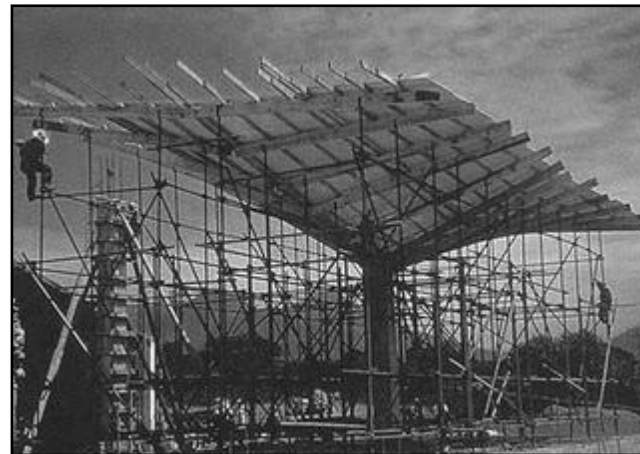
EL CASCARÓN DE CONCRETO ARMADO

Con el auge de post Revolución Mexicana industrial, se requiere la edificación de espacios nuevos, mercados y almacenes, con la estructura del característico cascarón de hormigón, se crea una oportunidad para Candela en la construcción de grandes espacios cubiertos.

En 1952, Candela construyó su paraguas experiment al en primer lugar se refiere a éste "como una lección para encontrar el lugar óptimo, que depende de la zona cubierta por el paraguas. En esta simple proporción depende el éxito en el diseño de estas estructuras, ya que los cálculos necesarios son elementales".

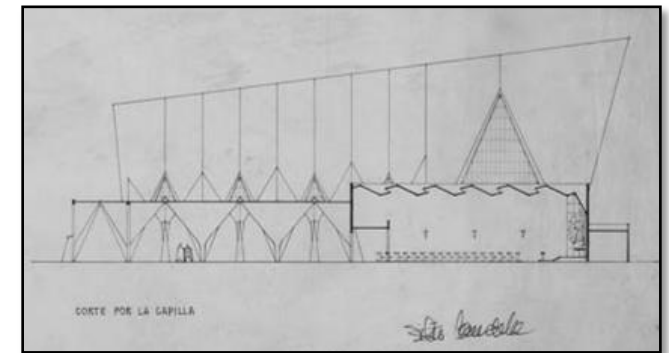
El paraguas de Candela, cuenta con una forma elegante, racional y proporcionada, creada no sólo por un constructor y un ingeniero, sino también por un artista.

Candela formó una gran cubierta que cubre al colocar varias sombrillas lado a lado. Este tipo de material para techos no sólo ofrece la ventaja de poder utilizar tablillas rectas para la formación de la cubierta, sino también por ser más barato que todos los demás métodos.

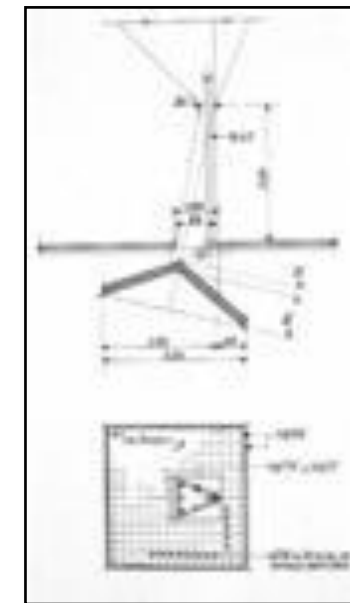


Esta evolución muestra que Candela se inició con la forma común para diseñar los mercados y almacenes, avanzando con el tiempo utilizando los hypar doblado para crear una dinámica de nuevas formas para techos del paraguas de los grandes espacios como la estación de metro Candelaria, en donde con el mismo tipo de paraguas de 6-14 m, repetido 22 veces, se agrupan 11 parejas simétricas que dejan una nave con iluminación central cenital.

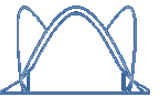
Tal vez la jugada más espectacular derivada del paraguas es la iglesia de Nuestra Señora de la Medalla Milagrosa, donde la transformación es tan dramática que, sin un cuidadoso estudio no se puede notar que la forma deriva del marco común.



2.27 Iglesia de la Virgen de la Medalla Milagrosa
México DF, 1953

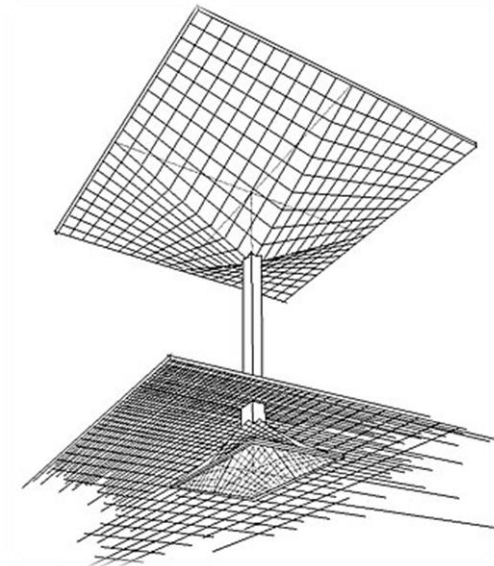


2.28 Iglesia de la Virgen de la Medalla Milagrosa
México DF, 1953

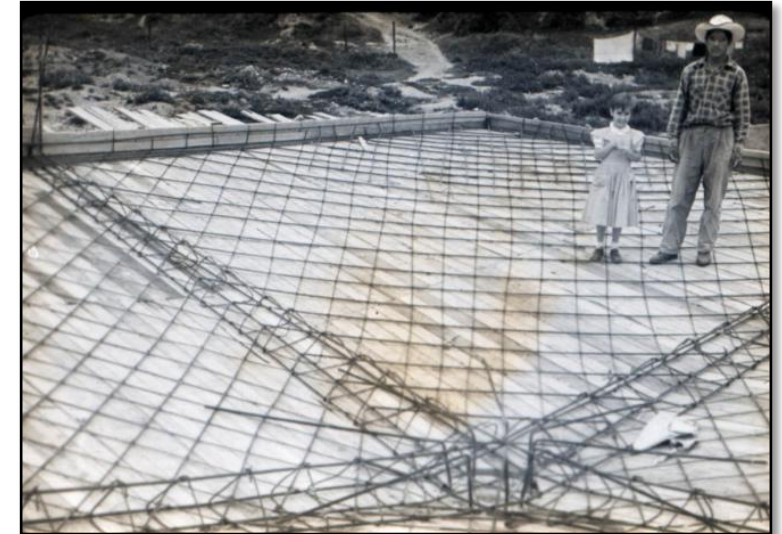


a

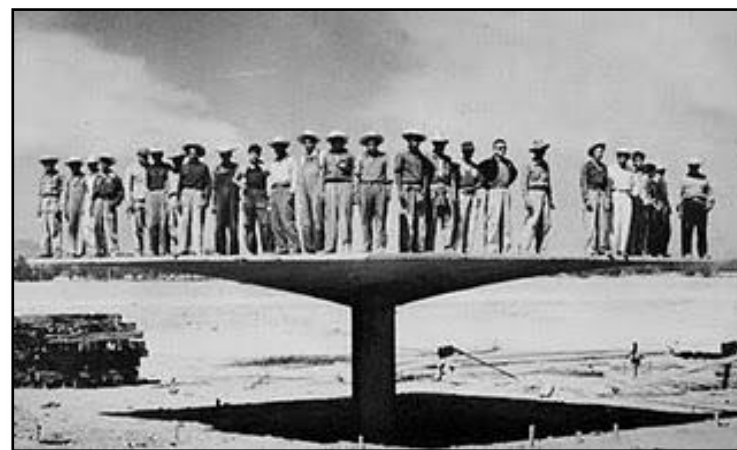
Candela desarrolló la estructura en forma de paraguas cuadrado de cemento con el caño de agua de lluvia en la columna central, que proliferan por gasolineras o en cualquier espacio que requiera de una cubierta ligera, barata, resistente y que ocupe poco espacio en el suelo. Candela es una de las figuras fundamentales de la arquitectura del siglo XX en cuanto al desarrollo de nuevas formas estructurales de hormigón armado se define por algunos como el "Mago de los cascarones de concreto". Él afirmaba que el hormigón armado no solo era muy similar al material de los cascarones naturales, sino que tiene la ventaja adicional de poder resistir esfuerzos de tracción.



2.29 Diseño del paraguas



2.30 Construcción de un paraguas experimental, 1952



2.31 Paraguas experimental, 1952



2.32 Paraguas de gasolinera, 2000



ANÁLISIS EN EL EDIFICIO DE ACCESO



Estructura formada por tres paraboloides hiperbólicos en el eje vertical girados 120° . El borde libre de cada lóbulo es el resultado de la intersección de un plano inclinado $69,20^\circ$ con el plano horizontal, y por el vértice intersección de los tres HYPAR pasan las generatrices horizontales que forman entre ellas un ángulo de $82,12^\circ$. Tanto en el edificio del Restaurante como el de Acceso del Oceanográfico de Valencia, podemos apreciar lo que caracteriza generalmente las obras de Candela:

- grandes luces.
- superficies paraboloides hiperbólicas.
- estructuras de hormigón con espesores mínimos.
- mucha mano de obra (procedimiento de encofrado complejo).

2.3 Restaurante y edificio de Acceso del Oceanográfico, Valencia 2002



2.36 Restaurante del Oceanográfico, Valencia 2002



a

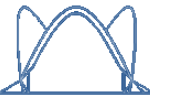
INSPIRACION DEL ARQUITECTO

Desde el punto de vista formal los proyectistas han querido crear una especie de "mimesis" entre el edificio y el contexto, no entendida para confundir y "ocultar" el complejo, sino más bien como auténtica y propia imitación, de parte del edificio, de las formas y los colores del mar.

La forma de estos edificios se dice también que tiene la forma de un nenúfar blanco, dando una sensación de limpieza y naturaleza para conseguir una armonía con el resto de la ciudad de las artes.



2.37 Restaurante y edificio de Acceso del Oceanográfico , Valencia 2002



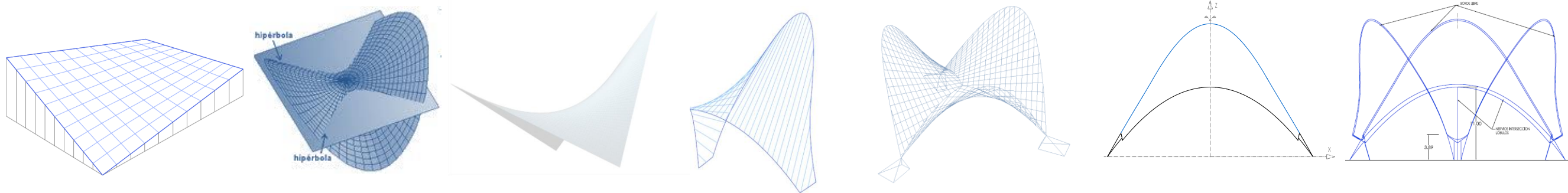
“Mi principal trabajo consiste en simplificar y regularizar los croquis que me presenta y en convencer de que el éxito no estriba en construir formas extravagantes, sino en hacer cosas sencillas, estudiando con cariño los detalles”

FELIX CANDELA



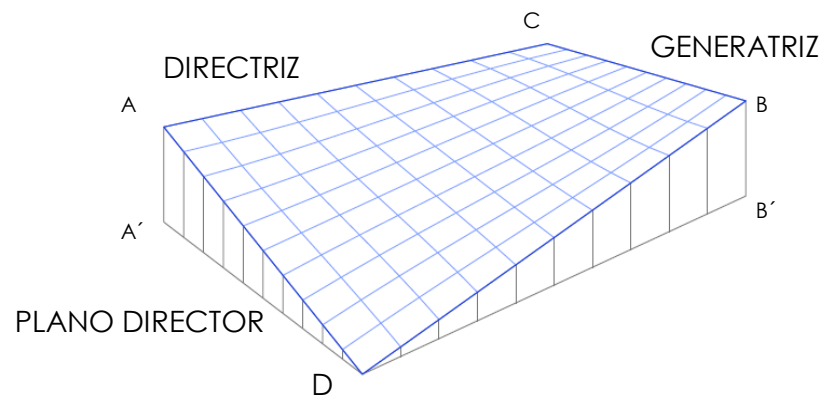
2.38 Cubierta del edificio de Acceso, Valencia 2002

G EOMETRÍA:

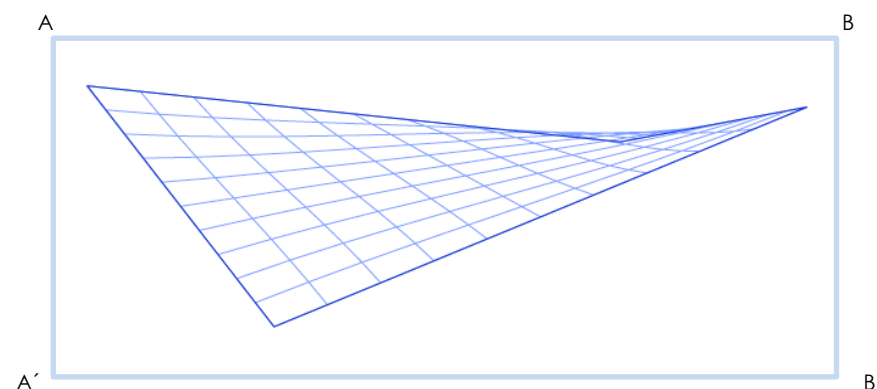




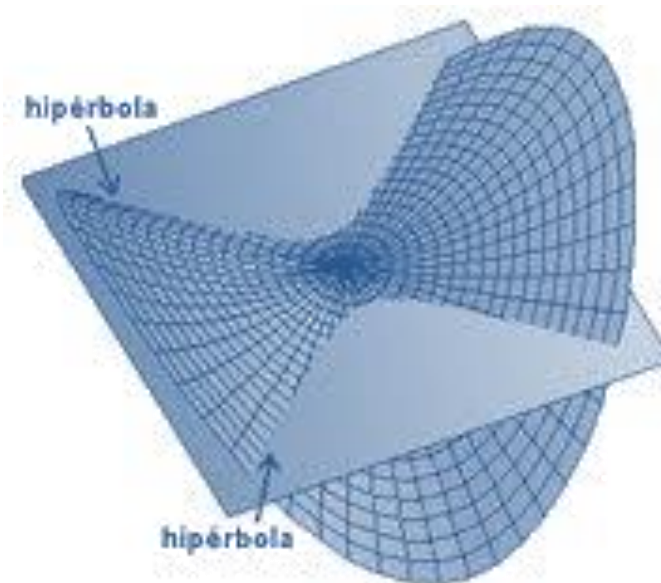
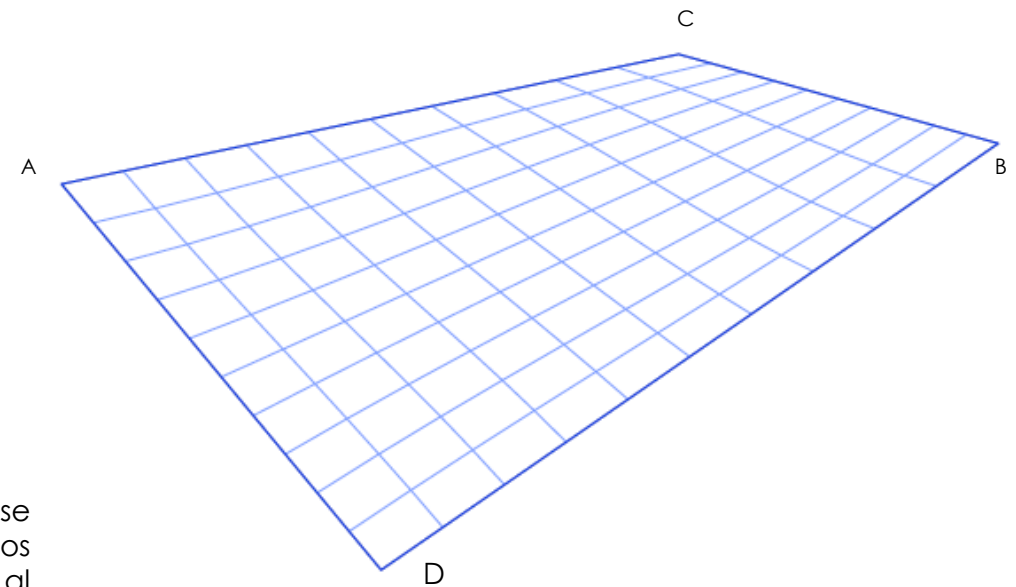
FORMACION DEL PARABOLOIDE HIPERBÓLICO



La forma de esta superficie, se produce con dos planos paralelos: Plano AA'C paralelo al CC'D

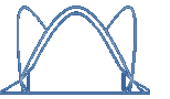


La intersección de la superficie con un plano vertical AA'BB' paralelo a las diagonales, produce curvas parabólicas. Por un plano vertical pasan diagonales principales creando la intersección parábolas principales, cóncavas y con convexas.



La intersección de la superficie con un plano horizontal, producen curvas hiperbólicas, de estos viene el nombre:

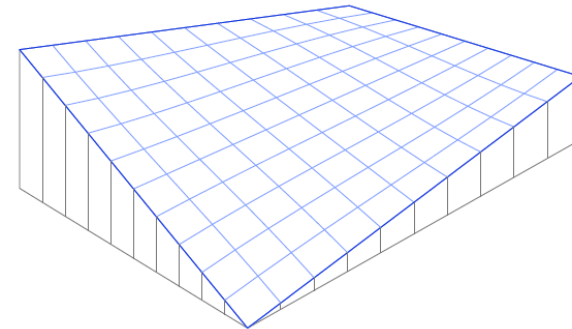
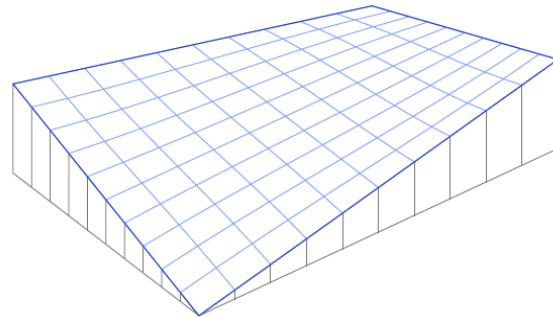
- paraboloides: donde los planos verticales crean parábolas.
- hiperbólico: donde los planos horizontales hiperbólicas.



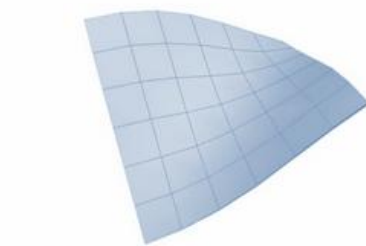
FORMAS GEOMÉTRICAS

Podemos obtener diferentes formas estructurales dependiendo de :

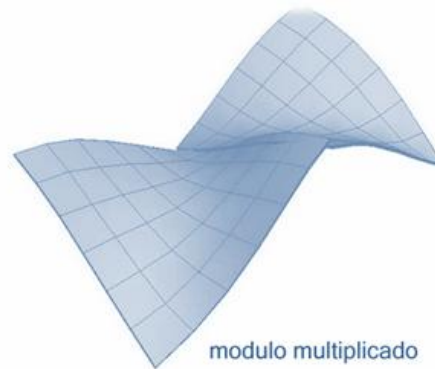
- la inclinación que se da a los planos paralelos,.



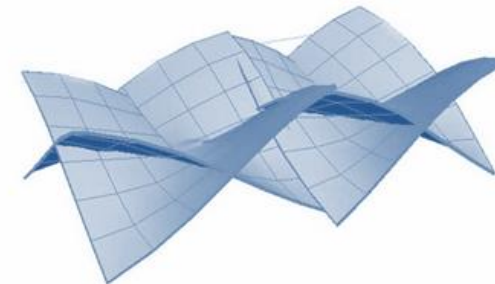
- el uso de un solo sector de la superficie alabeada total, o la combinaciones de varios lóbulos.



modulo base
de paraboloid
hiperbolica

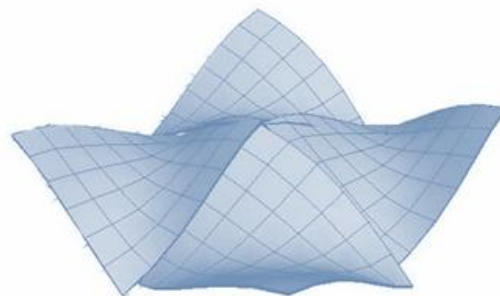


modulo multiplicado

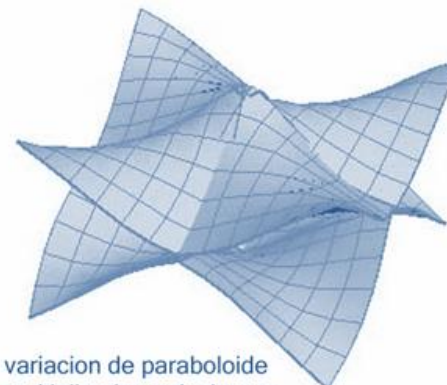


modulo multiplicado y girado
en el mismo eje

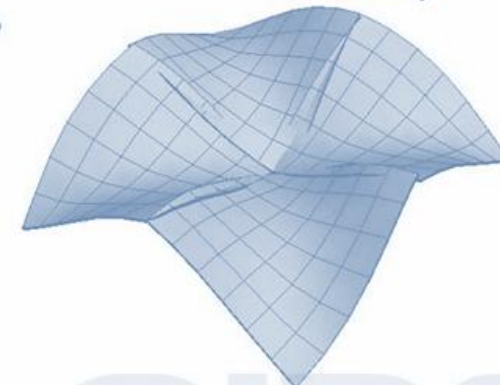
paraboloid girado
en el mismo eje

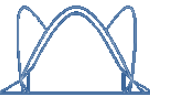


variacion de paraboloid

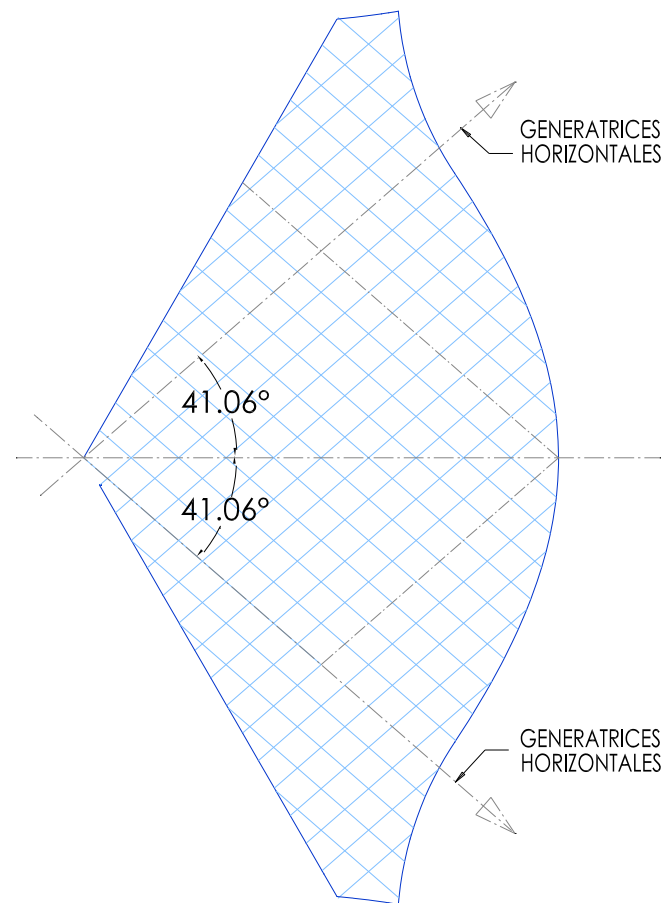


variacion de paraboloid
multiplicado verticalmente
en le mismo eje

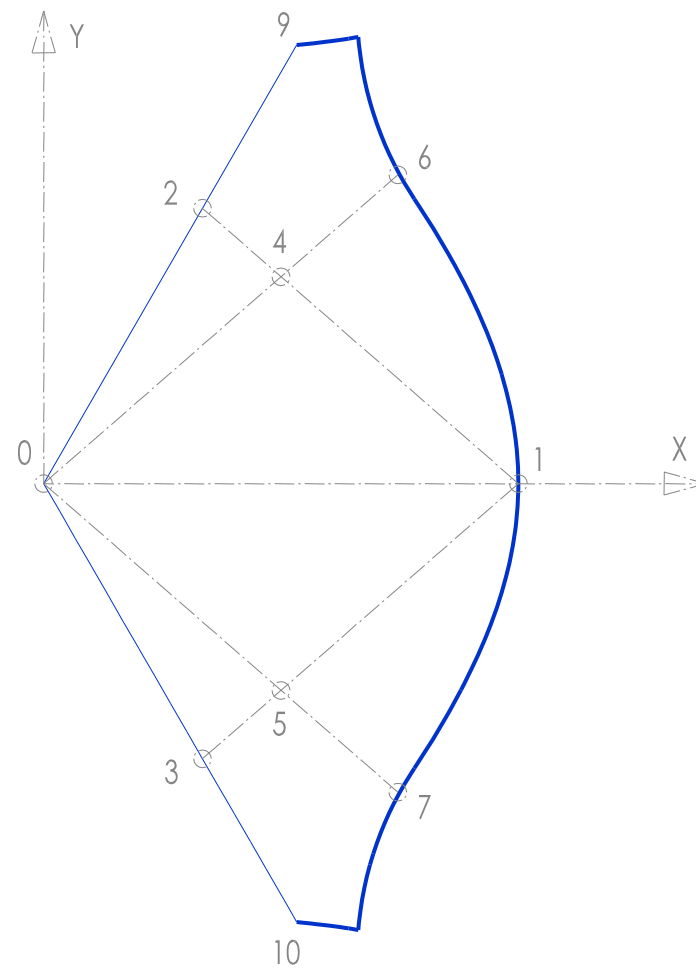




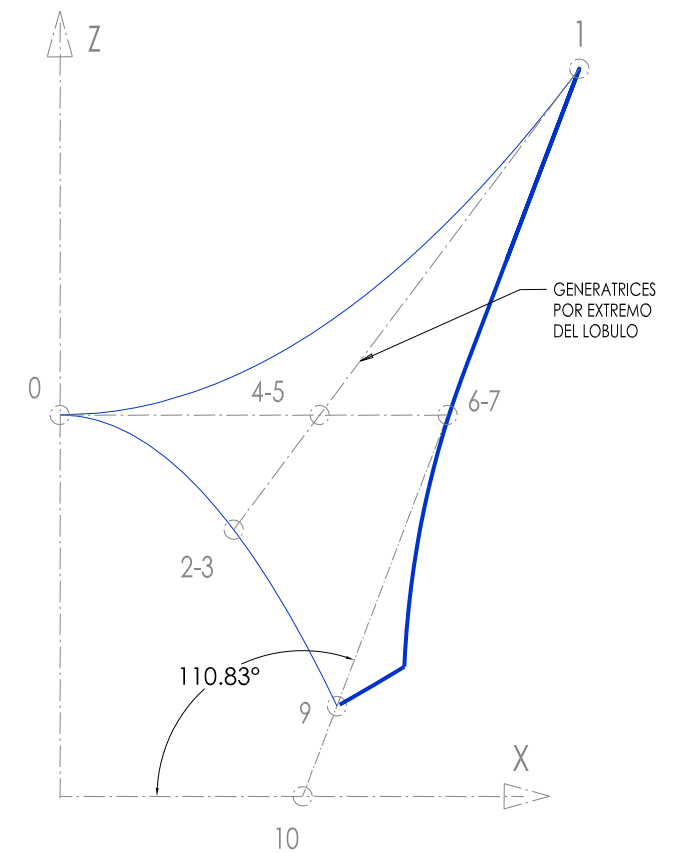
DEFINICION DE LAS GENERATRICES EN EL EDIFICIO DE ACCESO



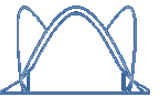
Planta



Planta

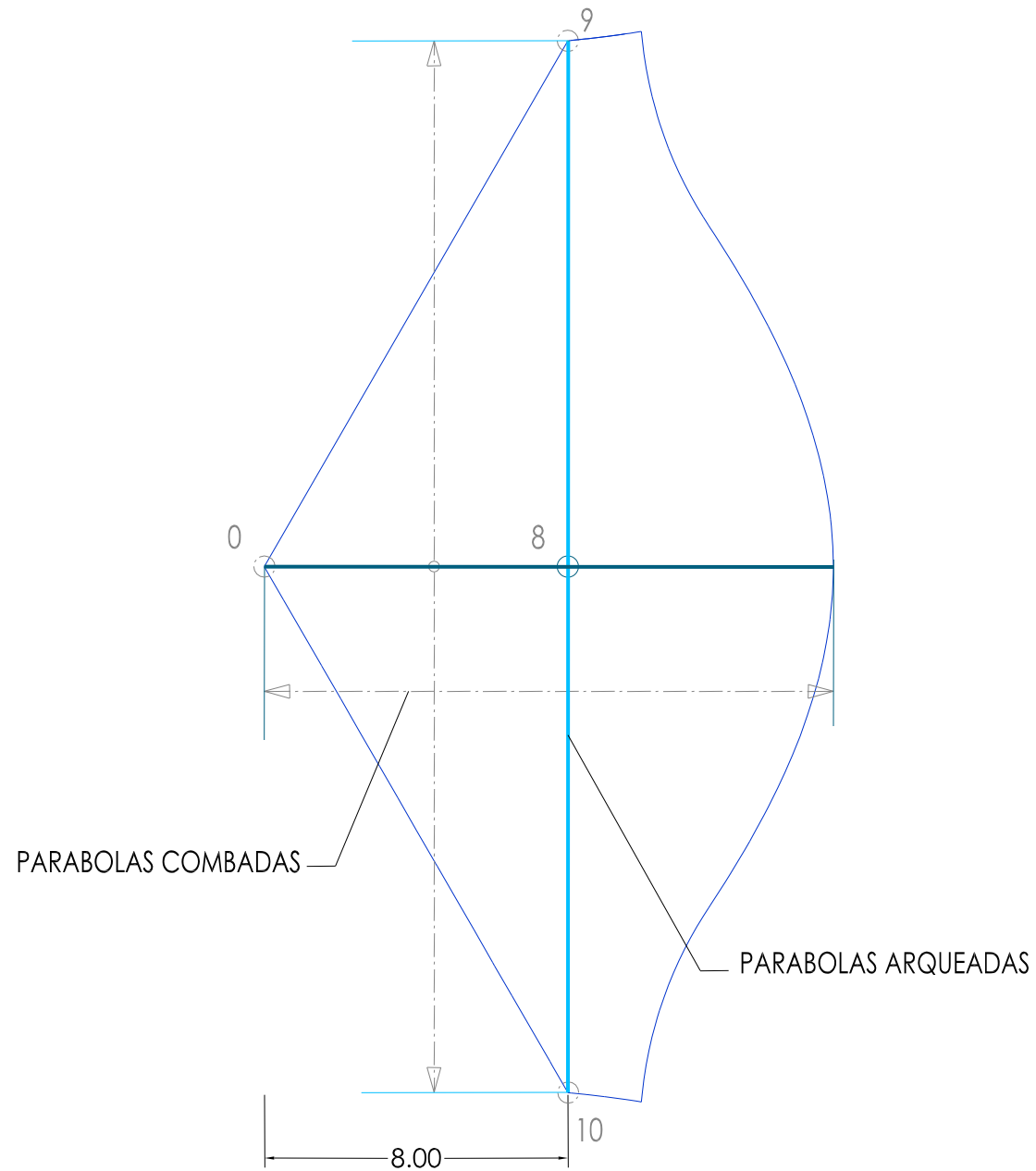


Alzado

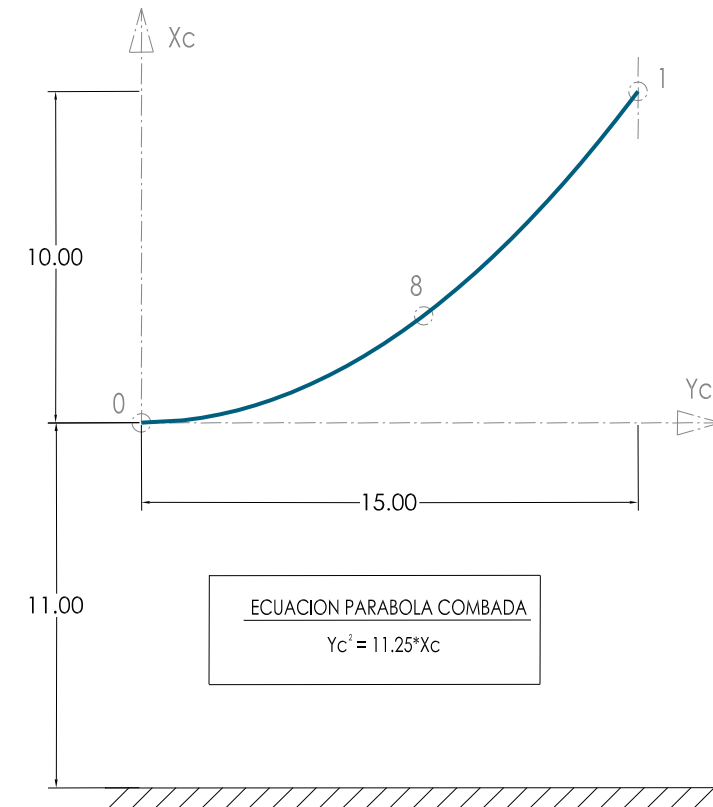


g

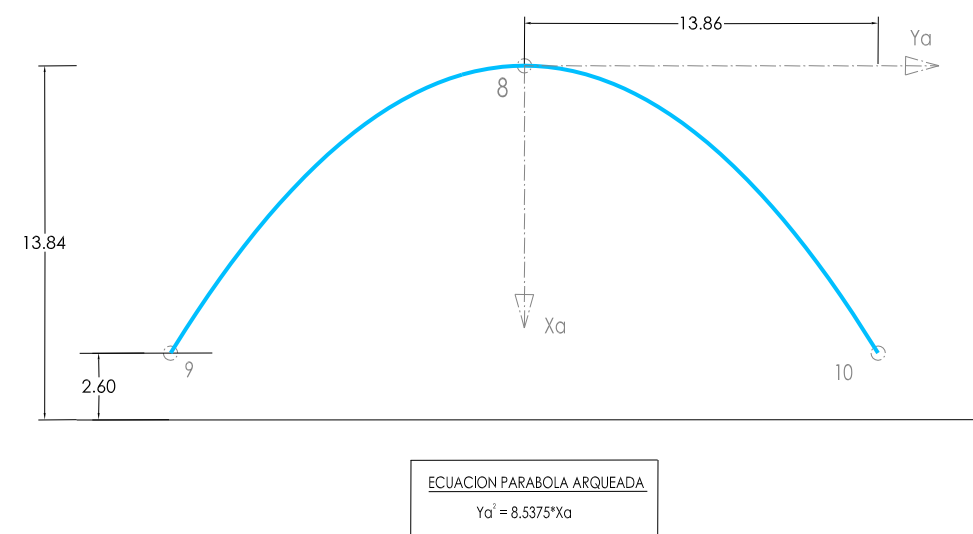
DEFINICIÓN DE LA PARÁBOLA



PARÁBOLA CURVADA POR EL EJE DEL LÓBULO

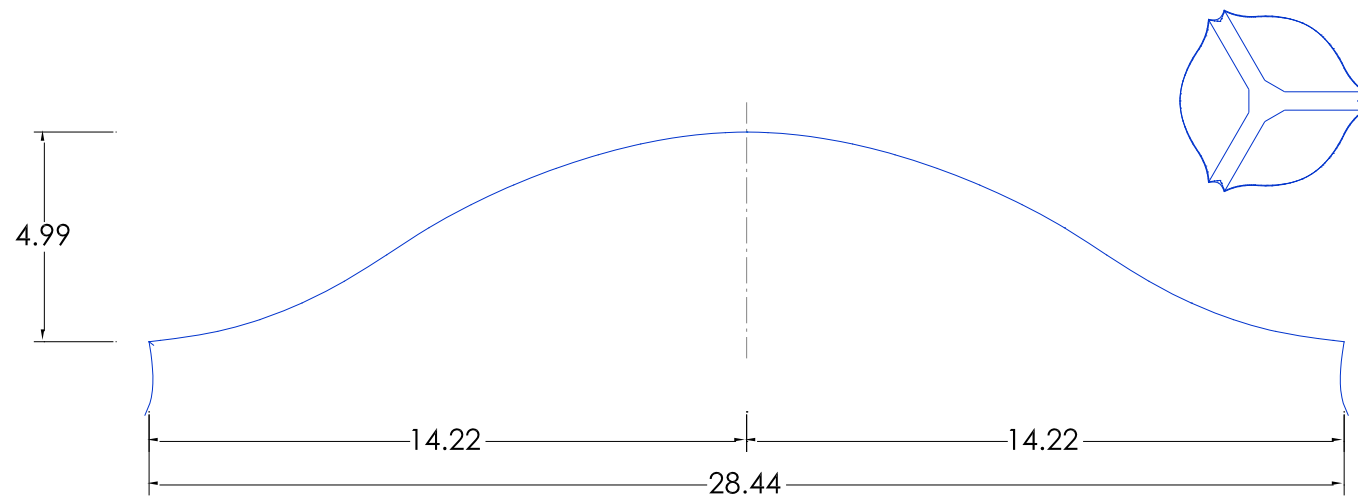


PARÁBOLA ARQUEADA POR PLANO VERTICAL ENTRE LOS APOYOS

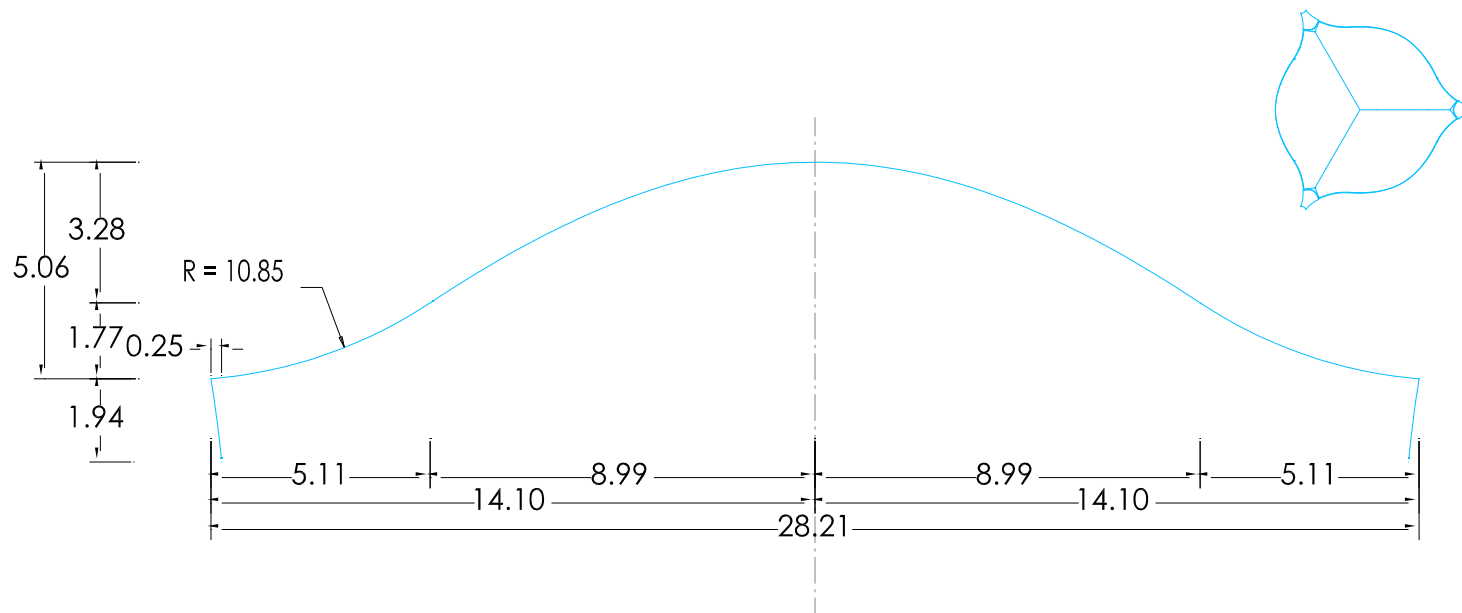
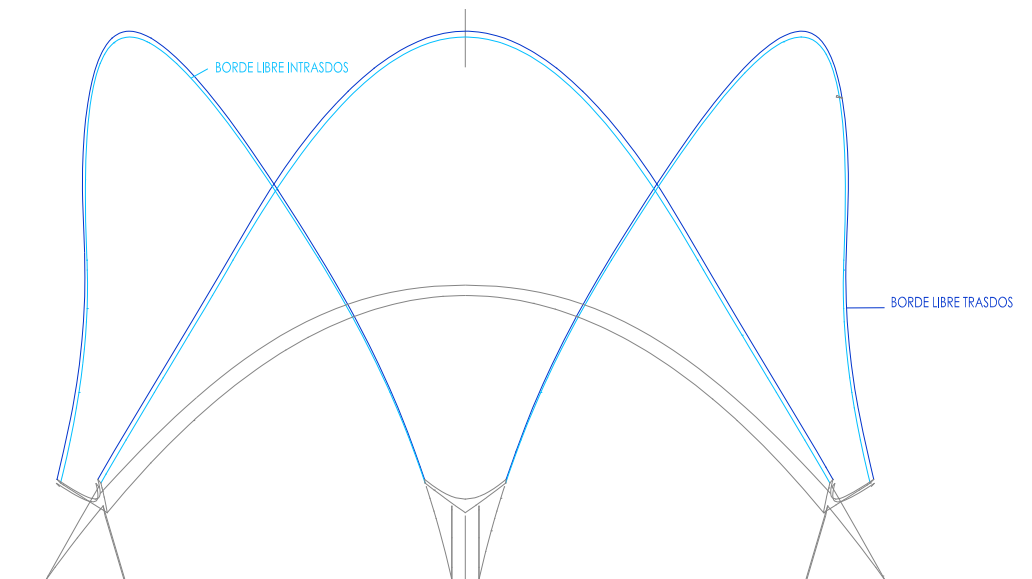




DEFINICIÓN DE BORDES



Planta del borde libre del trasdós



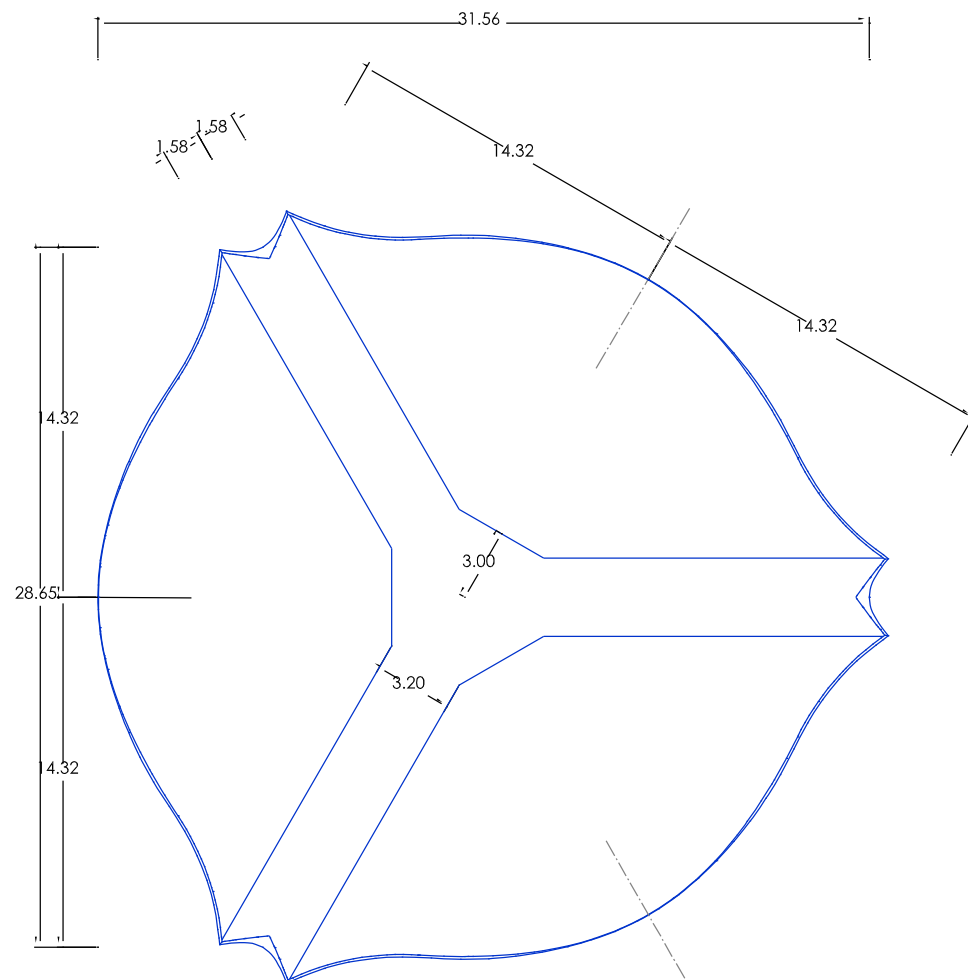
Planta del borde libre del intradós



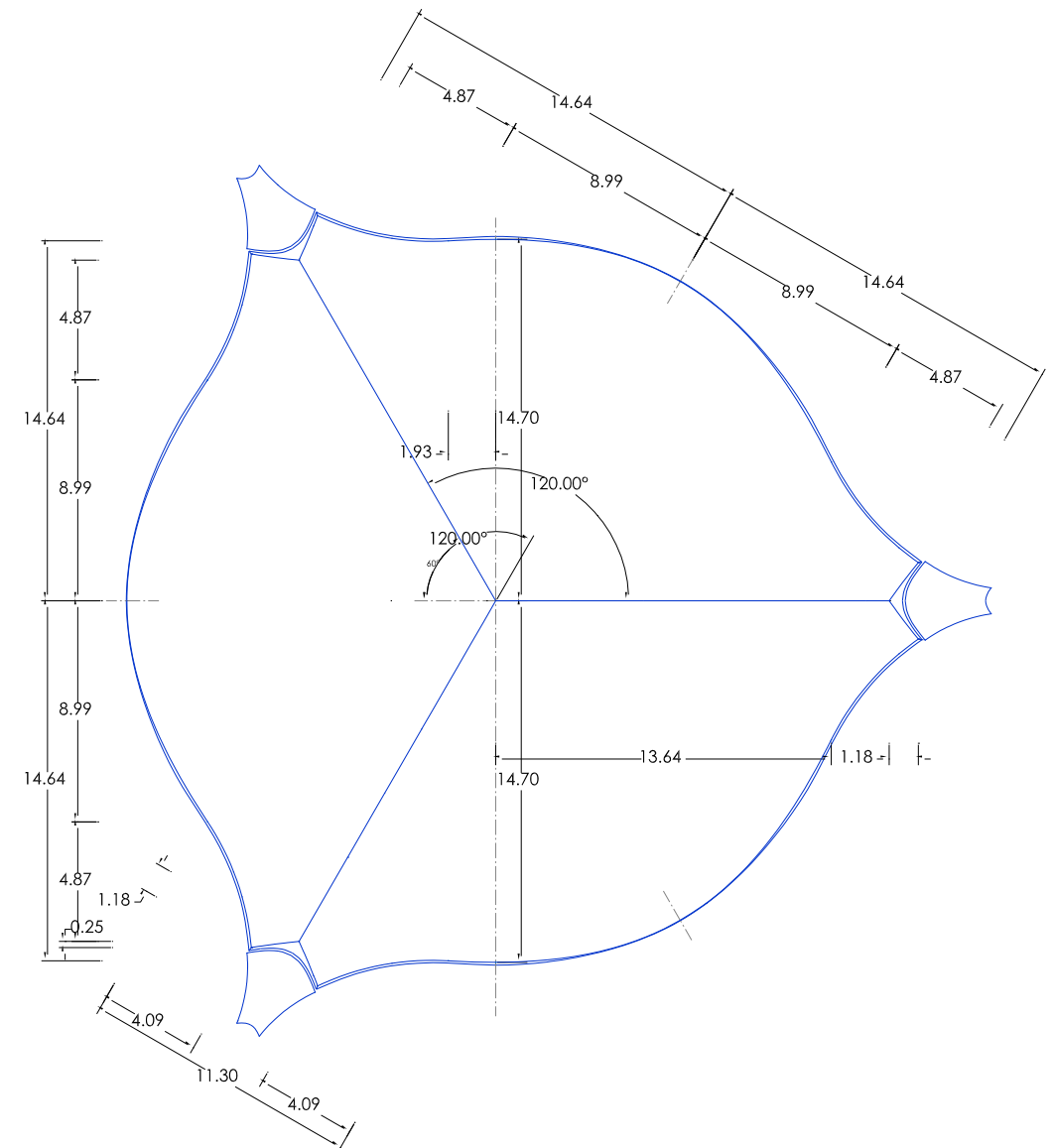


DEFINICIÓN DE BORDES

Planta del borde libre del trasdós

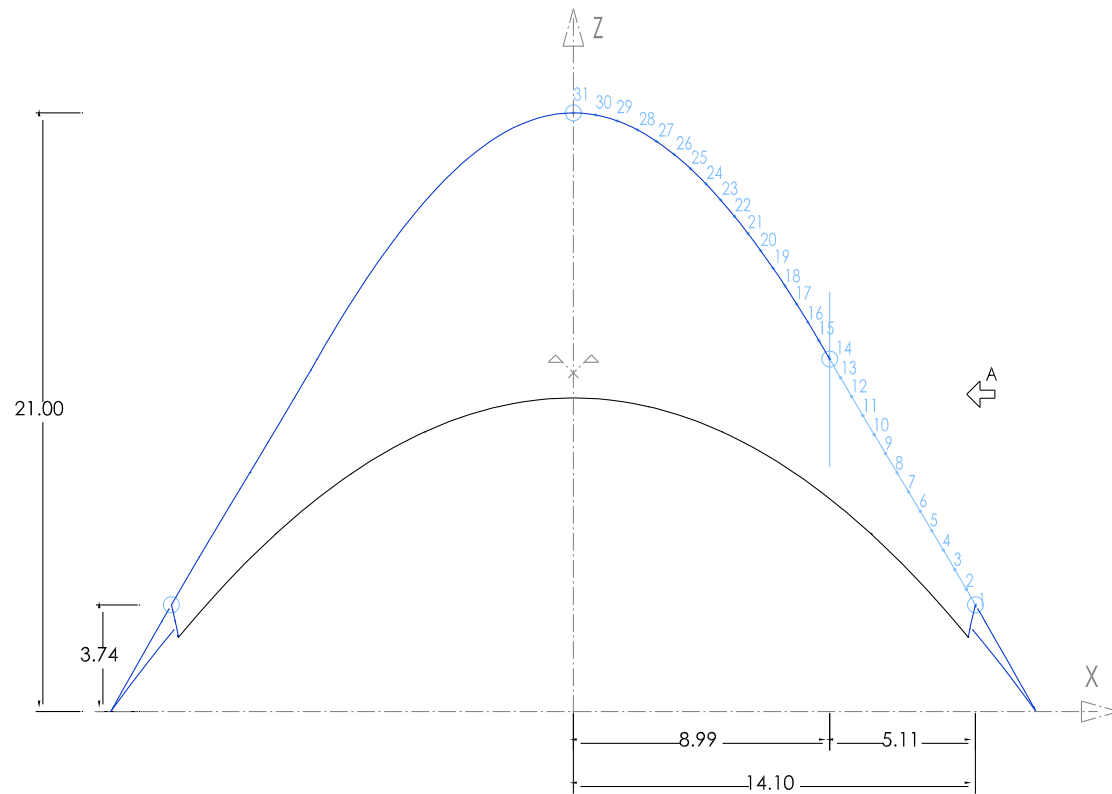


Planta del borde libre del intradós

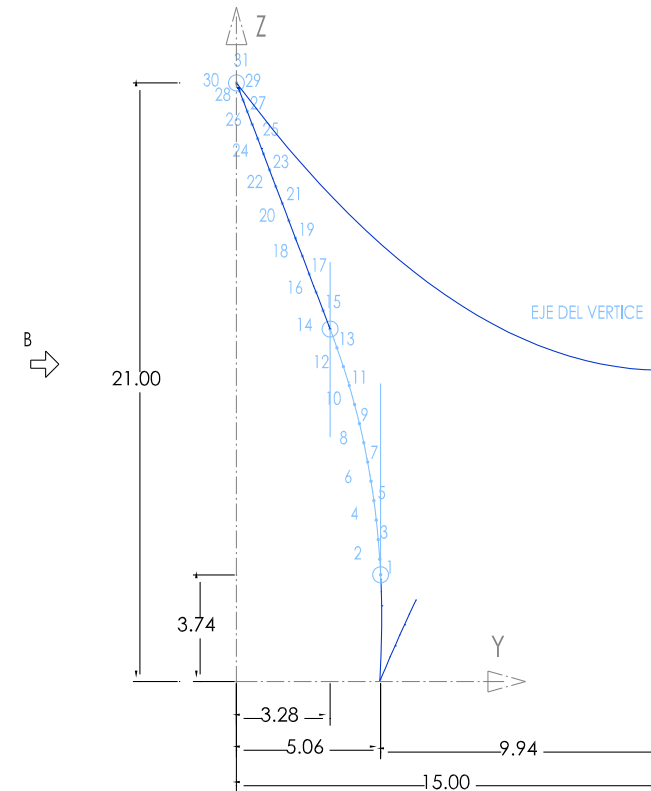




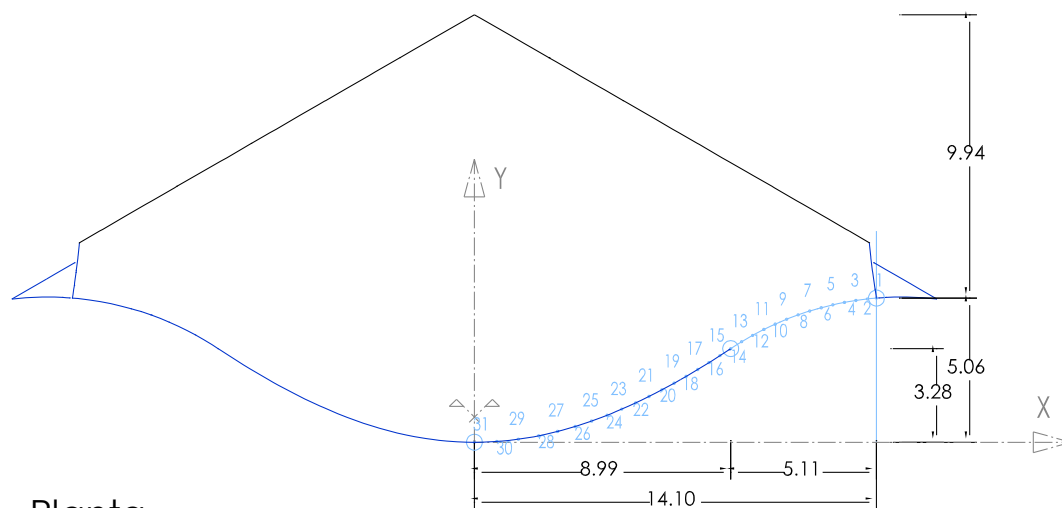
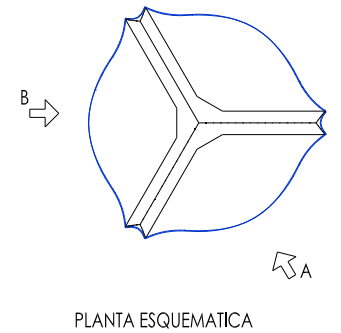
DEFINICIÓN DE PUNTOS DEL BORDE DEL INTRADOS



Alzado visto por B



Alzado visto por A

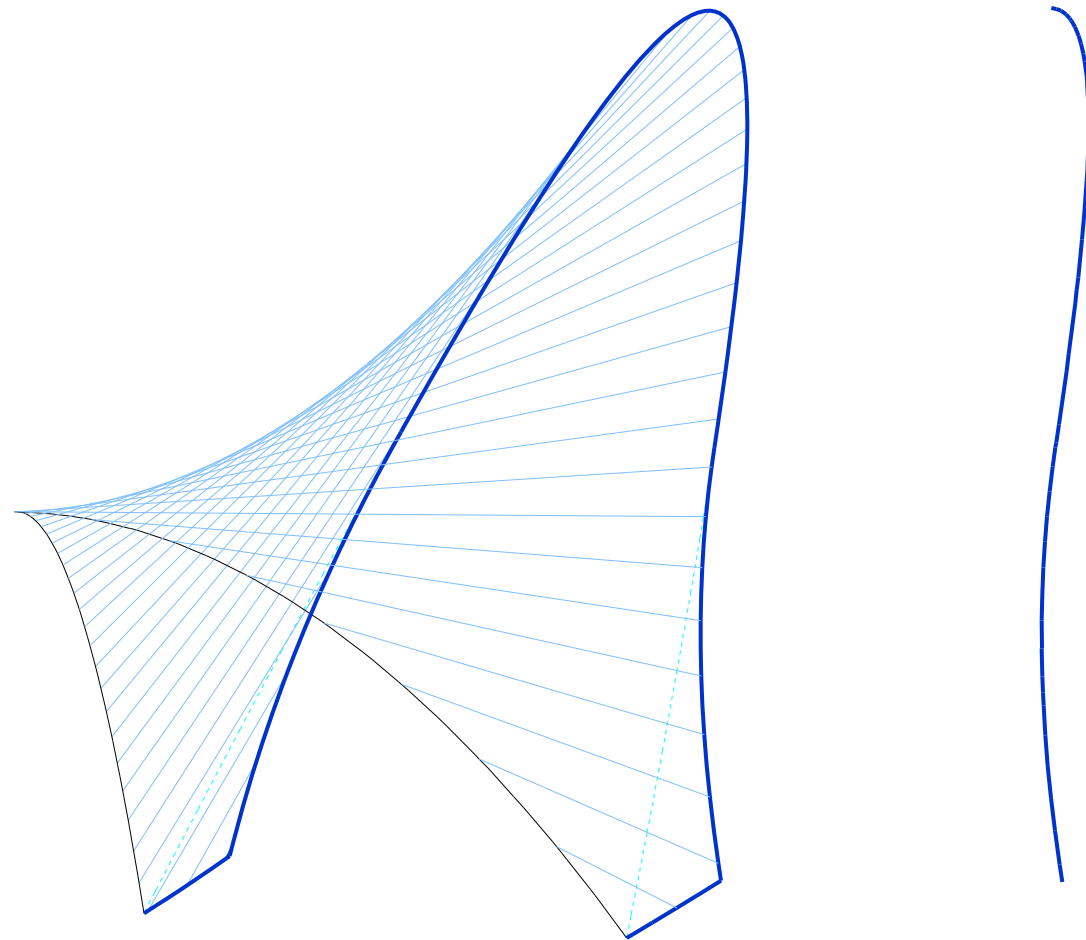
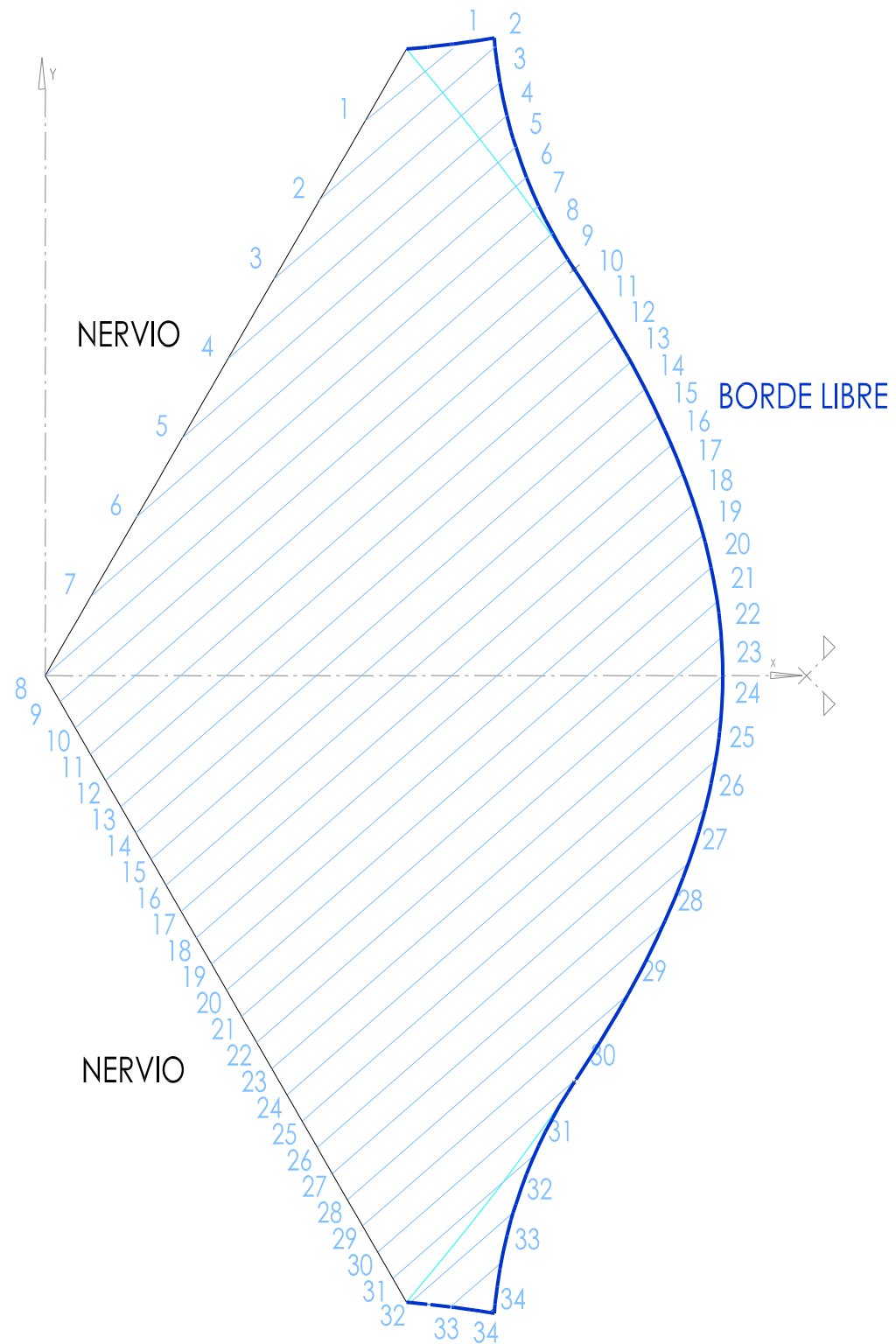


Planta





g

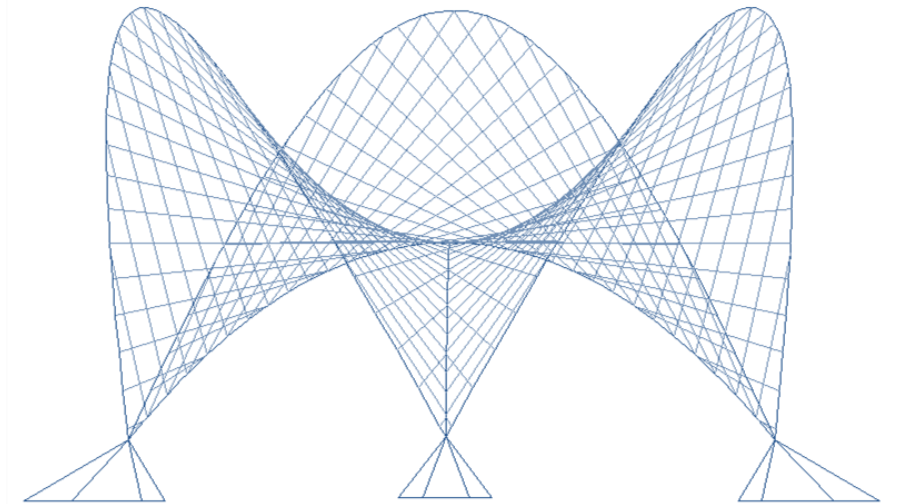
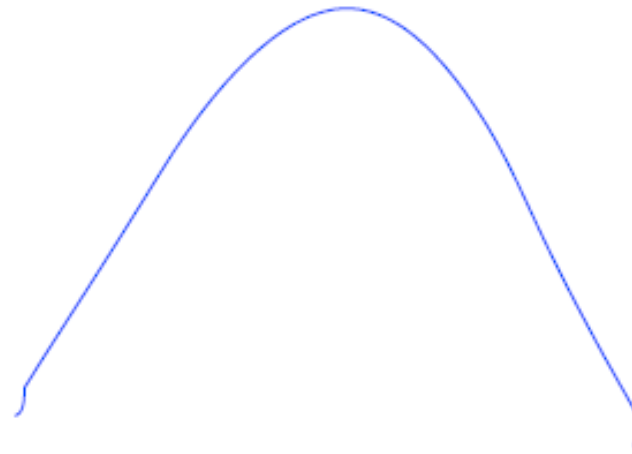


GENERATRIZ	X	Y	Z
1	7.0833	12.2686	4.4149
2	6.0714	10.5159	6.1619
3	5.0595	8.7633	7.6402
4	4.0476	7.0106	8.8498
5	3.0357	5.2580	9.7905
6	2.0238	3.5053	10.4624
7	1.0119	1.7527	10.8656
8	0.0000	0.0000	11.0000
9	0.3346	-0.5796	10.9853
10	0.6693	-1.1592	10.9412
11	1.0039	-1.7389	10.8677
12	1.3386	-2.3185	10.7648
13	1.6732	-2.8981	10.6325
14	2.0079	-3.4777	10.4709
15	2.3425	-4.0573	10.2798
16	2.6772	-4.6370	10.0593

GENERATRIZ	X	Y	Z
17	3.0118	-5.2166	9.8094
18	3.3464	-5.7962	9.5302
19	3.6811	-6.3758	9.2215
20	4.0157	-6.9555	8.8834
21	4.3504	-7.5351	8.5160
22	4.6850	-8.1147	8.1191
23	5.0197	-8.6943	7.6929
24	5.3543	-9.2739	7.2372
25	5.6890	-9.8536	6.7522
26	6.0236	-10.4332	6.2378
27	6.3582	-11.0128	5.6939
28	6.6929	-11.5924	5.1207
29	7.0275	-12.1720	4.5181
30	7.3622	-12.7517	3.8860
31	7.6968	-13.3313	3.2246
32	8.0848	-13.8644	2.6476
33	8.9711	-13.9635	3.1580
34	9.8306	-14.0859	3.6751



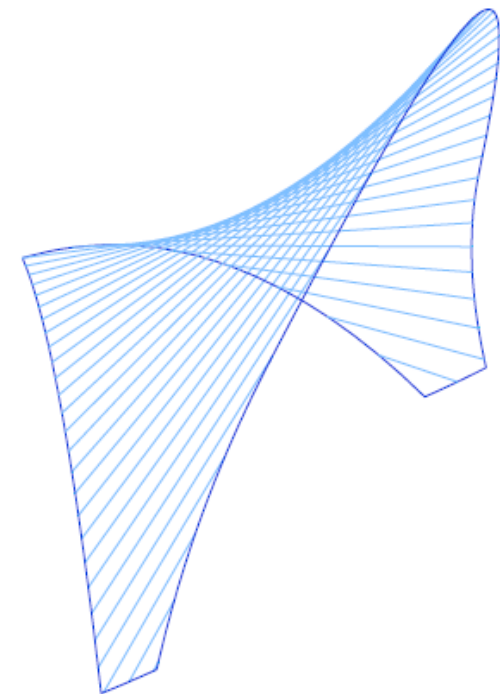
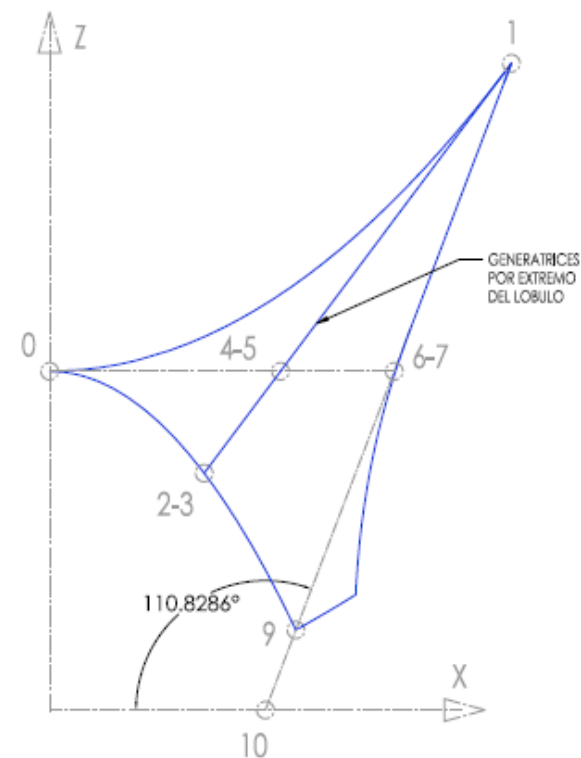
g



La superficie del intradós de la cubierta se genera con la intersección de 3 paraboloides hiperbólicos idénticos, de eje vertical y girados 120° .

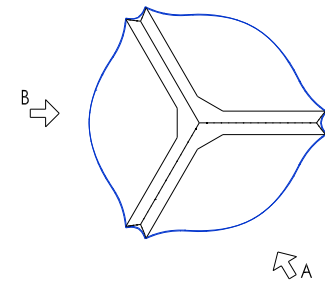
La intersección entre ellos forman los nervios interiores. El borde libre de cada lóbulo se forma con la intersección de un plano inclinado 69.2° con el plano horizontal.

Por el vértice de los tres "hypar" pasan las generatrices horizontales, entre ellas forman ángulos de 82.12°

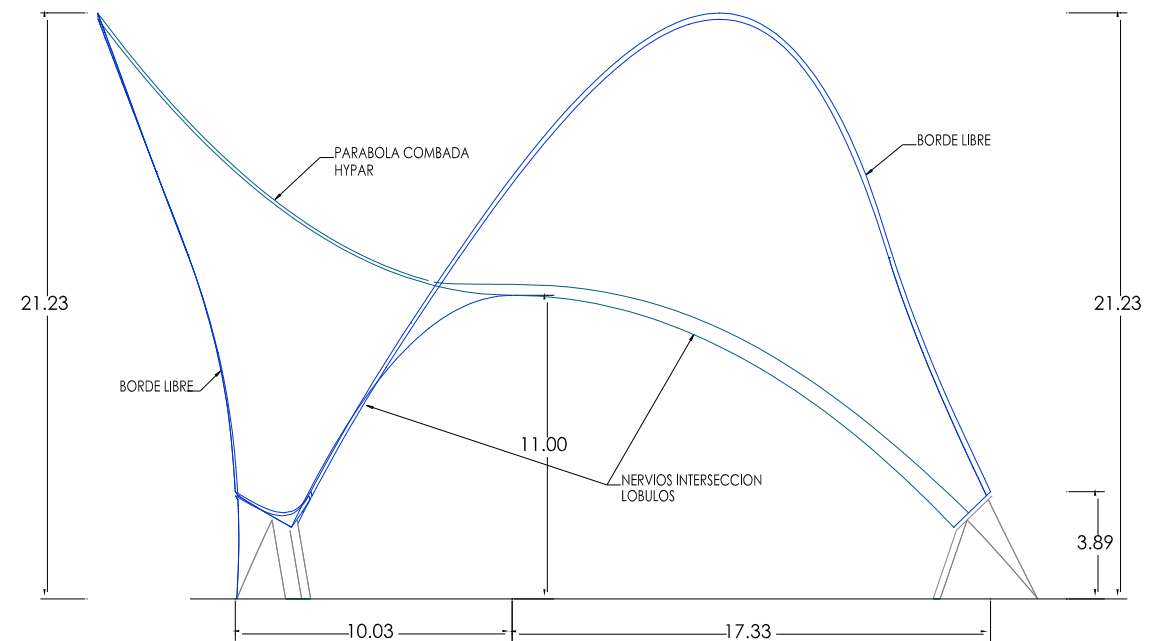
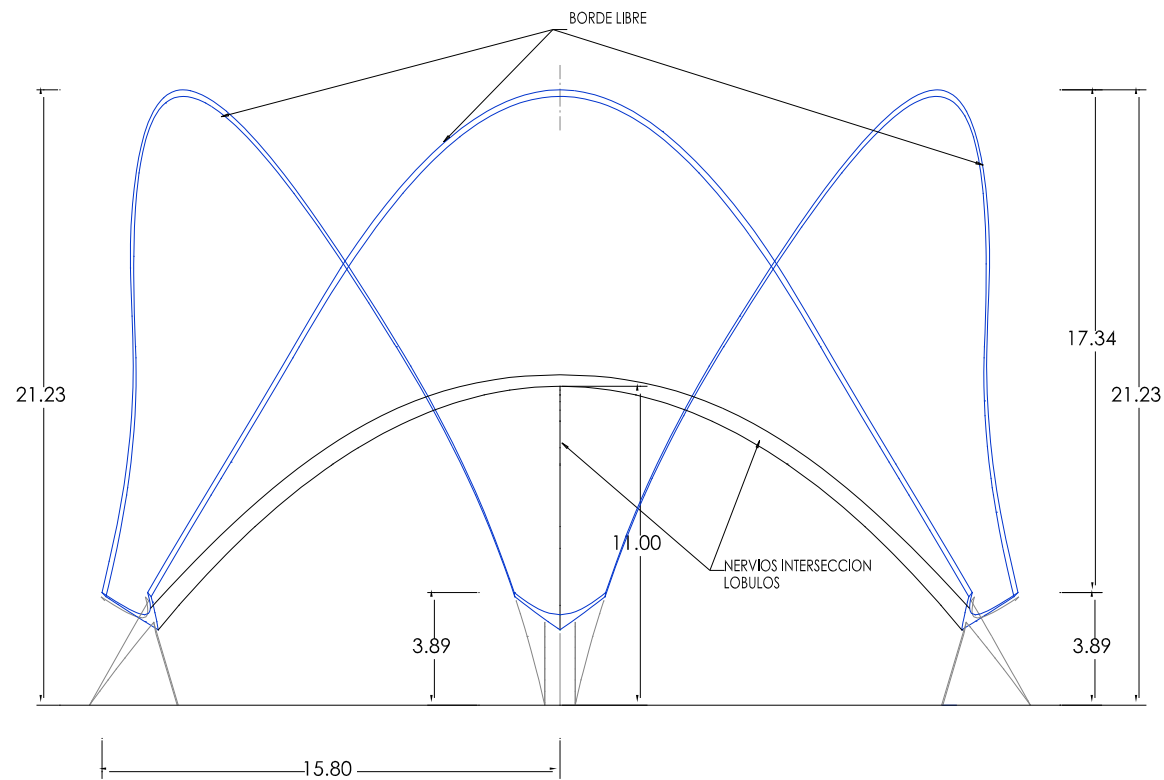




DEFINICIÓN DE ARISTAS

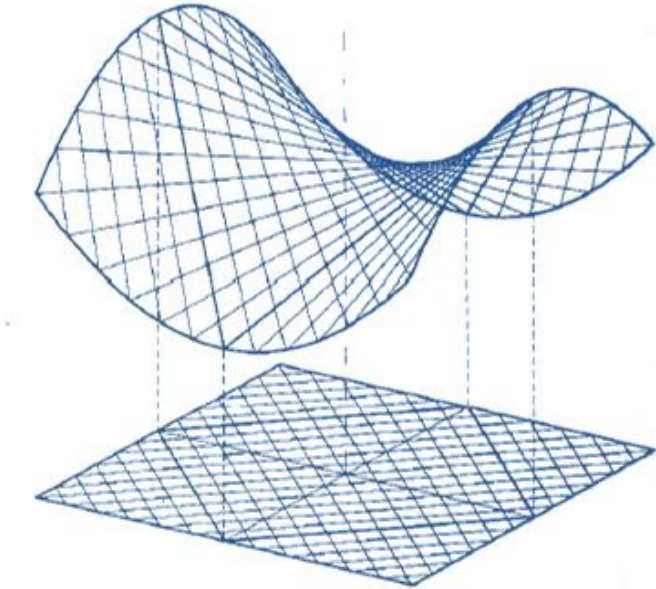
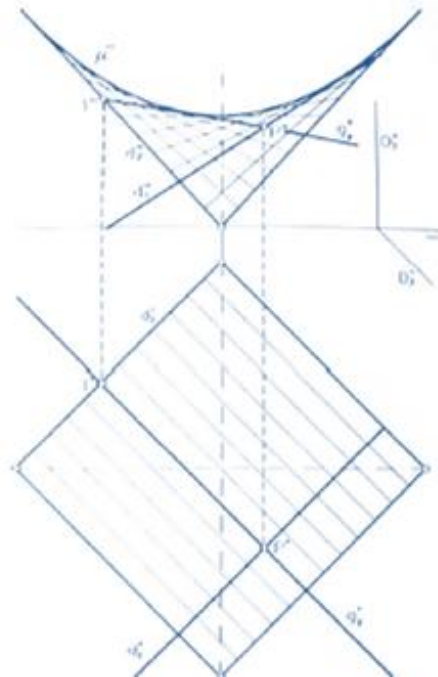


Planta esquemática





PARABOLOIDE HIPERBÓLICO



Clasificación:

CLASE: Reglada

FAMILIA: Alabeada

GRUPO: Tres Directrices Rectas

SUPERFICIE: Paraboloide Hiperbolico

Definición:

Superficie reglada que resulta del apoyo de unas rectas contenidas en unos planos perpendiculares entre si, que se apoyan en dos rectas que se cruzan en el espacio.

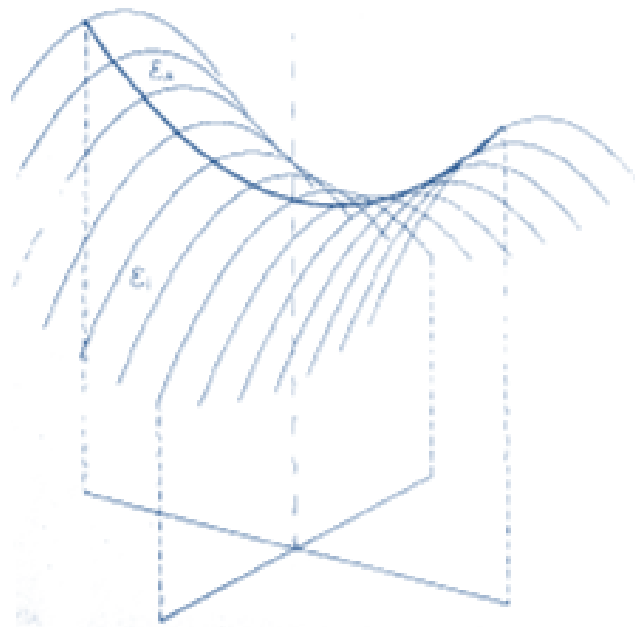
Para ver que se trata de una superficie reglada, la mejor manera de generar el paraboloide hiperbólico es a partir de un cuadrilátero alabeado, es decir, de un cuadrilátero que no tenga los cuatro lados sobre un mismo plano. A partir de este cuadrilátero, si se hacen divisiones en partes en dos lados opuestos, al trazar rectas que unan ordenadamente estas divisiones obtendremos la superficie del paraboloide, y todas estas rectas formarán la primera familia de generatrices.

Superficie que generalmente se ejecuta de hormigón armado. Es interesante el hecho de que con espesores mínimos de membrana puede cubrir una enorme superficie. Si se intentara cubrir una gran superficie con una losa armada plana, probablemente sería imposible.

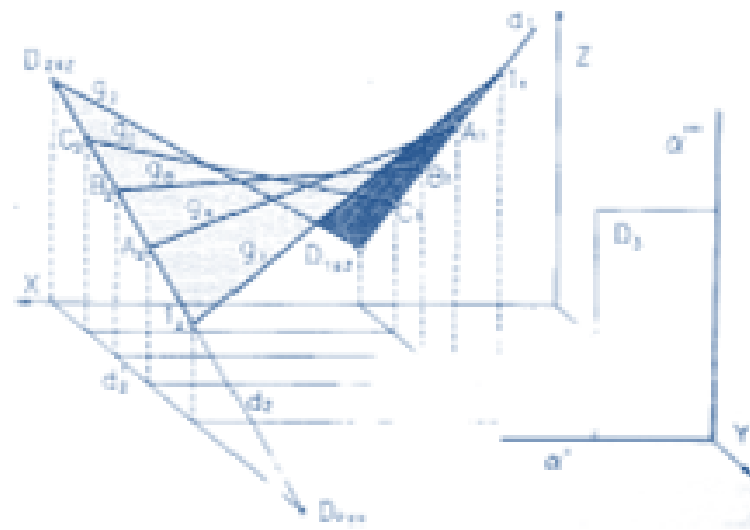
Pero aun pudiéndose hacer, la cantidad de material y el peso de la estructura hubiera sido mayor en comparación con la solución dada. Como inconveniente que tiene esta técnica de construcción es su difícil ejecución pues requiere mano de obra cualificada.



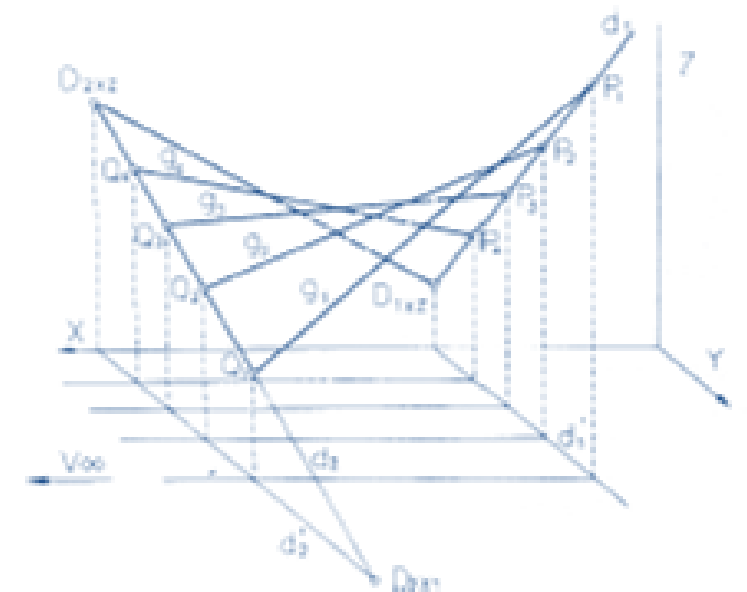
GENERACION DE LA SUPERFICIE



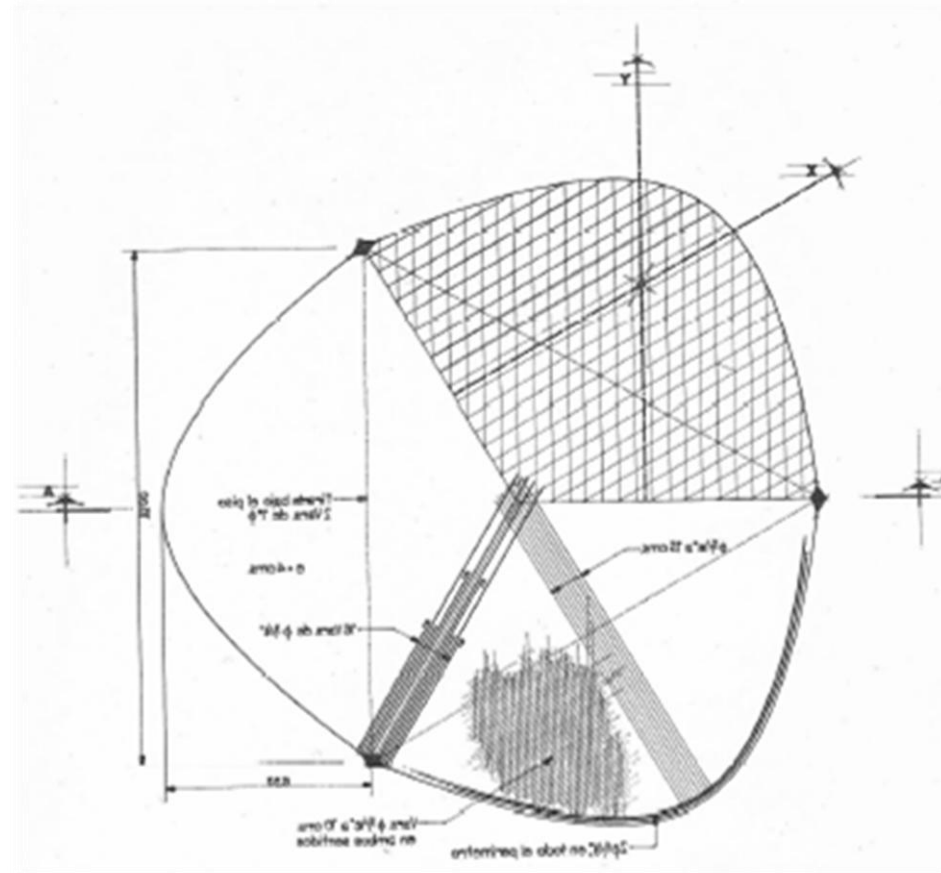
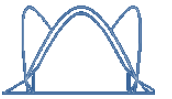
La superficie se va creando por el movimiento sin deformación de una parábola a lo largo de un eje. La parábola se mueve paralela a si misma de manera que su vértice apoye constantemente sobre otra parábola directriz w cuyo eje es paralelo al de la parábola generatriz aunque ésta llevará la concavidad en el sentido contrario al que se encuentra esta.



Como superficie reglada, se crea a partir de tres directrices rectas que se cruzan, siendo una de ellas impropias. Es decir, obligando a las generatrices rectilíneas a que apoyen en las dos directrices propias y a mantenerlas en un plano director.

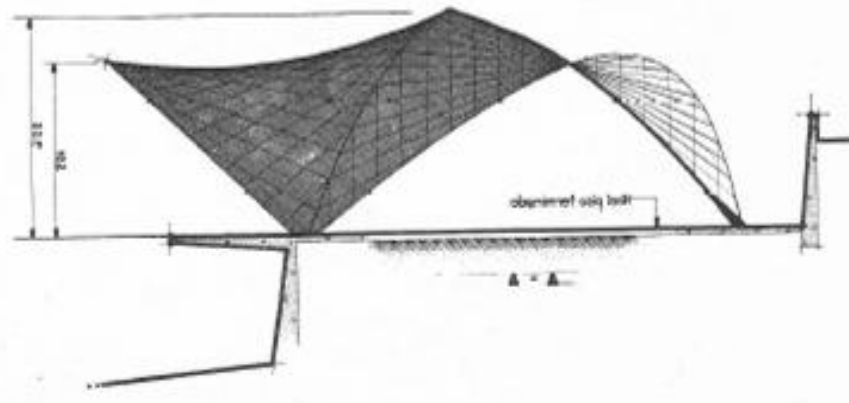


A partir de las generatrices rectilíneas que apoyan sobre dos series puntuales protectivas semejantes contenidas en dos rectas que se cruzan. La serie de puntos P1 P2 P3 Pn, que contenida en d1 es proyectiva y semejante de la serie de puntos Q1 Q2 Q3 contenida en d2



BORDE LIBRE

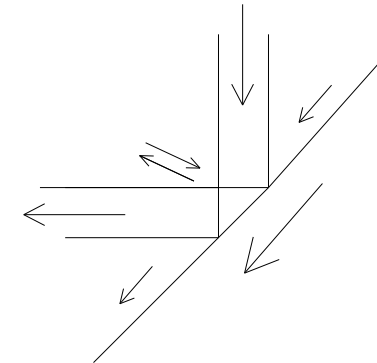
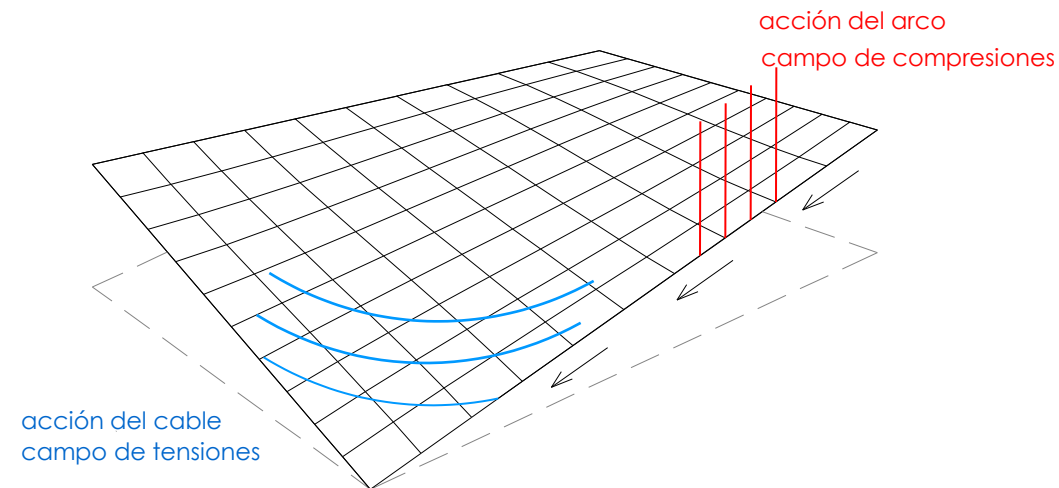
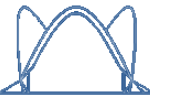
Félix Candela, llegó a ser conocido como el principal diseñador de cascarones en el mundo, siendo una de las personas que mejor haya comprendido el mecanismo resistente de las estructuras en general y de las de hormigón en particular. Fue además mundialmente conocido por sus cubiertas con formas obtenidas a partir del paraboloides hiperbólico. Él mismo llegó a decir que “todas las obras que envío están hechas de paraboloides hiperbólicos, y la posibilidad de combinaciones que den apariencias muy diversas es bastante grande, aunque no inagotable...”.



Candela tenía un reto, una obra donde pudiese desarrollar el borde libre. Se trataba una construcción excluyendo vigas de borde y costillas rigidizadoras, que son elementos lógicos que hasta ese momento desempeñaban una función necesaria en la resolución de cualquier construcción. A esta idea, llegó principalmente por la estética, por un deseo de llegar a la esencia del cascarón y expresarla visualmente.

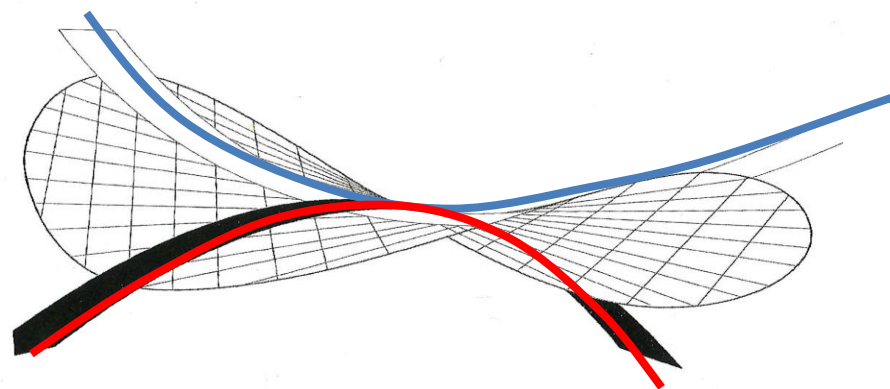
Obras en las que se lleva a cabo esta idea innovadora y más similar a lo diseñado en el Oceanográfico de Valencia son: La Jacaranda, Acapulco en 1957, de similar diseño al edificio del Acceso, por la intersección de 3 lóbulos y de 8 es el restaurante Xochimilco, en 1957, parecido al Restaurante del Oceanográfico, Valencia.

En cualquiera de estas obras no se puede eliminar ni un solo elemento más, no existe nada que oculte la delgadez, ni costillas, ni puntales, ni estabilizadores. Tan sólo la forma en la que van las membranas es lo que da la resistencia para mantenerse. El plano adjunto es una muestra de la simplicidad de la estructura que está diseñada. El vértice del cascarón es más alto que los bordes, las parábolas de los arcos diagonales, son puntos de inflexión. Por tanto el ángulo formado por las dos superficies adyacentes a una arista cambia de curvatura, siendo plano en el punto medio. Ésto se tiene en cuenta en los cálculos de éstas aristas considerándolas como arcos de cuatro articulaciones, con clave rígida.



Equilibrio de fuerzas de un elemento de borde, debido a la orientación inclinada de las resultantes, los apoyos también absorben el empuje horizontal.

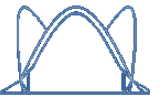
Candela llega a dar con una estructura estática, completamente resistente y consiguiendo un perfecto comportamiento con una excelente imaginación. Ello se resume en las estructuras laminares, caracterizadas por contar con cotas altas y ser construidas con rótulas en los apoyos. Dependiendo de la forma que adopte la lámina y el material elegido para llevarla a cabo, será más o menos eficaz el resultado. En el caso de la cubierta que estamos estudiando, se realizó con



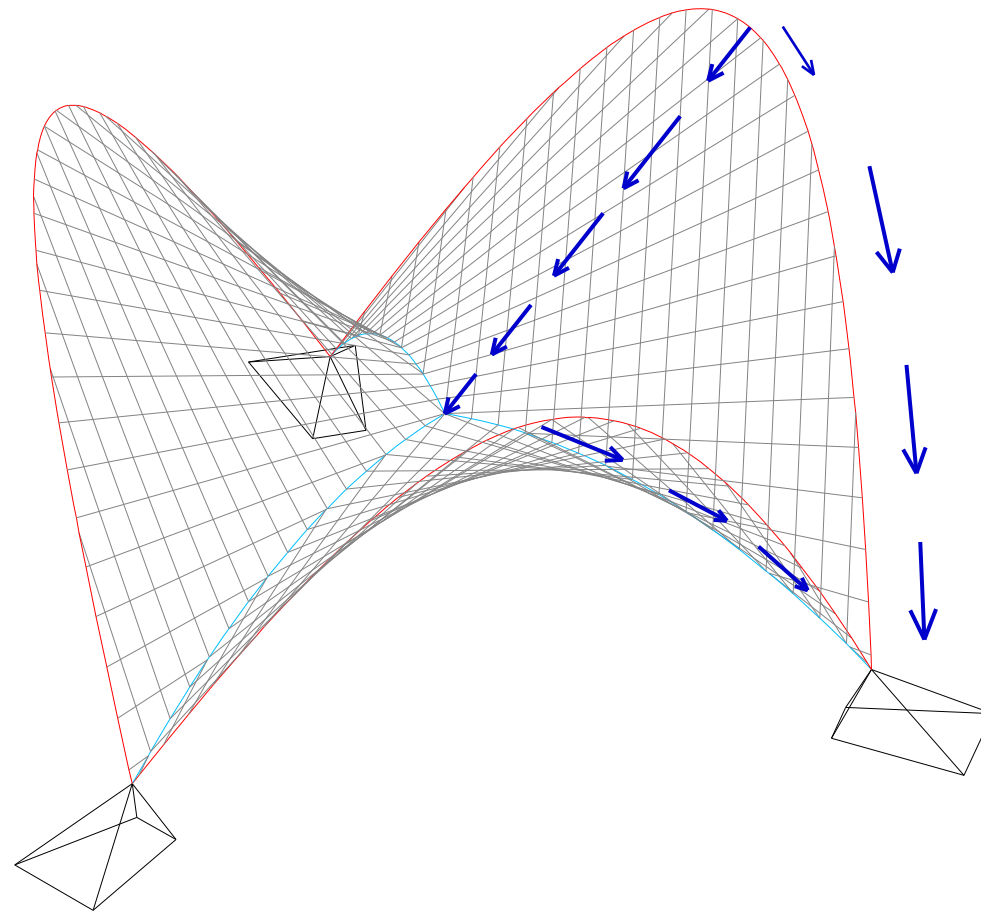
hormigón armado, por tanto puede trabajar a compresión y tracción, pero debido al espesor que puedan alcanzar las láminas, se recomienda limitar los esfuerzos de tracción todo lo posible. La superficie elegida para el diseño del edificio de Acceso al Oceanográfico es el paraboloide hiperbólico, es una superficie de curvatura doble anticlástica, caracterizadas por tener las curvaturas principales de sentidos opuestos. Un paraboloide hiperbólico cuenta con dos mecanismos resistentes debido al diferente signo de las curvaturas principales:

Arco (compresión) en un sentido

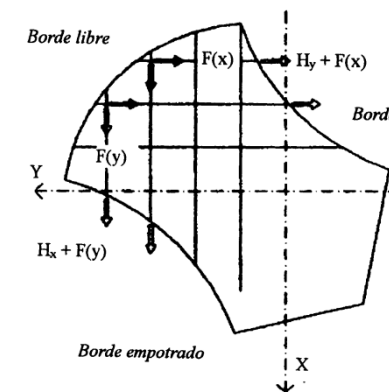
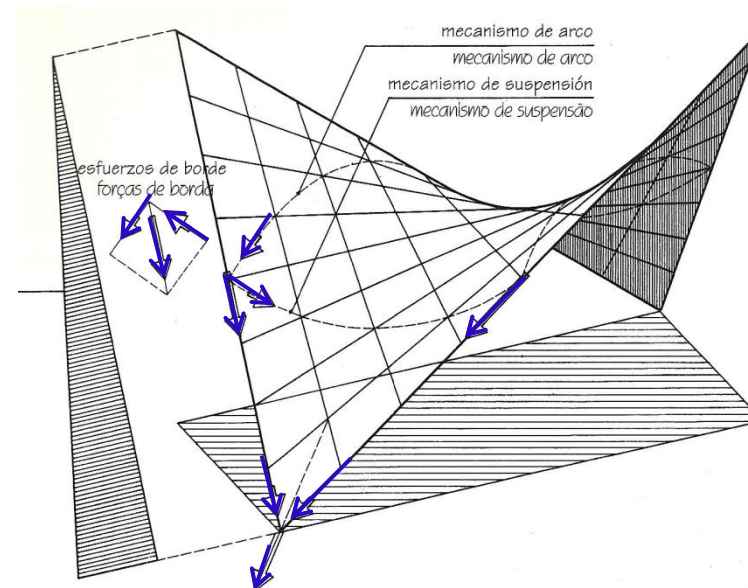
Cable (tracción) en el sentido ortogonal



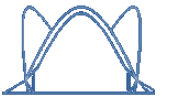
e



Las cargas se transmiten a los bordes por mecanismo de arco según un eje y por suspensión según el otro. El borde absorbe la resultante del empuje y de la tracción, por la orientación inclinada de las resultantes, los apoyos han de absorber también el empuje horizontal. Mientras que los esfuerzos de compresión tienden a deformar la membrana según el eje, los esfuerzos de tracción según el otro eje van a tender a contrarrestar esta deformación.



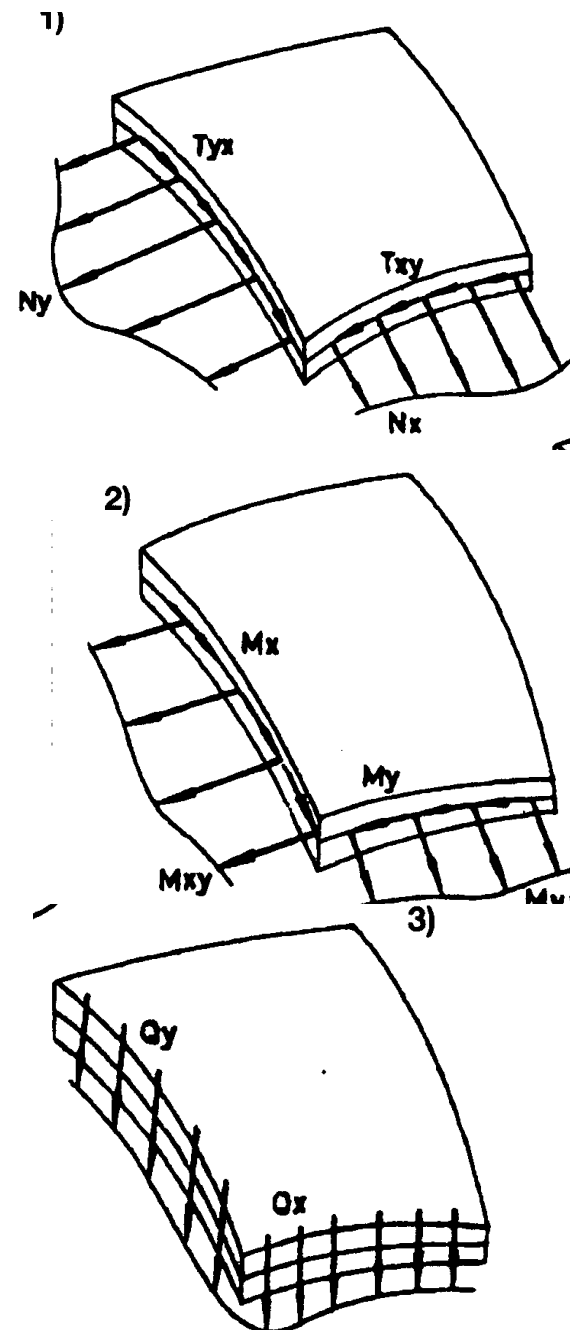
Las generatrices actúan como tensores que transmiten las cargas desde los bordes libres hasta los apoyos



ESTADO TENSIONAL DE UNA MEMBRANA

Para poder dimensionar una estructura laminar, tenemos que conocer el estado tensional al que está sometida. Descomponemos la estructura para analizar en cada elemento diferentes esfuerzos que pueden aparecer:

- 1) Esfuerzos de membrana: se producen en el mismo plano que el elemento (normales y tangenciales a la sección).
- 2) Esfuerzos de flexión: formados por pares de flexión y torsión.
- 3) Esfuerzos cortantes: (Perpendiculares a los esfuerzos de membrana)



Para que no existan flexiones en el cascarón se realiza la superficie de la cubierta de doble curvatura, es decir que tenga una forma geométrica inmutable siempre que no se produzcan alargamientos o acortamientos considerables.

La construcción de éste tipo de estructuras se suele resolver con hormigón armado, material inextensible, las variaciones de longitud sólo son posibles cuando sobrepasan el valor del límite elástico del material. Lo que lleva a decir entonces que no pueden aparecer flexiones, pues tiene que ir acompañadas de un cambio de forma o de curvatura de la lámina. Condicionantes a tener en cuenta:

- Lámina de pequeño espesor.
- Ausencia de cargas puntuales.

(motiva a que no se produzcan diferencias de estado tensional apreciables entre la cara superior e inferior de la lámina)

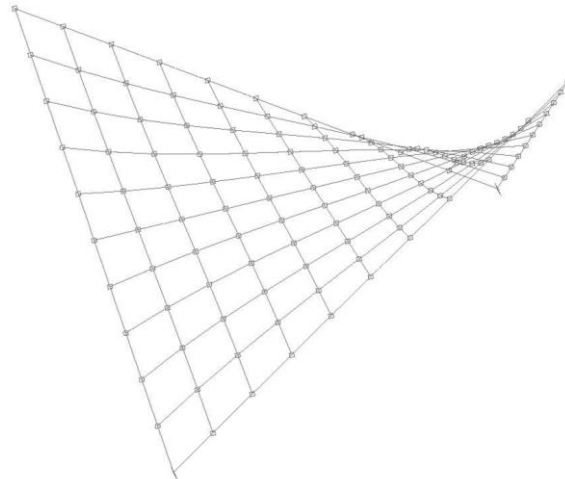
- Ausencia de cambios bruscos de la curvatura.
- Curvaturas rebajadas.

(proporciona que no se produzcan diferencias errores apreciables al proyectar sobre un plano)



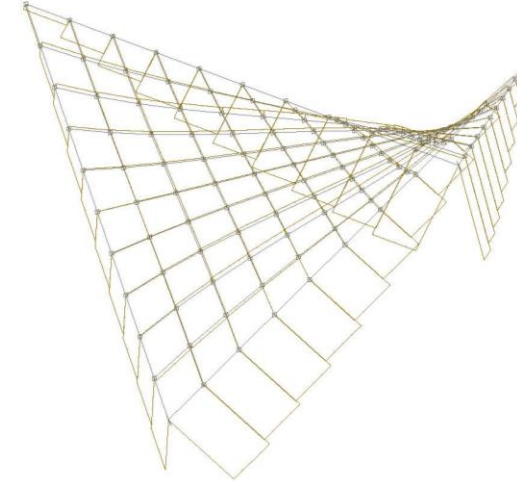
DIAGRAMA DE ESFUERZOS DE UN PARABOLOIDE HIPERBOLICO

DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA



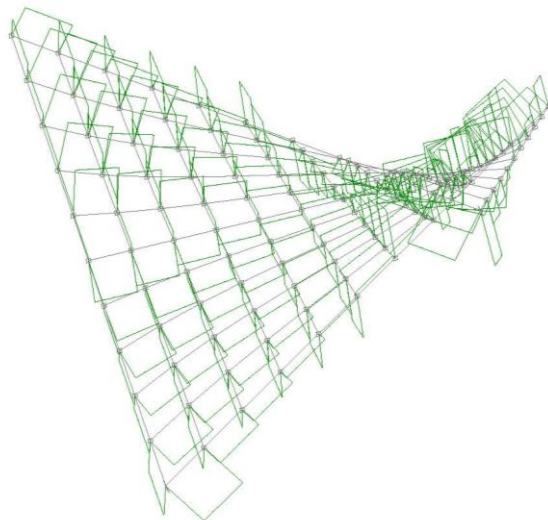
Paraboloide hiperbolico antes de aplicarle ninguna carga, por tanto no ha sufrido ninguna deformación y los esfuerzos son nulos.

ESFUERZOS AXILES



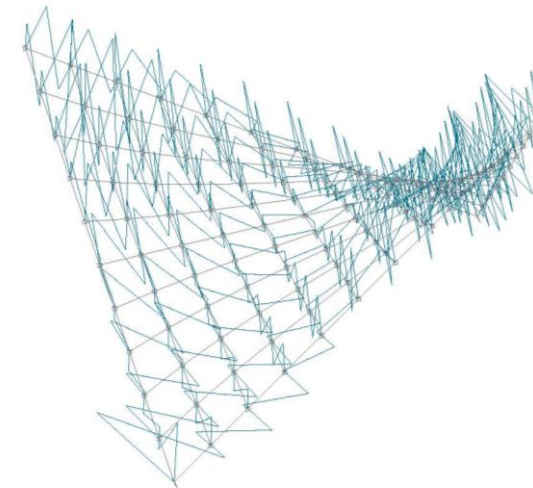
Esfuerzo perpendicular al plano sobre el que se aplica la fuerza de compresión, uniforme en su superficie. Se aprecian valores altos en el borde de la superficie.

ESFUERZOS CORTANTES



Esfuerzo resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal, los valores son mayores y positivos en los extremos de la lámina.

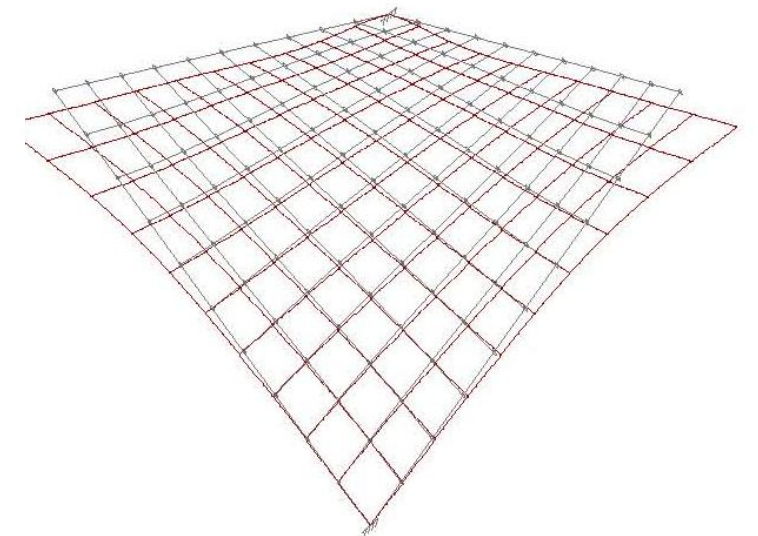
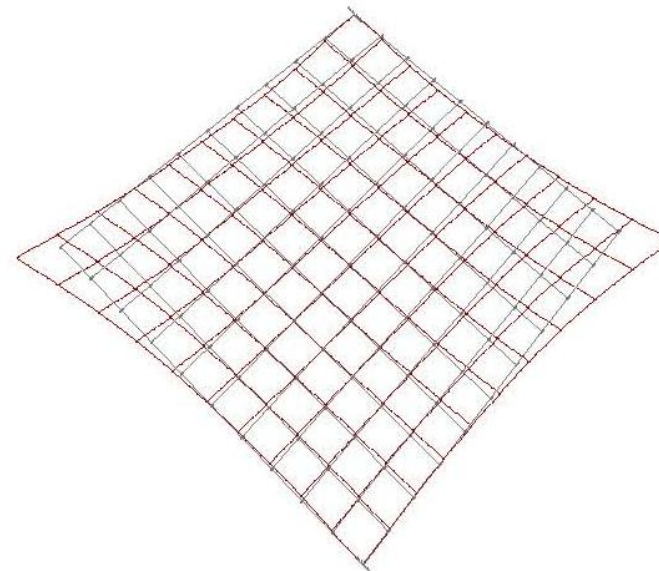
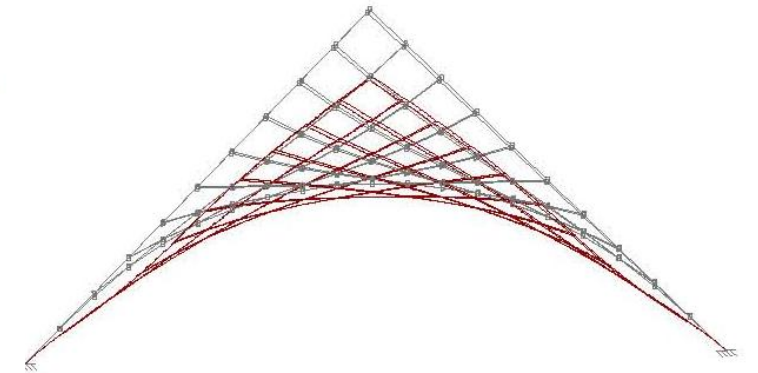
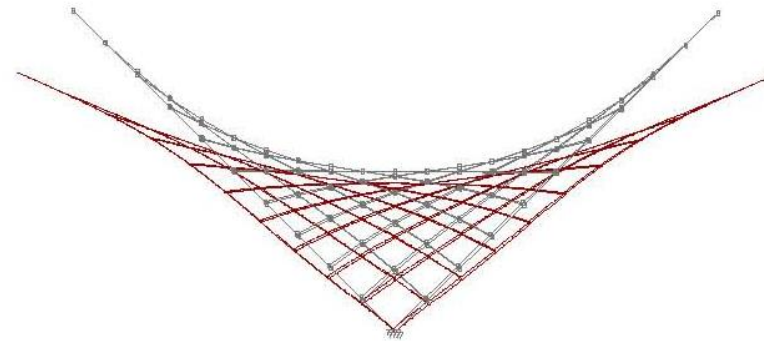
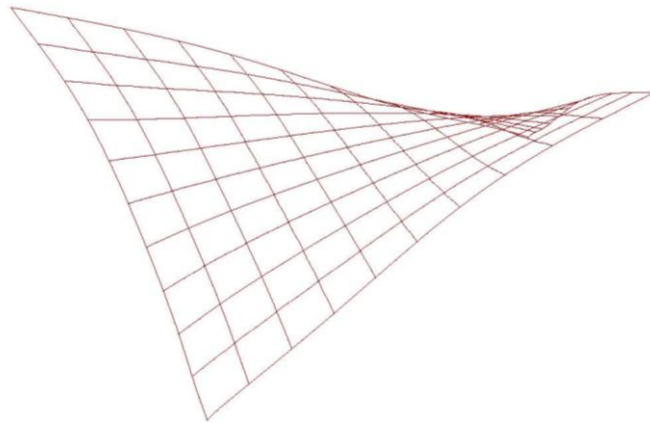
ESFUERZOS DE MOMENTO FLECTOR



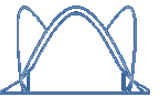
Esfuerzo resultante de distribución de tensiones en una sección transversal aplicando flexiones. Comportamiento con poca flexión salvo en la unión cáscara - apoyo, donde las flexiones son iguales pero en signo contrario.



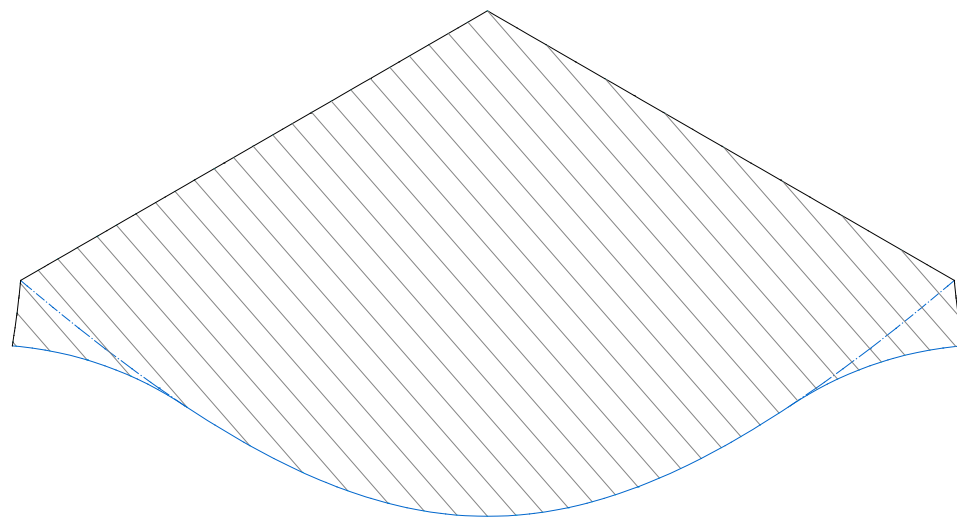
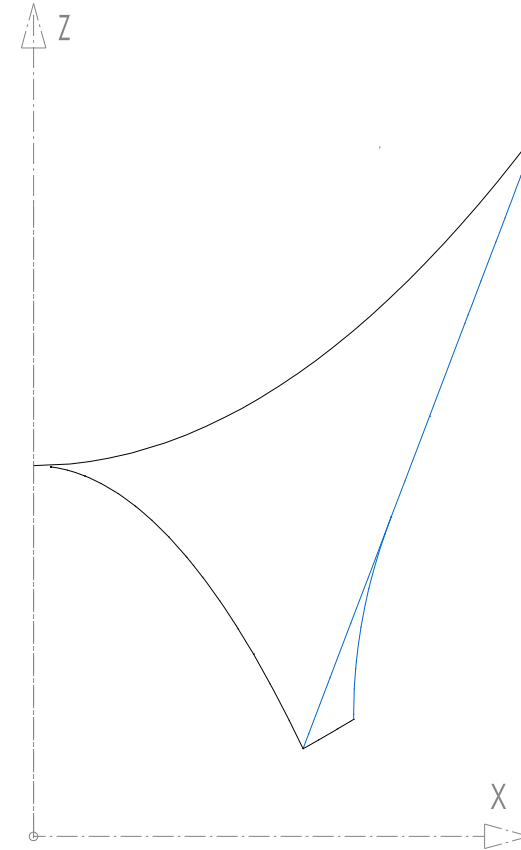
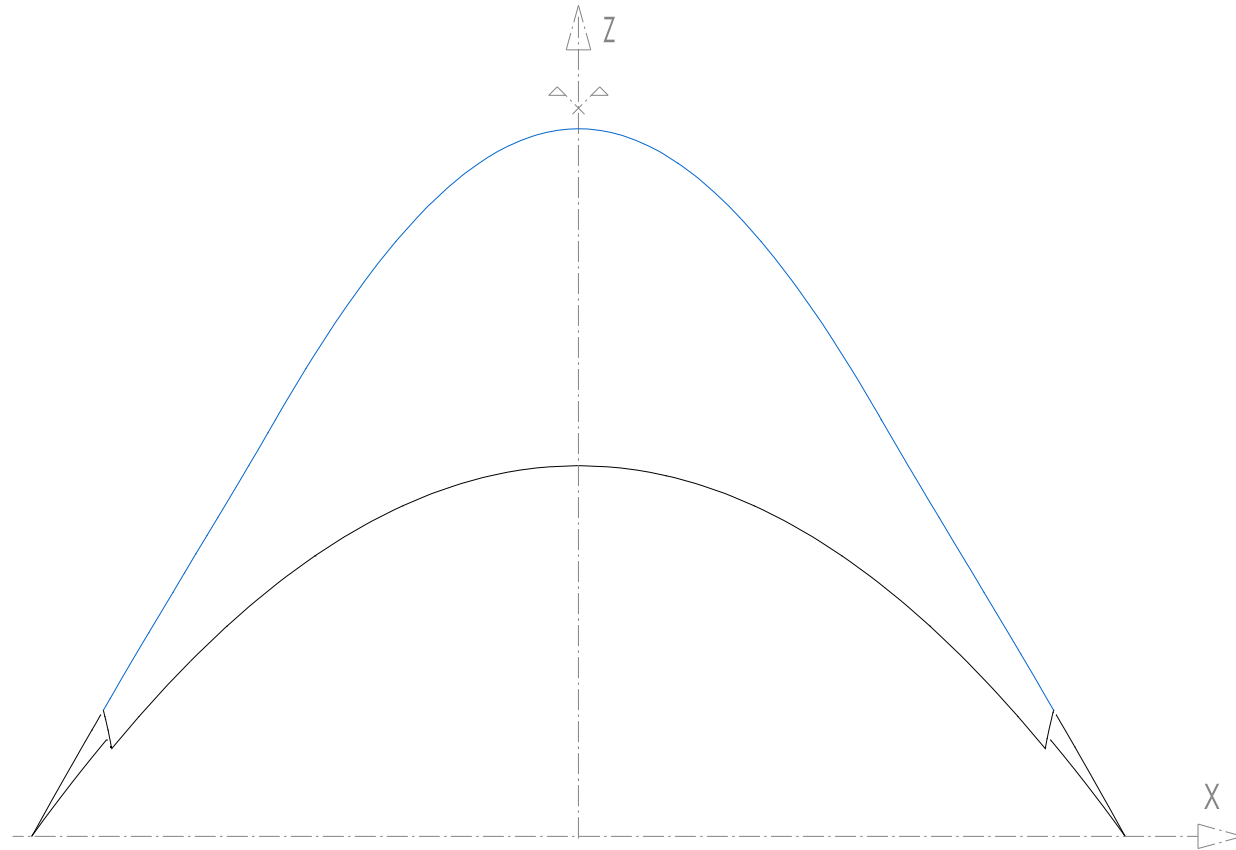
DEFORMADA DE UN PARABOLOIDE HIPERBOLICO



La resistencia del material no es el único parámetro que debe utilizarse al diseñar una estructura; controlar las deformaciones para que cumpla con el propósito para el cual se diseñó tiene igual importancia. El análisis de deformación se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas. Los esquemas adjuntos muestran la deformación bajo las condiciones de carga seleccionadas.



e

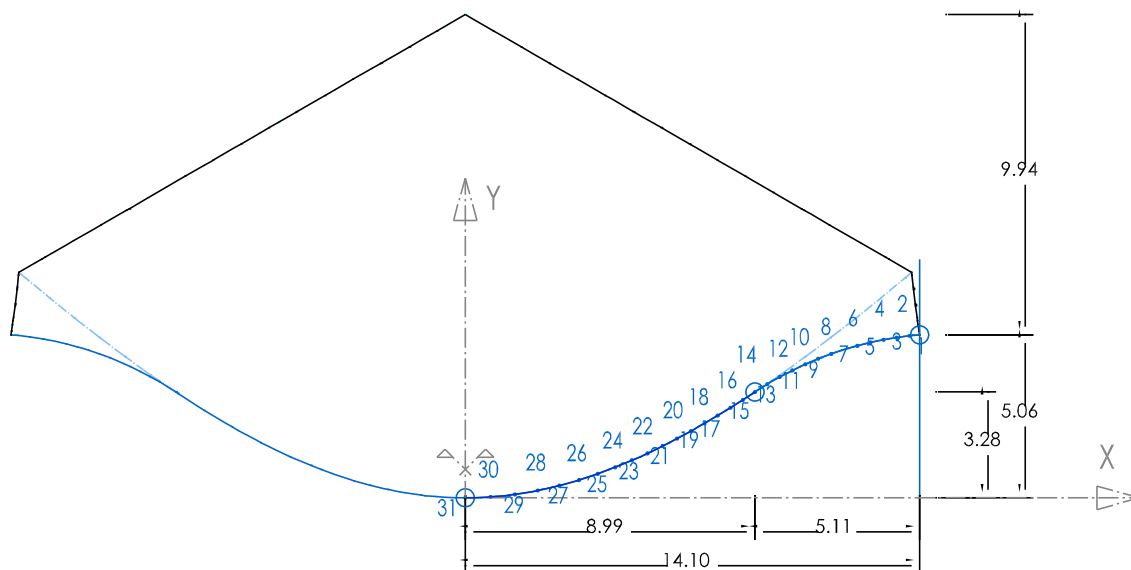
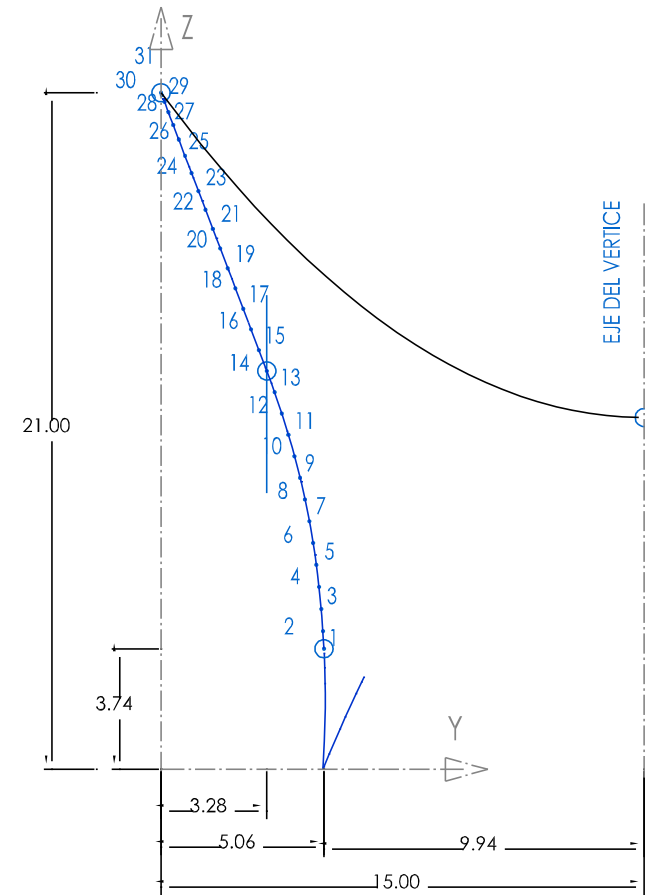
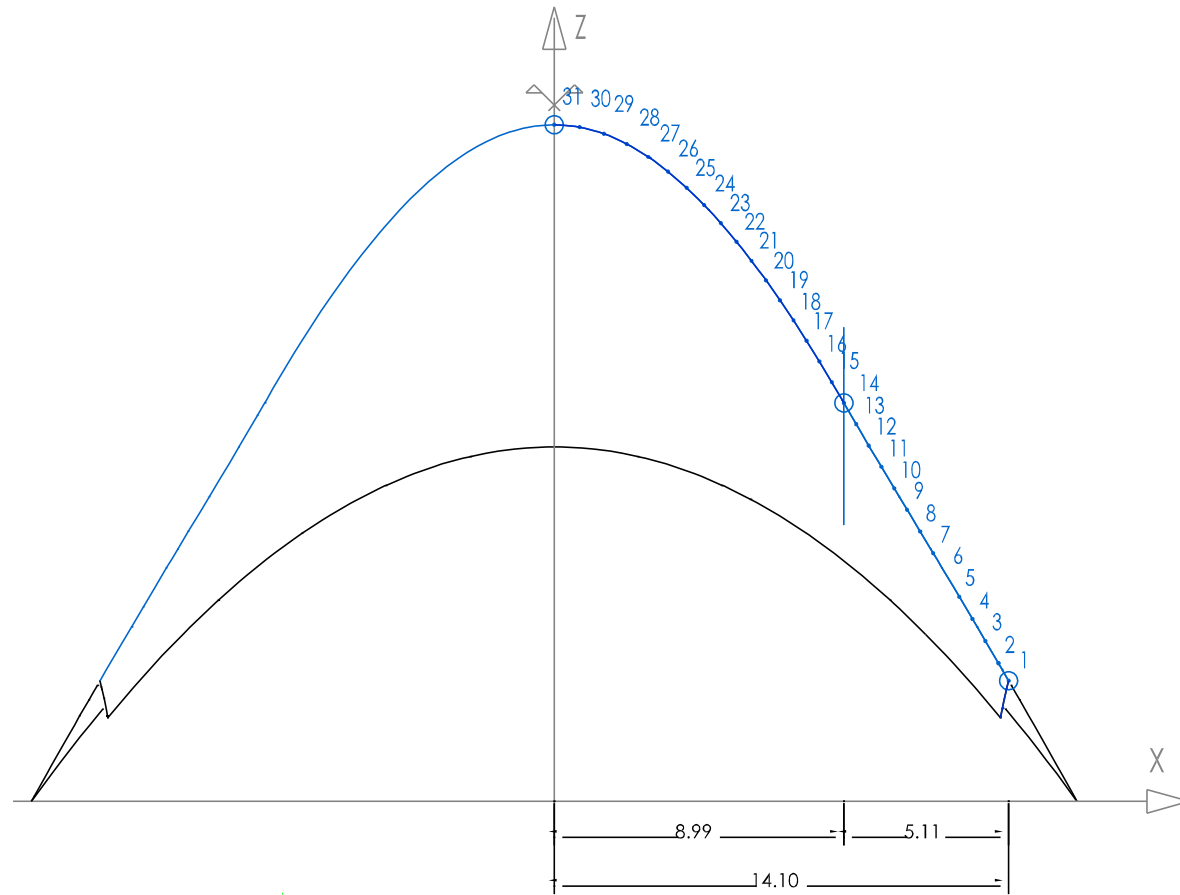


4.1 Borde libre de cubierta del edificio de acceso

Geometría del borde libre de la cubierta del edificio del Acceso e: 1/100



e



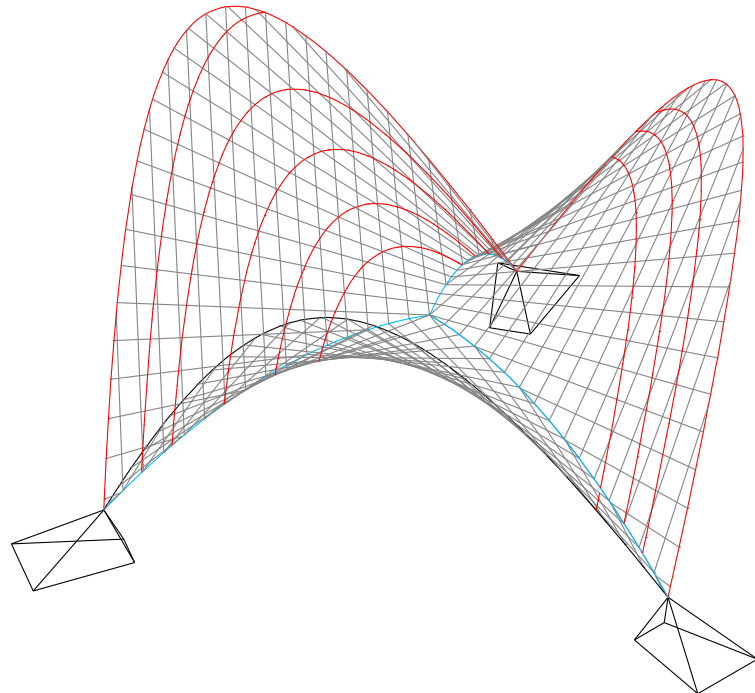
PUNTO	X	Y	Z
1	14.1036	5.0583	3.7435
2	13.7856	5.0274	4.2904
3	13.3830	4.9747	4.9777
4	12.9790	4.9062	5.6627
5	12.5738	4.8217	6.3453
6	12.1679	4.7206	7.0252
7	11.7620	4.6027	7.7024
8	11.3568	4.4676	8.3768
9	10.9530	4.3150	9.0483
10	10.5516	4.1446	9.7169
11	10.1536	3.9564	10.3827
12	9.7600	3.7503	11.0460
13	9.3721	3.5264	11.7067
14	8.9911	3.2849	12.3653
15	8.6142	3.0384	13.0133
16	8.2284	2.7936	13.6568

PUNTO	X	Y	Z
17	7.8328	2.5508	14.2950
18	7.4262	2.3104	14.9270
19	7.0070	2.0726	15.5520
20	6.5739	1.8381	16.1685
21	6.1246	1.6074	16.7748
22	5.6569	1.3814	17.3689
23	5.1678	1.1612	17.9476
24	4.6537	0.9484	18.5071
25	4.1105	0.7449	19.0420
26	3.5328	0.5538	19.5443
27	2.9151	0.3793	20.0030
28	2.2519	0.2275	20.4019
29	1.5402	0.1069	20.7191
30	0.7840	0.0279	20.9266
31	0.0000	0.0000	21.0000

Replanteo de los extremos de las generatrices de la superficies del intradós E:1/100

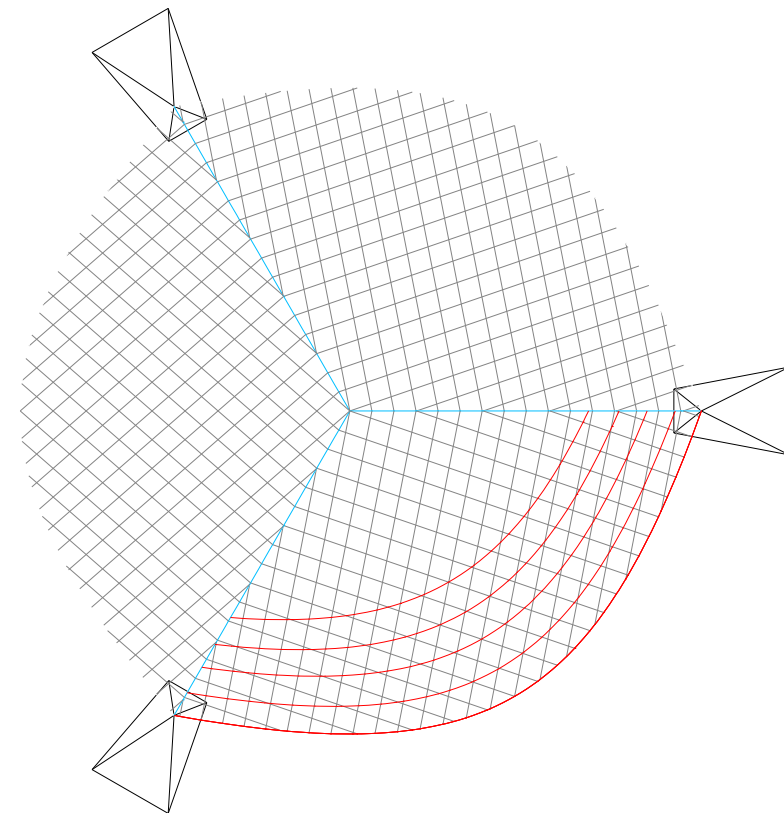
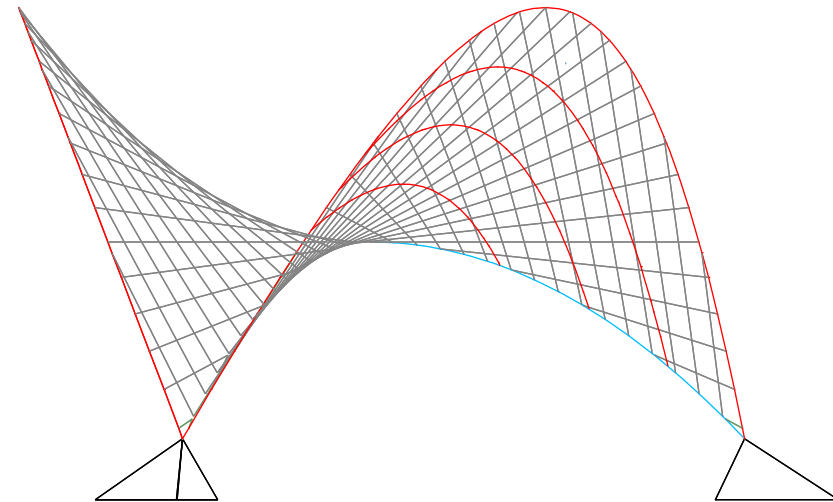


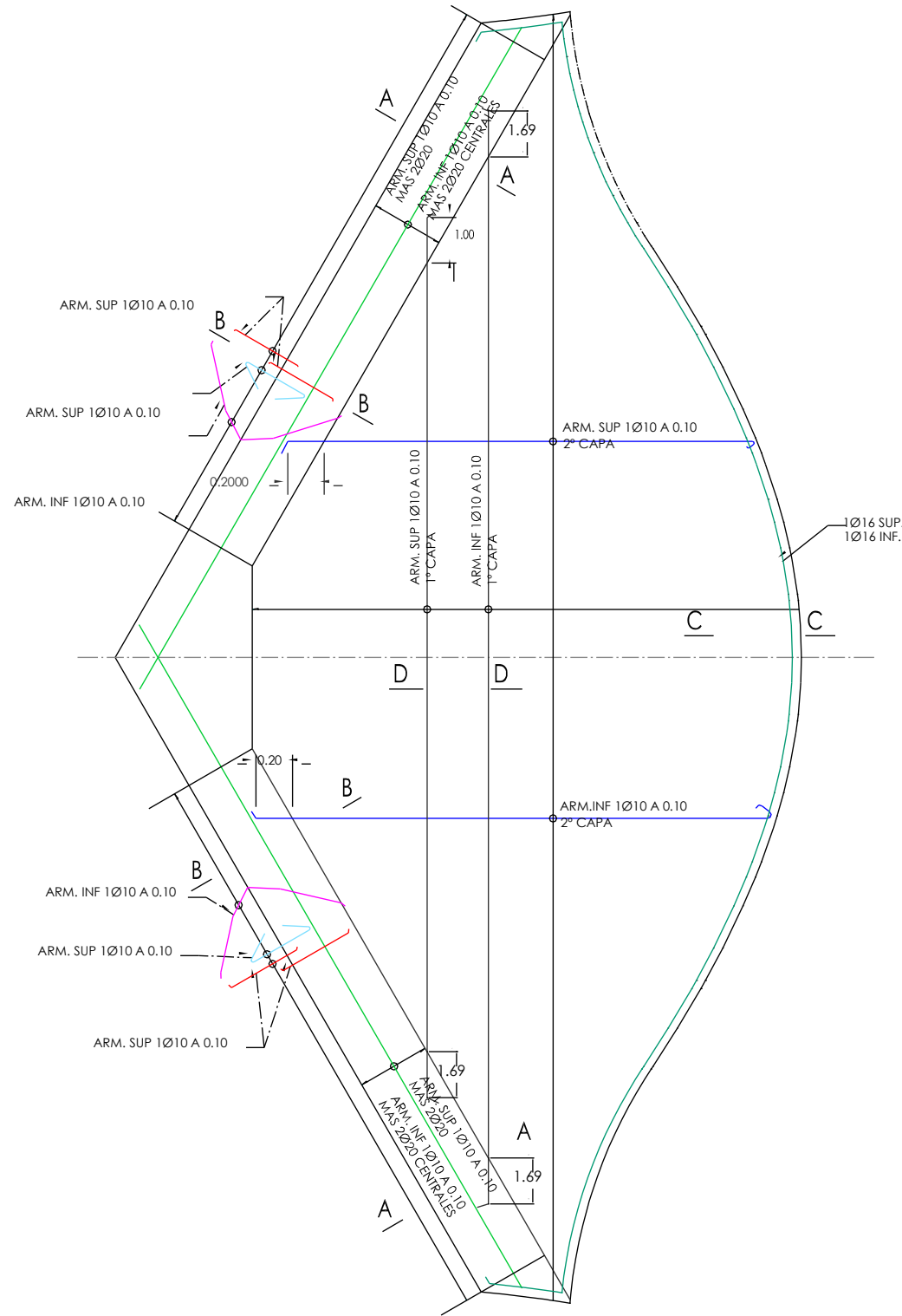
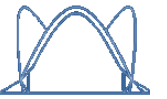
FORMA DE TRABAJO DEL HYPAR



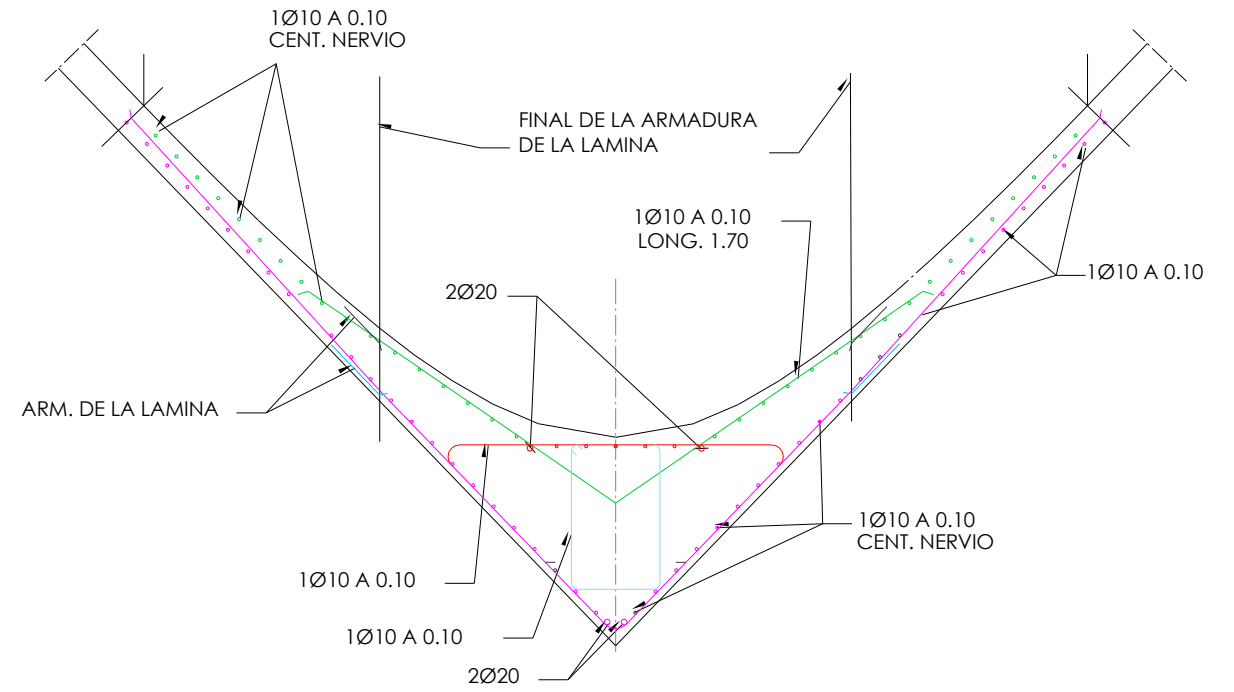
En cuanto a la forma de trabajo todo el elemento está trabajando a compresión. Los tres arcos centrales (las generatrices) trabajan a compresión (líneas azules del detalle explicativo). Además el espacio que queda entre cada uno de ellos, también se puede dividir en arcos imaginarios que de la misma manera (ver las líneas rojas del esquema explicativo).

Geometría del borde libre de la cubierta del edificio del Acceso e: 1/100

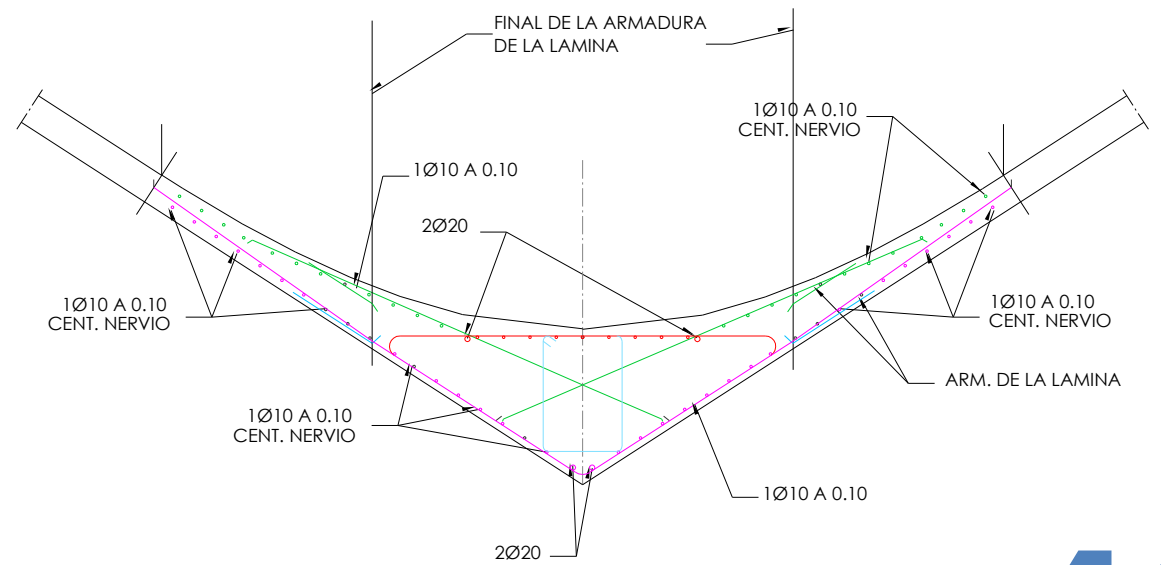




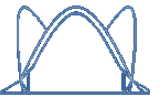
Planta esquemática.-armadura superior e inferior



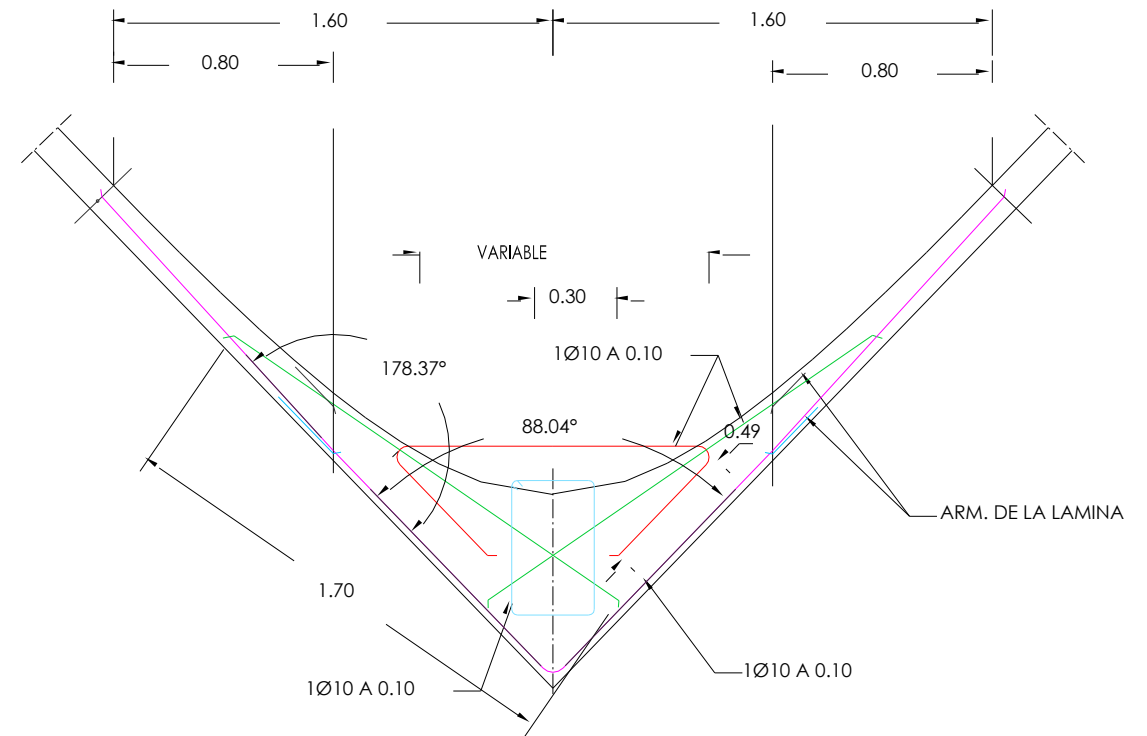
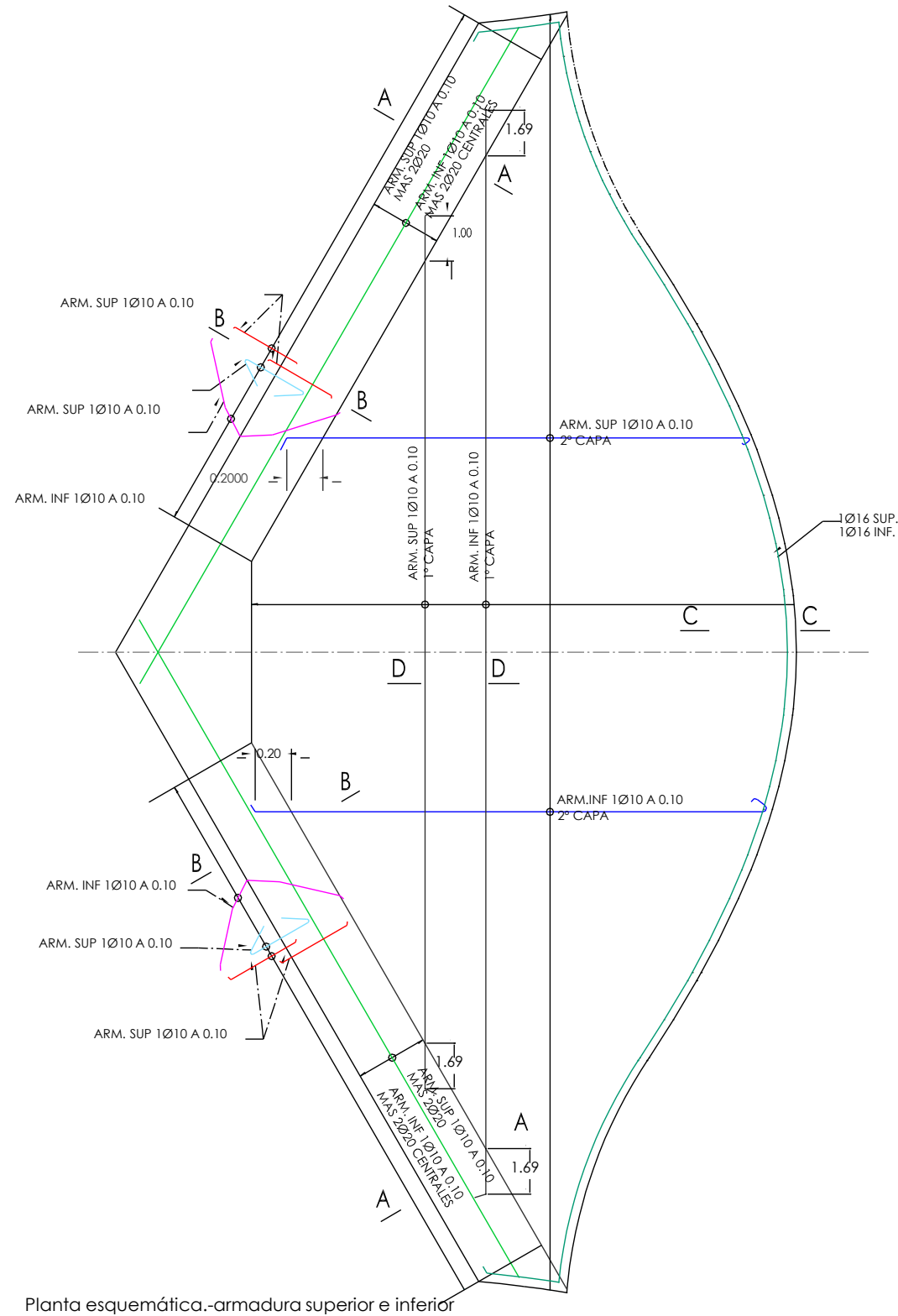
Alzado - sección A-A'



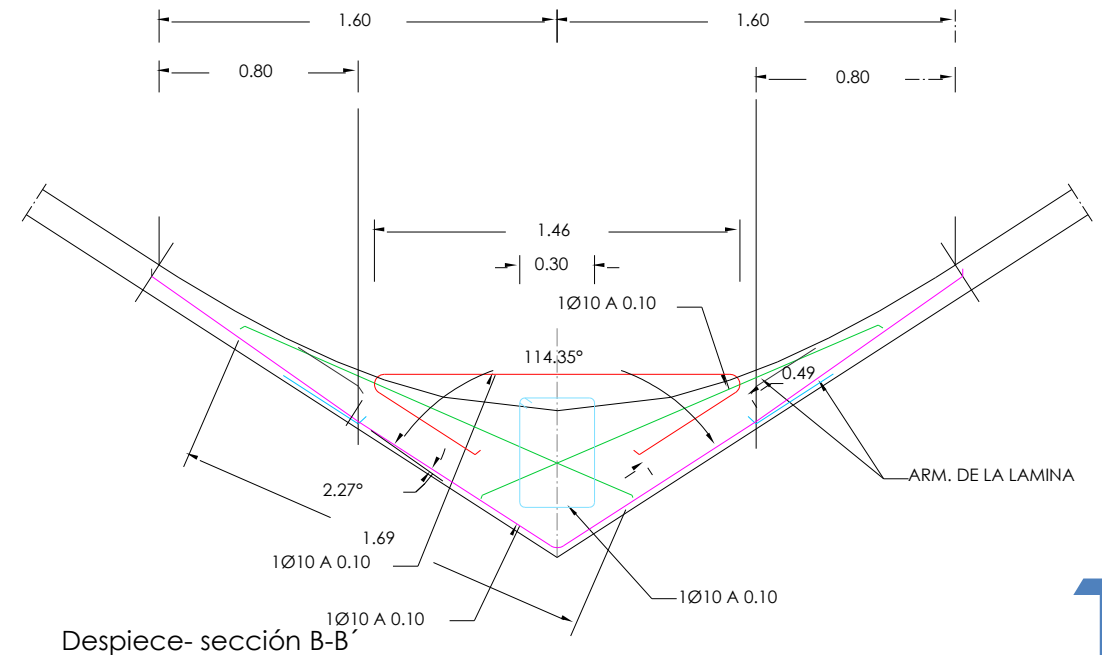
Alzado - sección B-B'



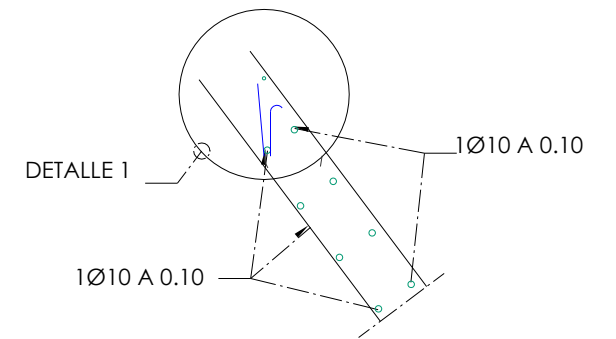
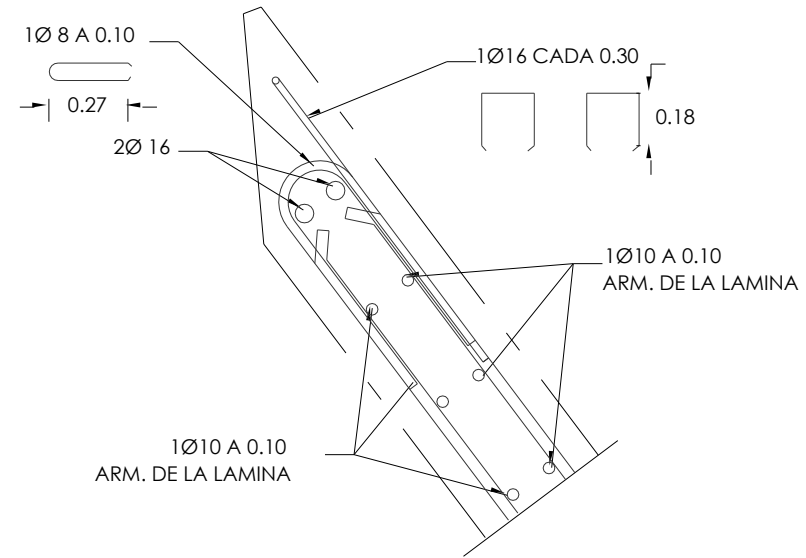
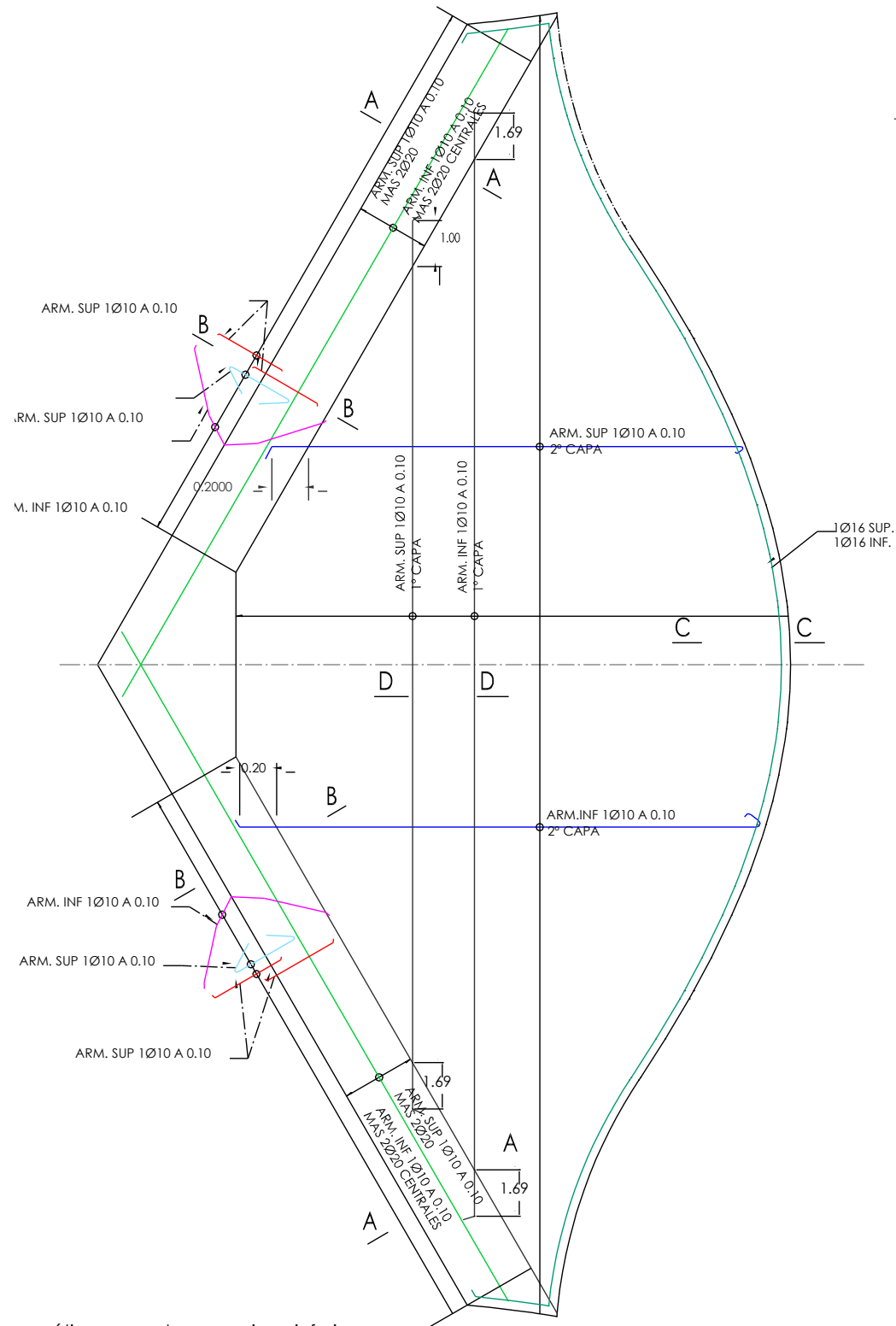
DESPIECE - SECCION A-A'



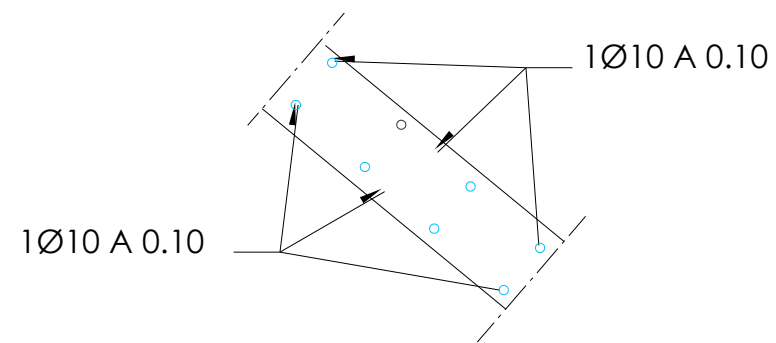
Despiece- sección A-A'



Despiece- sección B-B'

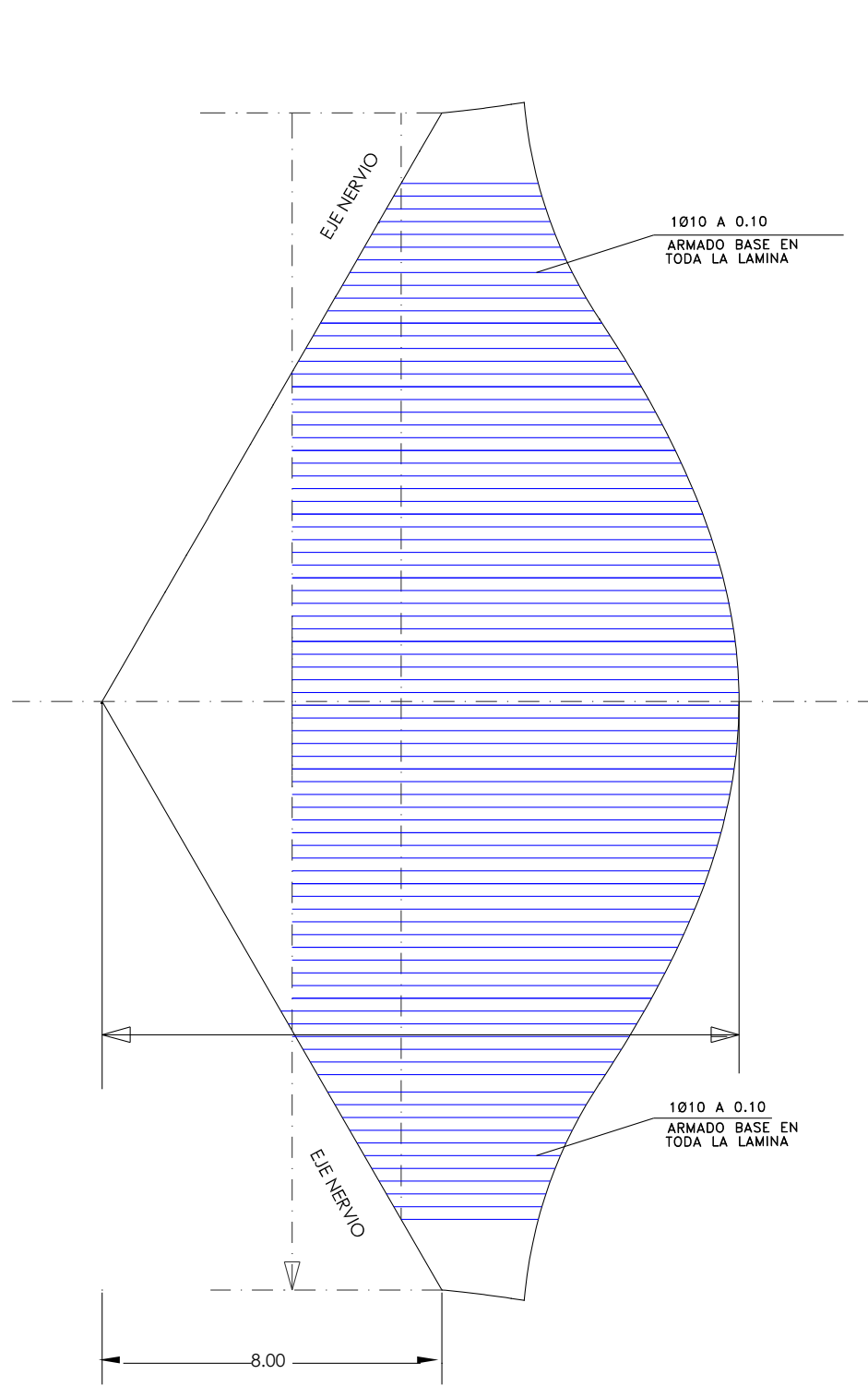


Sección C-C'

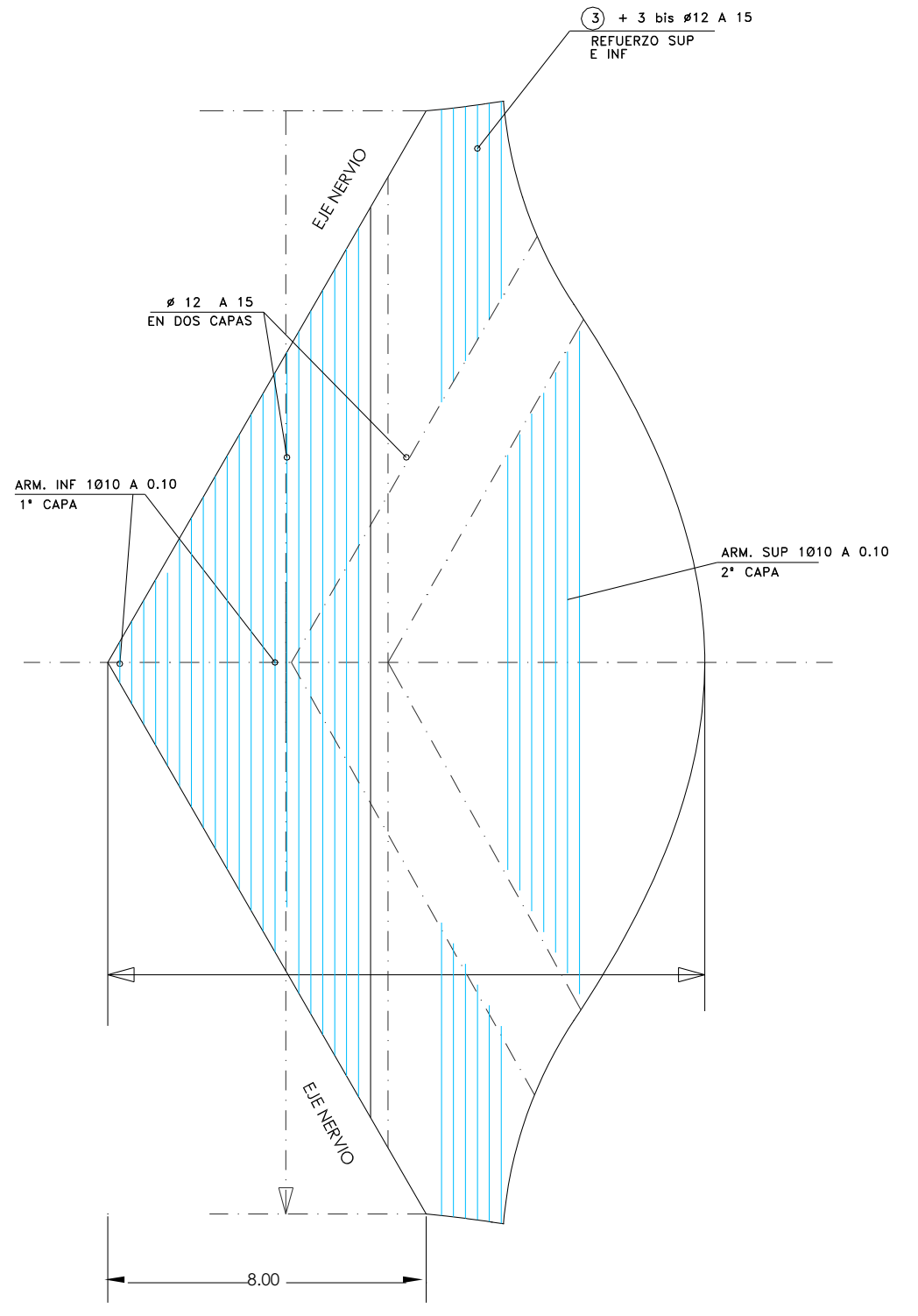


Sección D-D'

Planta esquemática.-armadura superior e inferior

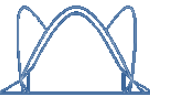


ESCALA 1:50



ESCALA 1:50

Planta esquemática.-armadura superior e inferior

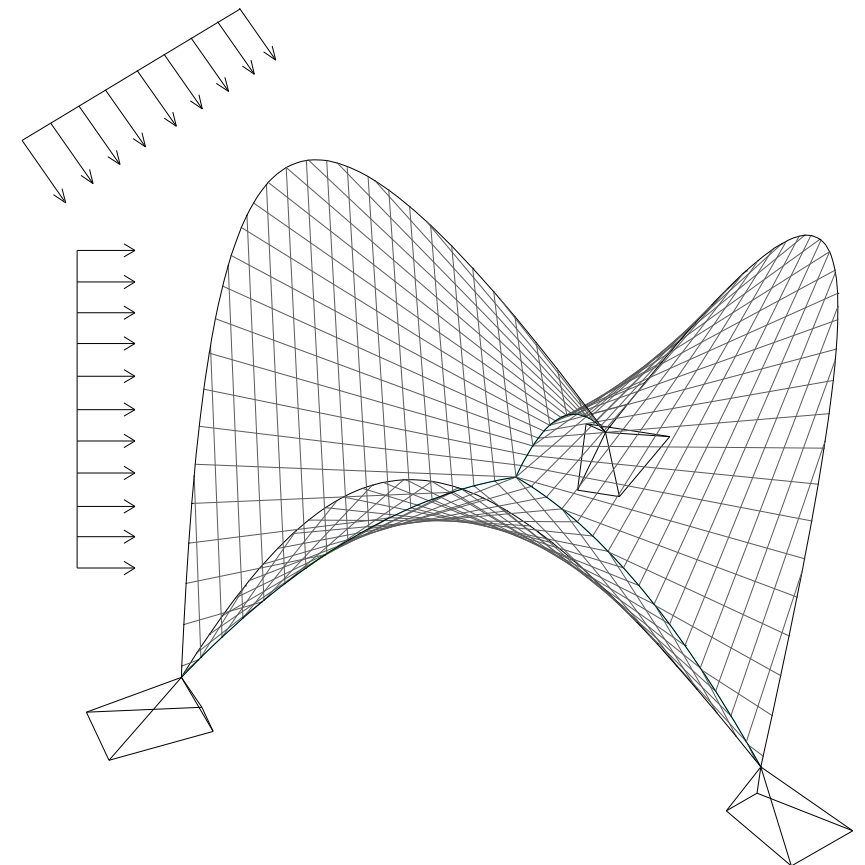


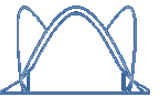
CÁLCULO DE CARGAS:

El cálculo de cargas con el que se ha resuelto la estructura se ha basado, siempre que ha sido posible con la Normativa Española.

- Peso: Peso propio de la estructura, calculado para una densidad de 25 KN/m³.
- Cargas permanentes de valor no constante.
- Fuerzas sísmicas: Sus efectos se han calculado usando un análisis modal espectral en concordancia con las recomendaciones de la normativa española NCSE-94.

- Nieve: Debido a que la fuerza de mantenimiento es mayor, la nieve no es considerada.
- Temperatura: Se considera un aumento hasta 20°C en verano y -20°C en invierno.
- Viento, se calcula teniendo en cuenta que puede actuar en 2 direcciones. Su efecto es extrapolado dada la simetría radial de la estructura. La primera dirección es paralela al eje del lóbulo. La segunda dirección es paralela al plano vertical que contiene el nervio. Éstas han sido calculadas de acuerdo a la normativa española y se ha tomado como base el valor de 0,5 N/m² y los valores de los coeficientes están en un valor de 0,8 tanto para presión como para succión. Vibración del 5% y coeficiente de ductilidad de 2, correspondiente al bajo nivel de ductilidad





EL APOYO DE LA LÁMINA

El análisis estructural del edificio se realizó en base a un modelo general de elementos finitos unidimensionales, construido con el software SAP 2000 (versiones 7 y 10). Interiormente la pieza se resuelve con una importante rigidización que permite canalizar los esfuerzos de los 3 arcos hacia el apoyo puntual sobre rótula esférica, que evita la transmisión de momentos a cimentación. La rótula funciona por contacto entre 2 superficies de acero de radio de curvatura ligeramente diferente para garantizar el contacto puntual, basando su comportamiento en la teoría de Hertz .

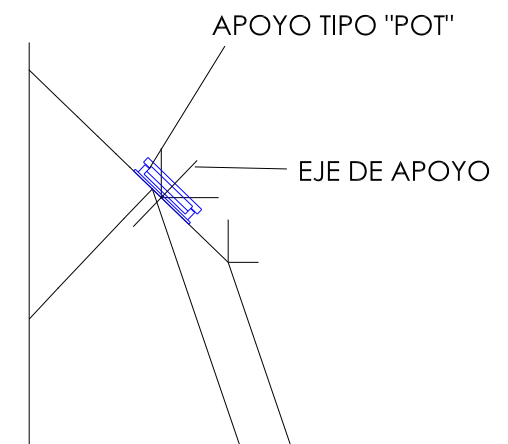
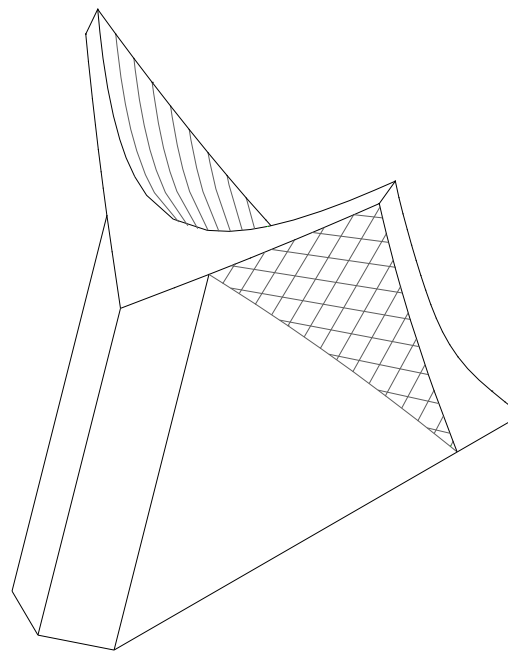


4.2 Apoyo de la lámina



4.3 Apoyo tipo elástico

Debido a la orientación inclinada de las resultantes, los apoyos han de adsorber también el empuje



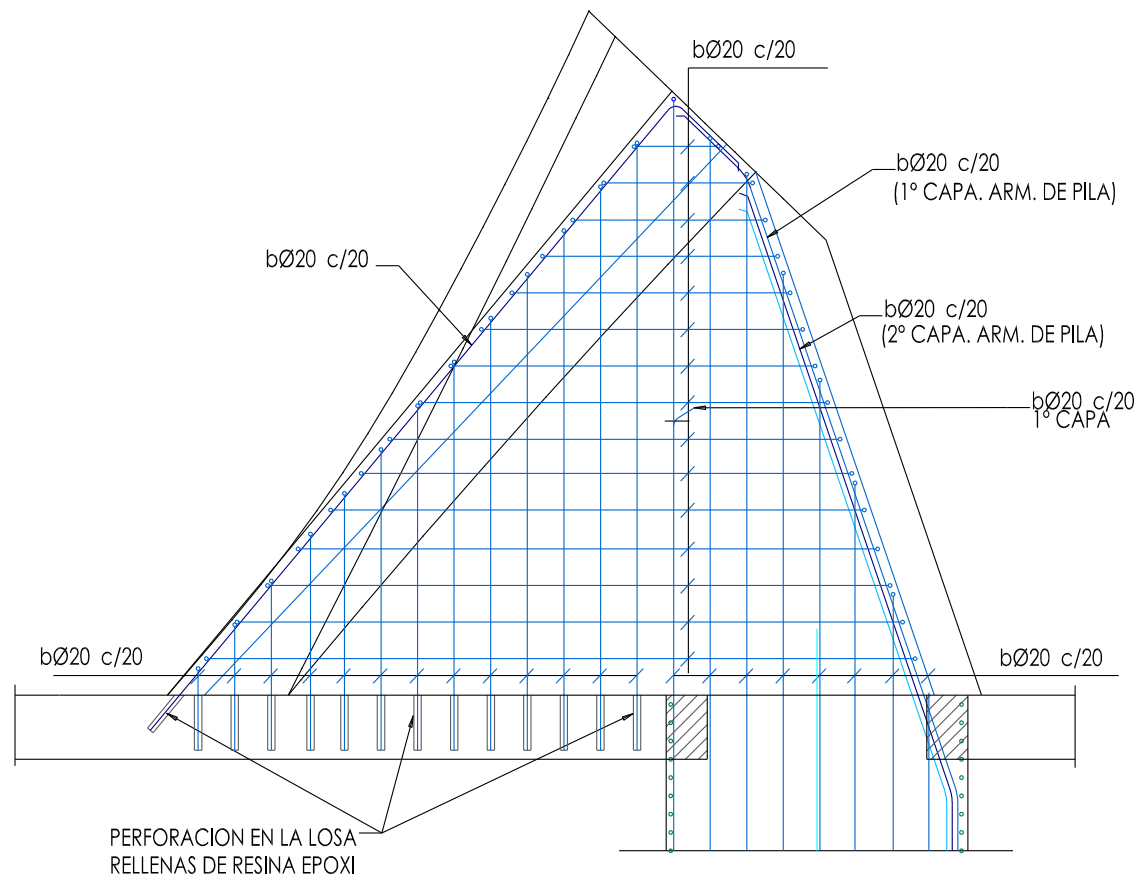


e

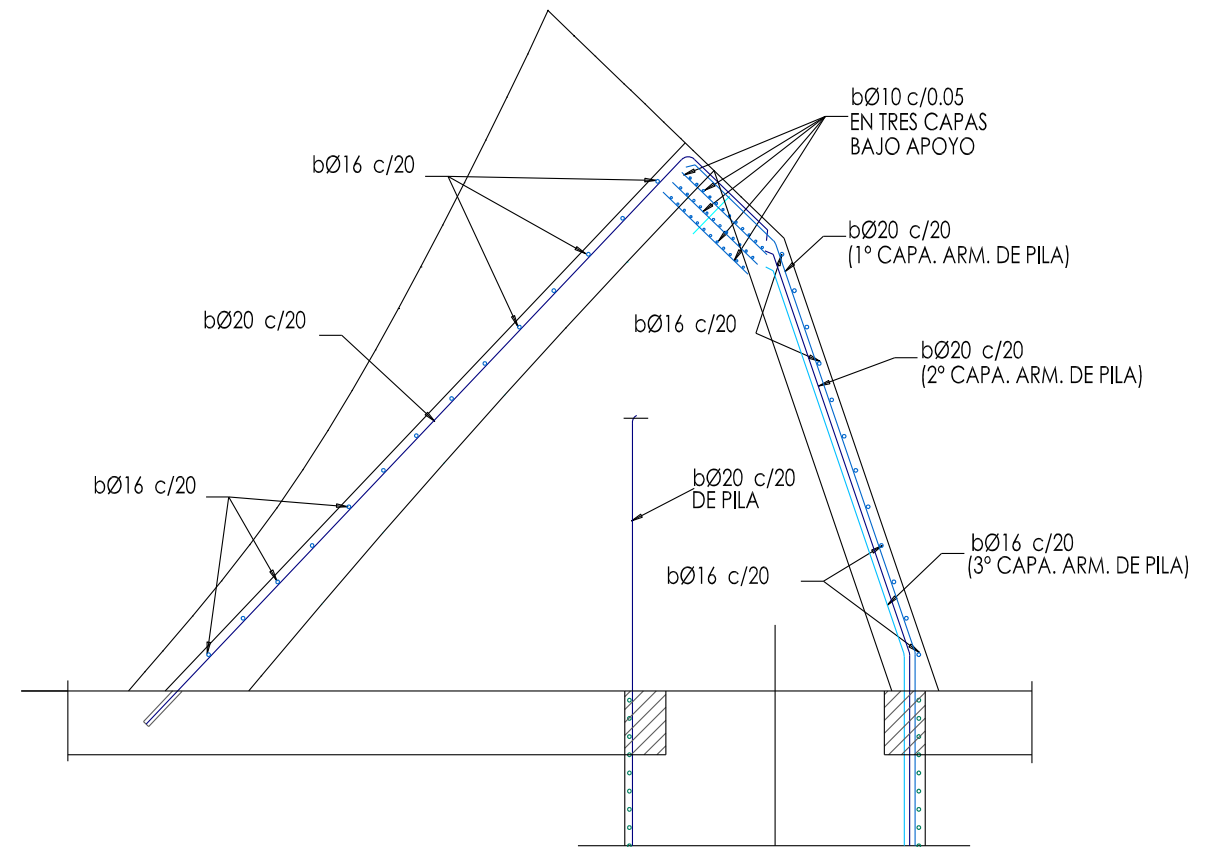
EL APOYO DE LA LÁMINA



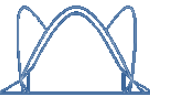
4.4 Apoyo tipo elástico



Sección A-A' Alzado Lateral E: 1/100



Sección B-B' Alzado lateral E: 1/100

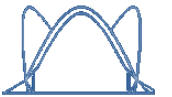


“La aplicación reiterada del principio de la curvatura elimina, en cada caso, los esfuerzos de flexión de la propia y permite mediante su empleo lógico e intuitivo, la transformación de las fuerzas externas en esfuerzos directos, también llamados de membrana, situados exclusivamente en la superficie del cascarón (...) Una membrana siempre está en equilibrio, cualquiera que sea su forma y cualesquiera que sean las cargas que la soliciten, siempre que sea inextensible de doble curvatura”

FELIX CANDELA

C ONSTRUCCIÓN:





C

Condiciones de replanteo:

La cubierta del edificio de Acceso al Oceanográfico de Valencia, está formada por tres lóbulos. El intradós de la lámina lo conforman tres paraboloides hiperbólicos. Cada uno de éstos paraboloides, se trata de una superficie reglada (puede generarse mediante el movimiento de una recta, denominada por ello generatriz), la gran ventaja que encontramos es la posibilidad de encofrar la superficie, alabeada con tablas rectas. La colocación de éstas tablas será según la dirección de una de las familias de generatrices porque, de hecho, es una superficie doblemente reglada.

Cimbra y encofrados:

El sistema de apeo que se va a utilizar es un sistema de andamios puesto que la carga a soportar es pequeña, el 90% de la lámina tiene un espesor de 12 cm.

El andamio forma una cuadrícula en planta de 1.50 * 1.50 m. Cada poste irá coronado por una abrazadera provista de un husillo para graduar la altura, dejando siempre un margen mínimo de 5 cm para desencofrar. Una fila de postes coincidirá en cada mediogajo de la bóveda con uno de los ejes horizontales del paraboloides X o Y, alternativamente, de esta forma se ahorra trabajo a la hora de dar alturas a las abrazaderas, pues se trata de una línea horizontal. La cuadrícula será paralela y perpendicular a este eje elegido.

Todas estas torres deberán estar arriostradas entre sí, para evitar posibles desplazamientos laterales.

La matriz de cimbra levantada sirve de base para ejecutar el encofrado de la cubierta, pues se le ha dado la cota necesaria para alcanzar su fin.

Se realiza con vigas de madera en dos fases distintas:

Las vigas de primer orden que se colocarán y ajustarán sobre los husillos de las torres de cimbrado, van situadas paralelas a cada lóbulo, siguiendo el eje X como se puede apreciar en el esquema explicativo.



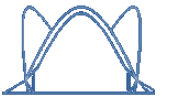
5.1 Andamio en forma de cuadrícula



5.2 Arrastramiento de las torres



5.3 Matriz de cimbra.



C



5.4 Colocación del cimbrado

Como se aprecia en la fotografía se ha terminado de colocar el cimbrado hasta la cota necesaria, formadas por estructuras tubulares de 1.50*1.50, acoplados para formar una matriz. El cimbrado se dispone en dos grupos, el primero de ellos sostiene el encofrado de los nervios, mientras que el segundo sostiene el encofrado propio de cada uno de los tres lóbulos. Sobre el cimbrado comienza la colocación de las vigas de primer orden de madera GT24, éstas van unidas mediante bridas metálicas atornilladas.



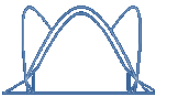
5.5 Acoplo de vigas GT 24

Mediante chapas de prolongación se logró un acople de las vigas GT 24, éstas vigas se van montando en un **primer orden**, vigas alineadas sobre los postes correspondientes a los ejes X, Y del paraboloide, después las de **segundo orden**, donde las vigas irán en dirección perpendicular a las del primer orden. El encofrado utilizado es de madera de pino de 2 m de longitud. Se está entablillando uno de los lóbulos que componen la cubierta, y será en el mismo sentido que el primer orden de vigas.

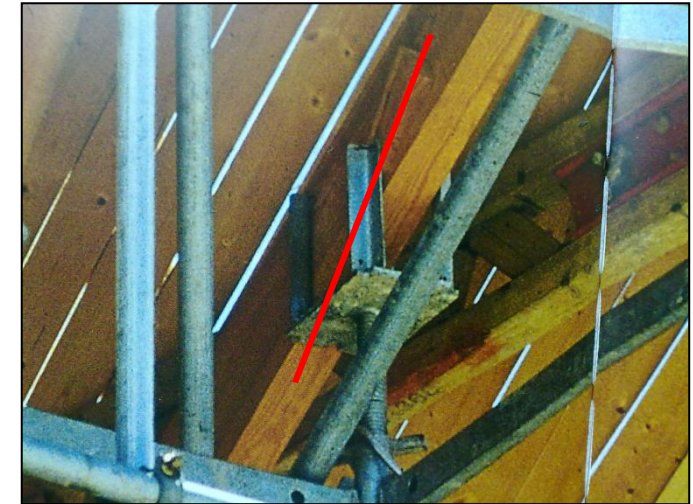


5.6 Cimbrado , encofrado y hormigonado de la cubierta

En la fotografía se aprecian las diferentes fases de la ejecución de la cubierta: cimbrado, encofrado y hormigonado. Como se puede apreciar en la imagen, parte del encofrado se dejará sobrante en el perímetro por motivos de seguridad y para poder encofrar el parapastos. El proceso de hormigonado está resuelto con hormigón blanco proyectado, ejecutando cada una de las calles en que se dividió el lóbulo, desde la parte mas baja hacia arriba, para disminuir el % de rechazo al verter el hormigón.



5.7 Viga en celosía de madera de pino, sirve apoyo al entablillado



5.8 Entablillado

Cruzado encima de éstas, se colocará un segundo orden de vigas, que irán dispuestas en dirección opuestas a las anteriores y siguiendo el orden Y.

Todas las vigas utilizadas para la ejecución del encofrado son alquiladas y llevan la misma dirección que las generatrices del paraboloide y tiene la misma función que la sopanda en una construcción convencional.

Tanto las de primero como las de segundo orden serán vigas de madera en celosía de 24 cm de canto e irán dispuestas cada 50cm.

Cada una de las vigas se sube mediante la grúa fija. Encima del segundo orden de vigas se dispondrá la superficie final del encofrado, formado por tabla cepillada sin machihembrar, de dimensiones 2 metros de longitud y 8.5 centímetros de ancho.



5.9 Colocación de las vigas unidas con perfiles UPN para dar continuidad.

El machiembado da problemas al no estar las tablas en el mismo plano, ya que se tiene que ir dando la forma cóncava que tiene la lámina, lo que conlleva pequeñas variaciones en la dirección de las tablas debido al canto de ellas. Las tablas se clavan en el sentido del primer orden de vigas. Cada uno de éstos tabloncillos descansa sobre tres puntos fijos de apoyo sobresaliendo medio metro por cada extremo.

Todos los extremos de cada uno de los tabloncillos llevan una especie de chaflán con el fin de poder apoyar el final de un tabloncillo con el inicio del que le sigue para seguir dando continuidad al encofrado, al reducir el espesor de los mismos, se puede aprovechar un apoyo para cada unión. Para conseguir una perfecta fijación se usan cuñas para que no haya movimiento alguno.



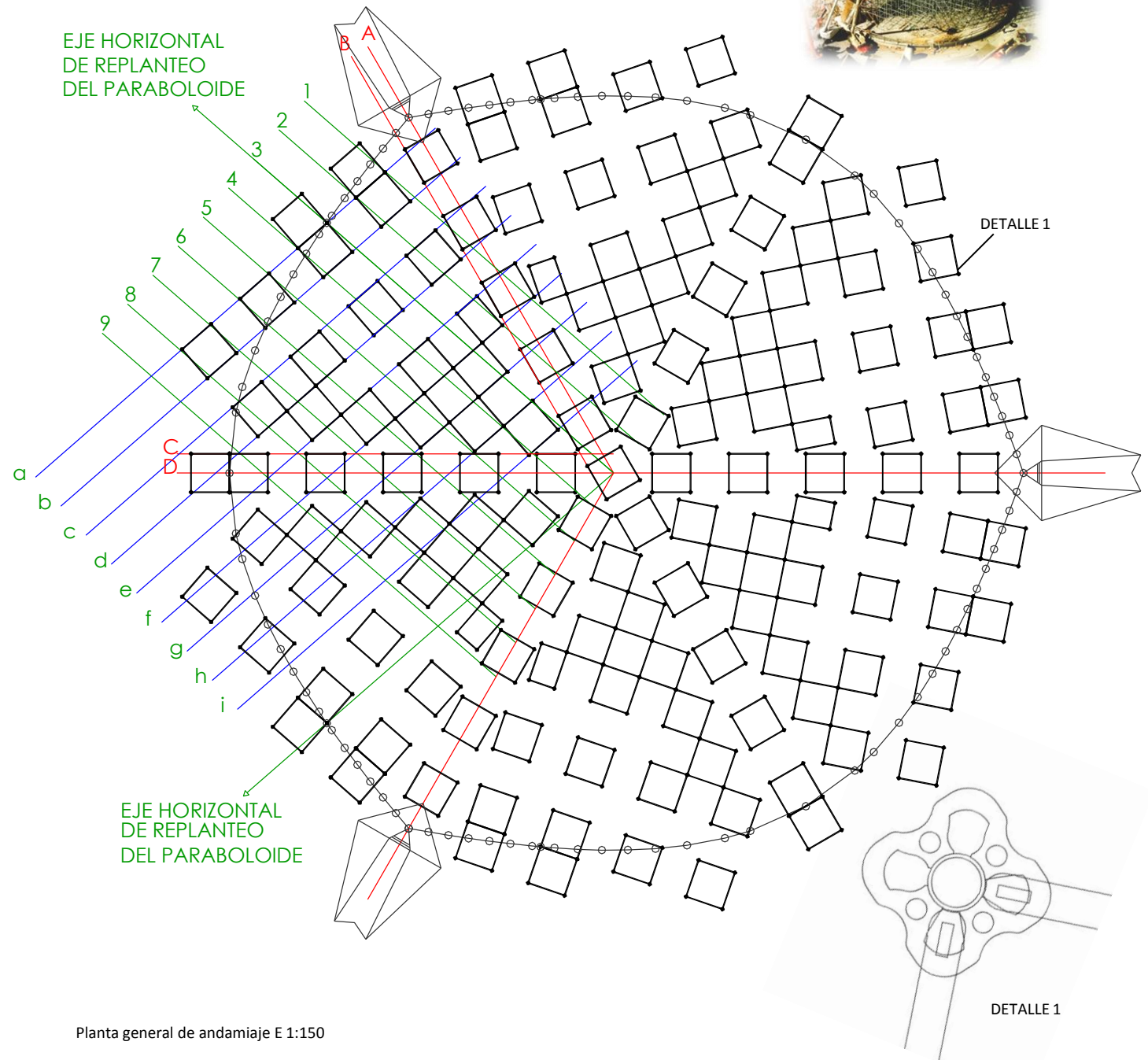
Para evitar confusiones, las cotas de la lámina deben referirse siempre al intradós, sin mencionar para nada los exteriores.

Puesto que la parte más pesada coincide con los arcos parabólicos radiales, aquí cambiará el sistema de encofrado, se situará una fila de torres bajo ellos, sin descontar en altura más que el grueso de la tabla.

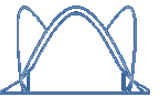
En tal caso tanto el primer como el segundo orden de vigas irán a atestar contra dichas vigas.

Otra zona donde cambia el sistema de cimbrado y encofrado es en la bisectriz del ángulo que constituye el paraboloides, pues es en esa línea donde se produce la intersección de las dos direcciones que lleva la tabla.

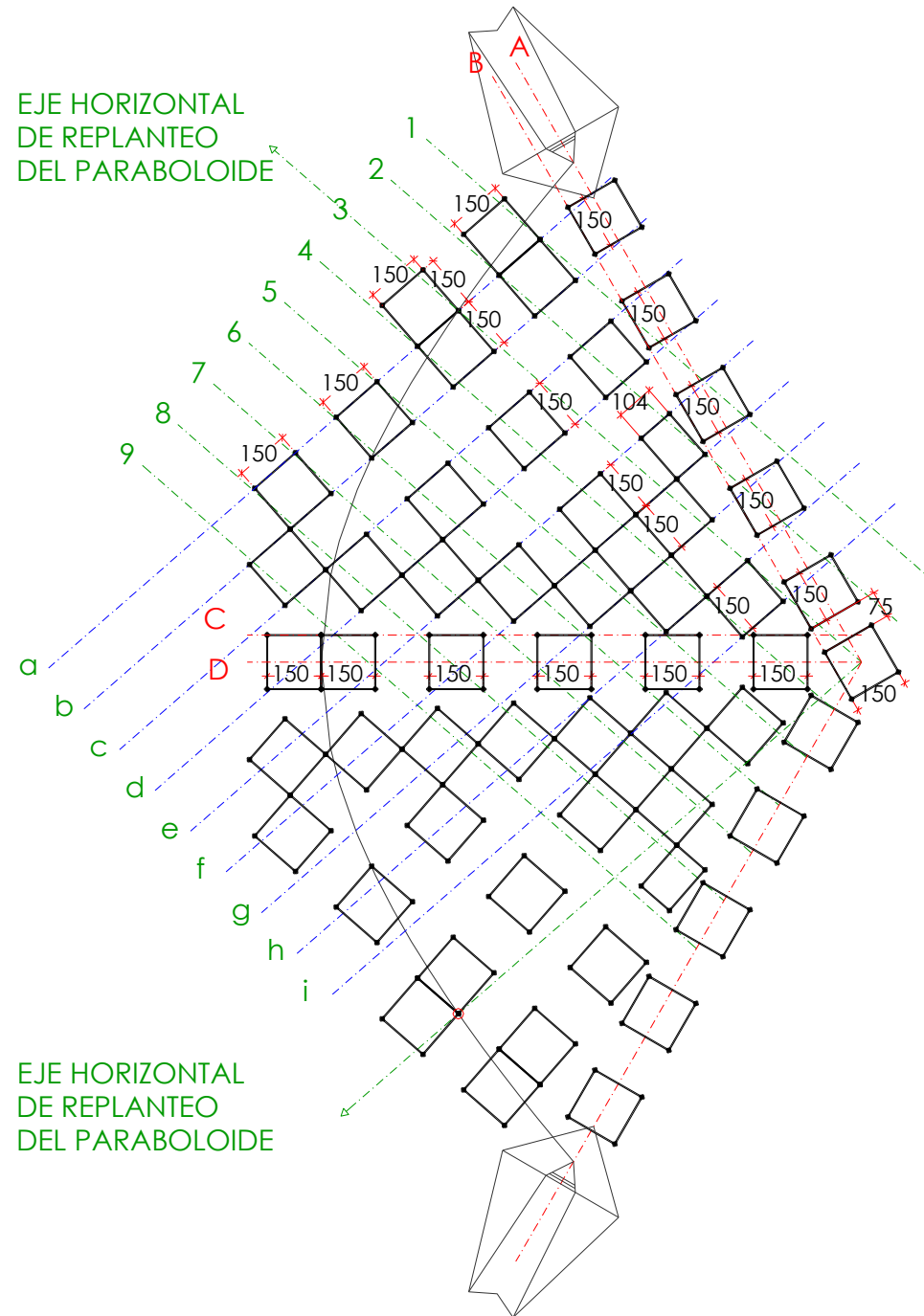
La dirección del encofrado siguiendo esa pauta, quedará contrapeada cada dos gajos, formando las tablas en la intersección de cada gajo el mismo ángulo.



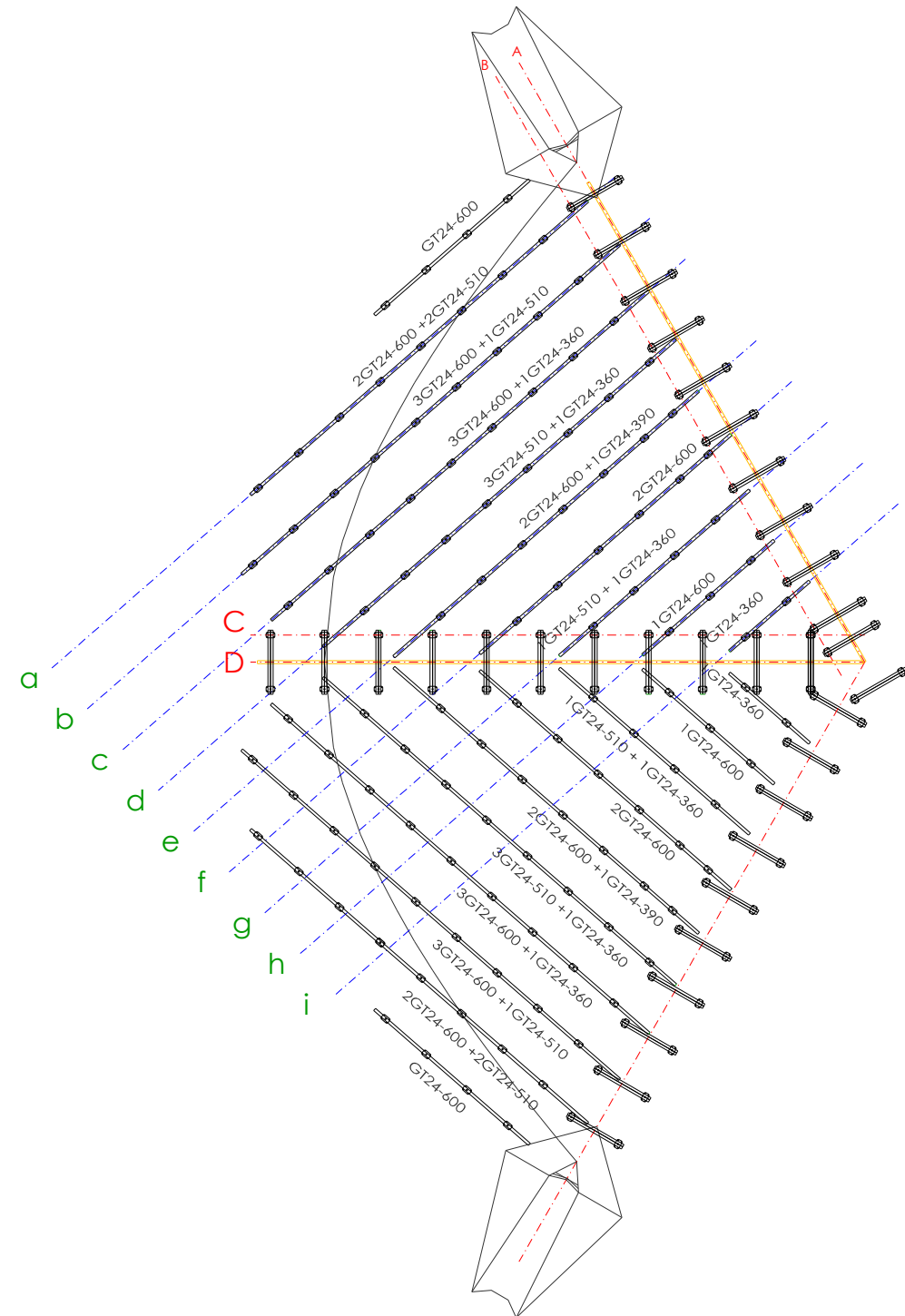
Planta general de andamiaje E 1:150



C



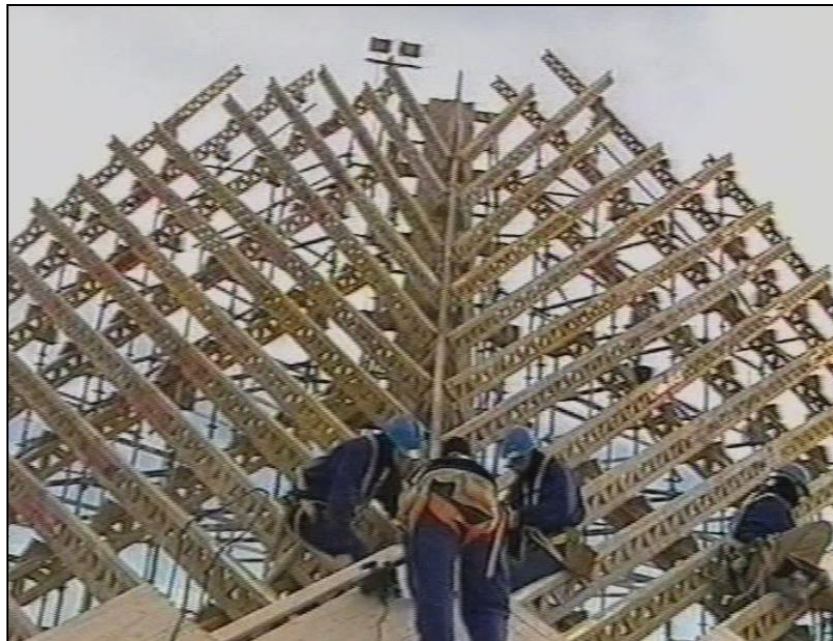
Planta de replanteo de uno lóbulo en fase de cimbrado E: 1/100



Planta de replanteo de vigas de primer orden E: 1/100



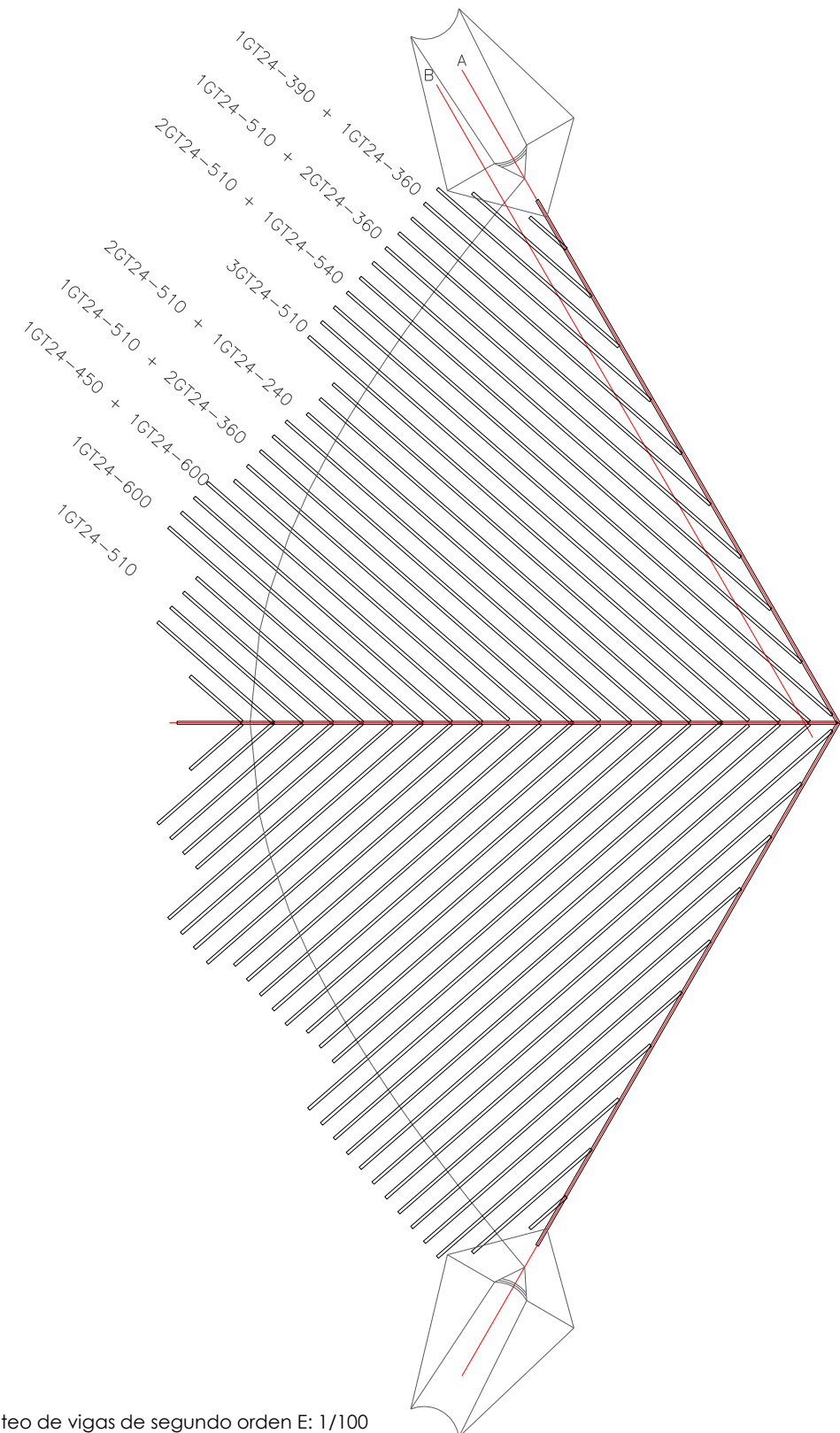
C



5.10 Planta de replanteo de vigas de seguridad

La colocación de los tablonos comienza desde la parte más alta del eje hacia el nervio, como se aprecia en la fotografía adjunta se comienza los dos semilóbulos contiguos al mismo tiempo.

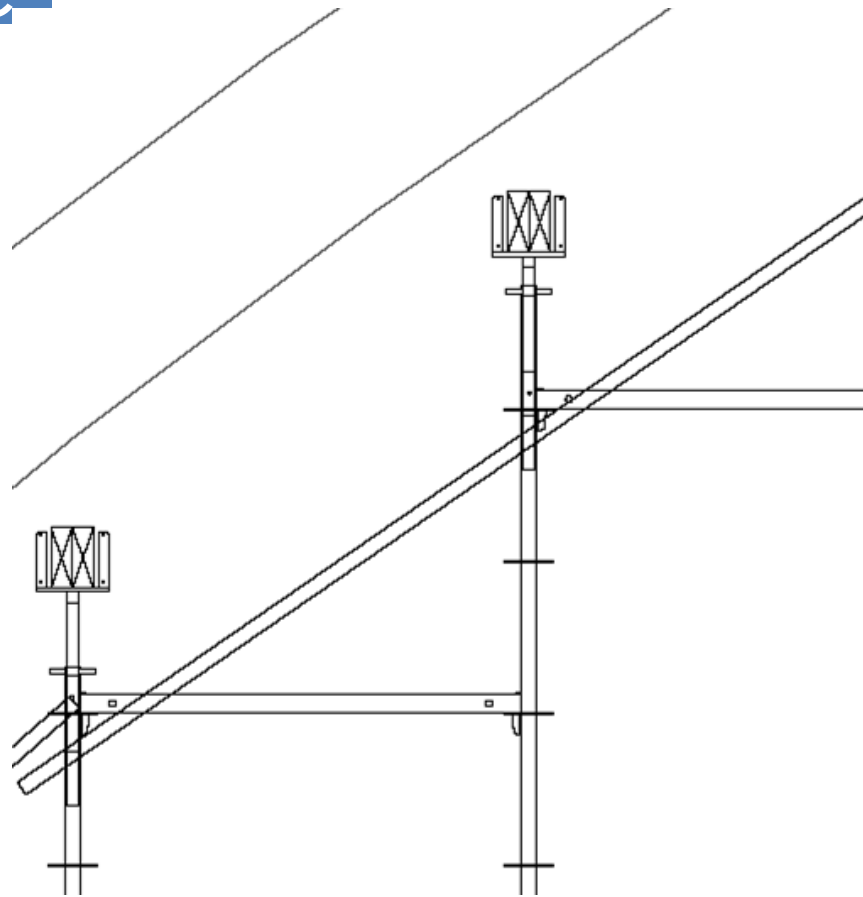
Una vez finalizado el encofrado del primero de los lóbulos, se hace una plantilla para construir el resto de uniones entre el encofrado y el



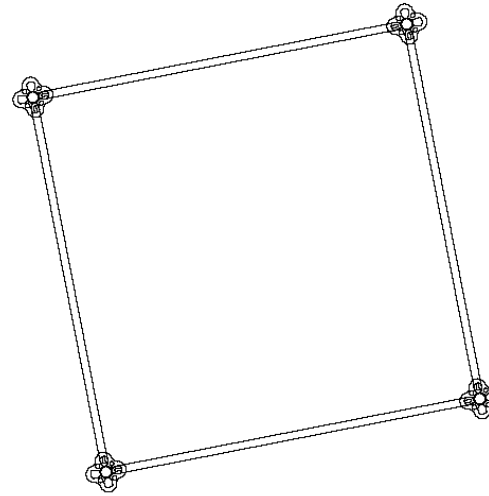
Planta de replanteo de vigas de segundo orden E: 1/100



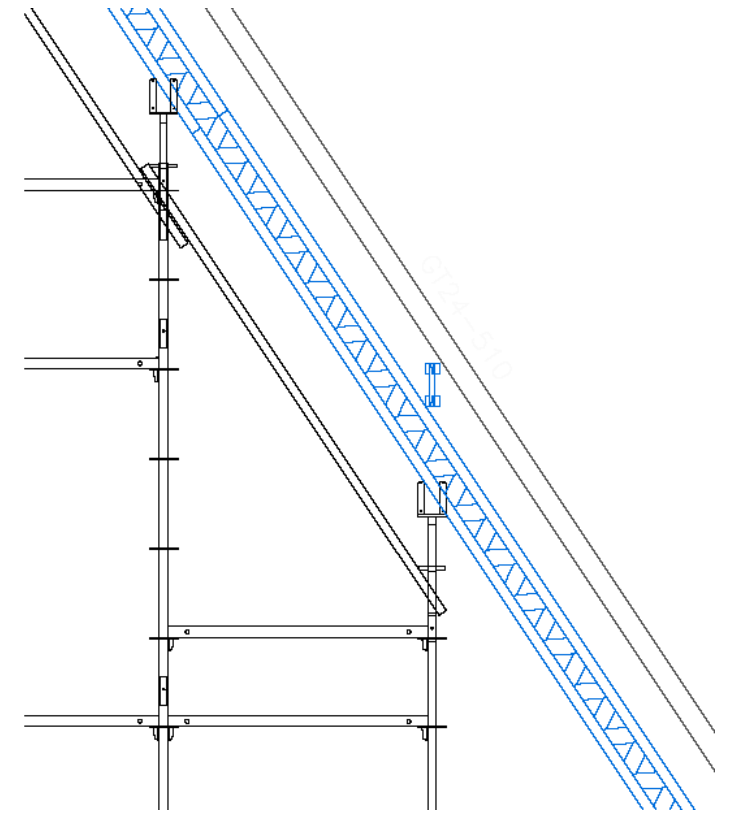
C



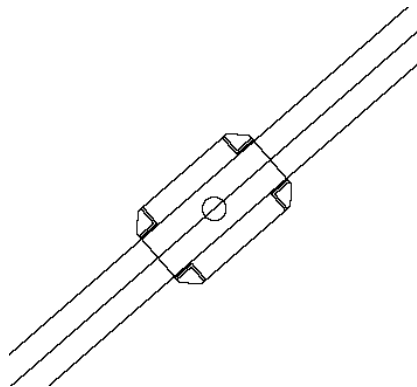
Perfil del apoyo de vigas en fase de encofrado



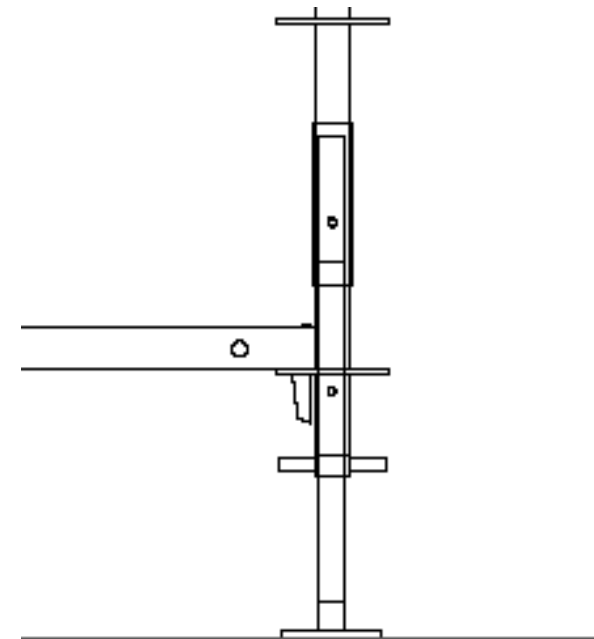
Planta del andamio en forma de cuadrícula (1.50 * 1.50 m)



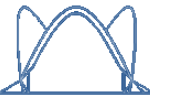
Detalle de unión cimbrado con encofrado



UPN de unión de dos vigas de encofrado para dar continuidad



Pate inferior del andamio para el cimbrado



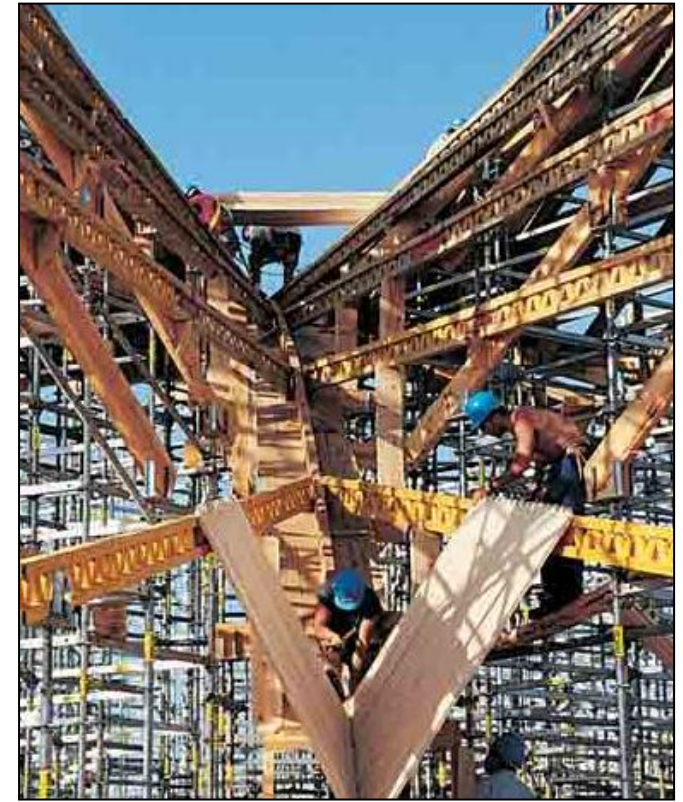
5.11 Colocación del encofrado del nervio

Se ha colocado el encofrado del nervio, es el arco parabólico donde se apoyan las vigas sobre las cazoletas. Se disponen las vigas de dos lóbulos, de forma que en el nervio las vigas que llegan deben coincidir con las que salen, según las disposiciones constructivas que implican la geometría del paraboloides.



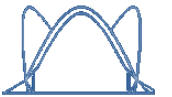
5.12 Encofrado y entablillado del lóbulo

Se ha terminado de encofrar y entablillar el encuentro de los lóbulos. Se dispone ahora a verter desencoformate de una clase especial para hormigón blanco que no deja mancha ni ensucia el hormigón, llamado Rheofinix 211 de la casa Bethot. Se pulveriza directamente sobre la madera, después de secarse comienza el armado



5.13 Colocación de las vigas de celosía

Las vigas de celosía que llegan al nudo de dos semilóbulos, coinciden perfectamente, dando una imagen de completa precisión. La curvatura del lóbulo es casi mínima, en este caso se utiliza a la hora de entablillar maderas de gran ancho, pues es un ahorro de mano de obra.



Materiales:

Cemento:

Se usaran cementos expresamente indicados en los planos o lo definido en el "pliego general de Condiciones" para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos. Tiene que cumplir a su vez con lo contenido en la Instrucción y aprobado con carácter oficial por el Ministerio de Fomento. El cemento a utilizar se indica es un hormigón blanco BL II 42.5.

Agua:

El agua debe ser limpia y estar exentas de sustancias que puedan dañar al hormigón o al acero. Tiene que cumplir las preinscripciones de la Instrucción. Los límites máximos de cloruros y sulfatos serán en peso, los siguientes.

Cloruros expresados en ión Cl: 6.000 p.p.m.

Sulfatos expresados en ión SO₄: 1.000 p.p.m.

En cualquier caso, antes del empleo del agua, tiene que estar ensayado-

Áridos:

Los áridos empleados en hormigones proyectados se obtiene de una selección y clasificación de materiales naturales o procedentes de machaqueo. Compuestos de partículas limpias, resistentes y de calidad uniforme. El tamaño máximo de árido a emplear en este gunitado es el de 10mm.

Aditivos:

Se utiliza el aditivo apropiado para obtener los resultado adecuados en los ensayos de resistencia a compresión a las 25 horas, 7 días y a los 28 días.

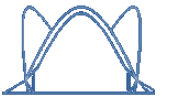
Acero.

Se usan malla electrosoldadas de 15*15 centímetros con barras de diámetro 8milímetros

CONTROL DE CALIDAD. MATERIALES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD			
DOSIFICACION	DESIGNACION	NIVEL DE CONTROL	COEFICIENTE DE SEGURIDAD
ARMADURAS	B 500 S	INTENSO	Ye = 1.10
HORMIGON	H - 200	INTENSO	Yc.m. = 1.30
EJECUCION		INTENSO	Yt = 1.50

*Recubrimiento de la lamina de 20 mm y de los nervios de 30 mm

CARACTERISTICAS DEL HORMIGON	
RESISTENCIA CARACTERISTICA	fec = 30 N/mm ²
RESISTENCIA MEDIA RESIDUAL A TRACCION	fctrm 150 = 3.30 N/mm ²
RESISTENCIA CARACTERISTICA RESIDUAL A TRACCION	fectr 150 = 2.40 N/mm ²
Se le agregan al al hormigón fibras de acero inoxidable ZP 30 / 0.4 (midegasa) con una dosificación de 50 kg/m ³ de homigon que permita garantizar las resistencias requeridas	
Caractrísticas de las fibras:	
* Acero inoxidable	
* Longitud 30 mm	
* Diametro 0,4 mm	



Armado:

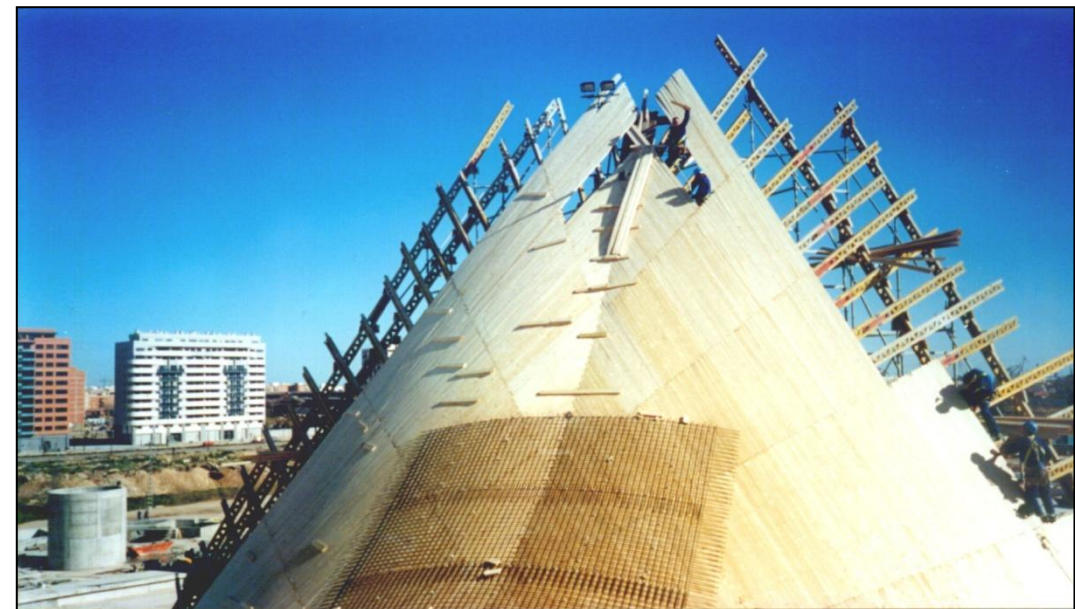
Una cuestión importante a tener en cuenta es que, al ser tan delgada la lámina (12cm), la armadura que va en ella no debe moverse al hormigonar porque corre el peligro de que el recubrimiento sea nulo y queden marcadas dichas armaduras en el intradós. O bien, si dicho recubrimiento era mínimo, podían producirse oxidaciones de la armadura con los consiguientes problemas de durabilidad de la cubierta. Por todo ello se colocaron un sinnúmero de separadores y, para evitar que quedaran marcados, se pusieron de plástico, del tipo de los que se utilizan en las plantas de prefabricados.

La armadura de los nervios se realiza a pie de obra, ayudándose de las torres fijas se eleva y coloca uno a uno, éstas zonas son reforzadas con armaduras de montaje.

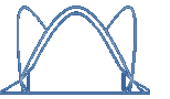
El armado con el que se va a solucionar esta edificación es de malla electrosoldada de 15*15cm. y 8mm. de diámetro, aumentando la cuantía en zonas mas sensibles como son los nervios y los encuentros de lóbulos.

Con el uso de hormigón con fibras de acero, no es necesario el uso de tanta armadura, pero por miedo a que se produzcan patologías importantes se ejecuta con la cantidad de armado calculada.

LONGITUDES DE SOLAPO Y EMPALME		
DIAMETRO	Longitud de anclaje	Longitud de solapo (*)
6	25 cm	40 cm
8	30 cm	53 cm
10	40 cm	73 cm
12	45 cm	90 cm
16	50 cm	120 cm



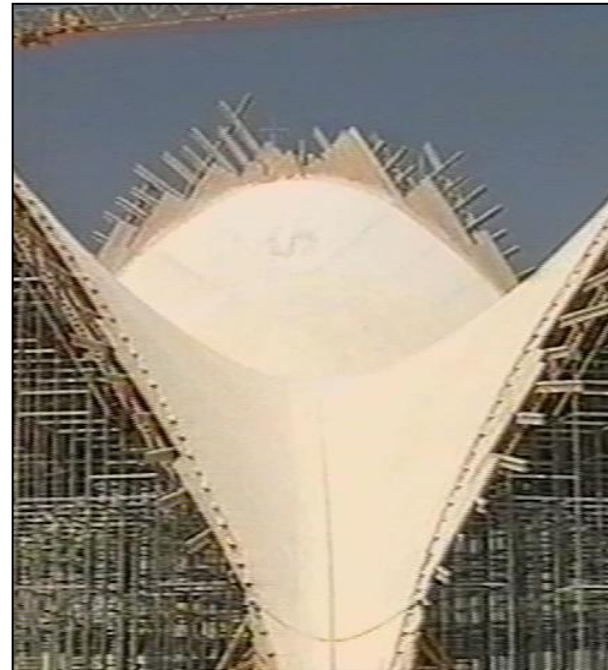
5.14 Colocación del armado



Hormigonado:

El proceso de hormigonado se realiza por proyección de hormigón por vía seca, realizado por la empresa Hormigones proyectados S.L.

Para evitar los problemas de puesta en obra del hormigón, éste se debe realizar gutinado. Pues el hormigonado de la lámina sería imposible en las zonas de más pendiente, (zonas próximas a los apoyos), ya que no se conseguirá una compacidad de dicho hormigón, lo que conllevaría a la aparición de coqueras y casi con total seguridad, en algunas zonas tendríamos que encofrar por las dos caras, lo cual resulta muy costoso e inejecutable por el espesor de dicha lámina. La maquinaria, herramientas y materiales (cemento, áridos, fibras y aditivos) fueron preparados a pie de obra.



5.15 Hormigonado del nervio



5.17 Fase del hormigonado



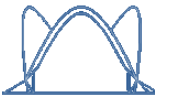
5.16 Proyección del hormigón



5.18 Colocación del mallazo



5.19 Proyección del hormigón

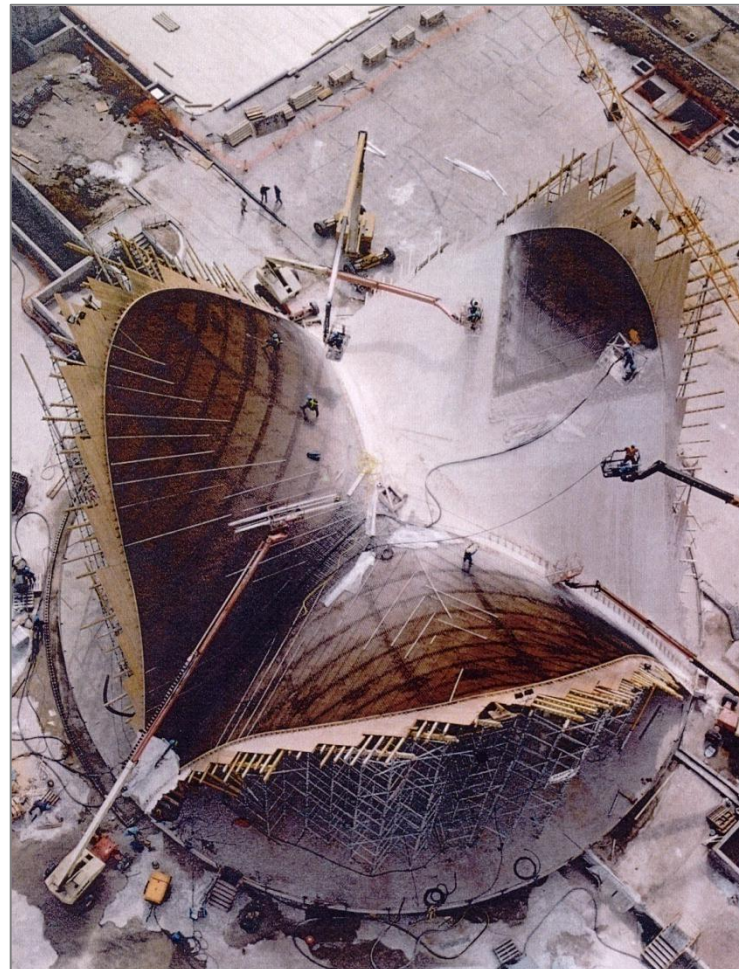


EJECUCIÓN:

El sistema de puesta en obra de este hormigón fue proyectado, debido a la excesiva pendiente que tiene la cubierta lo que hace que sea imposible una compactación adecuada con hormigón bombeado.

La mezcla proyectada posee normalmente un asentamiento igual a cero con lo que puede soportarse sin deformación, ya que la fuerza de esta proyección y lo que lleva consigo el impacto, hace que el material se compacte y quede adherido.

Se ha realizado el hormigonado en partes dejando juntas cerca del eje nervio, se toma esta solución para evitar formaciones de coqueas por la mala colocación de la armadura o simplemente un mal acabado de la superficie.



5.20 Hormigonado proyectado de cubierta

En los nervios que es una zona donde es espesor del hormigón es considerable, se procederá a echar una primera capa de gutina y seguidamente se procederá a realizar una segunda capa.

Las tolerancias de espesor tiene que ser mínimas ya que se colocarán las cuchillas para el reglado y su posterior talochado. Estas guías sobre una cuadrícula de testigos plásticos en toda la superficie de la lámina para controlar el espesor de los diferentes puntos. El procedimiento que se va a desarrollar es el sistema de Mezcla Seca, por creer que es el que da unas garantías mayores para al ejecución de la cubierta.

Dificultades del hormigonado:

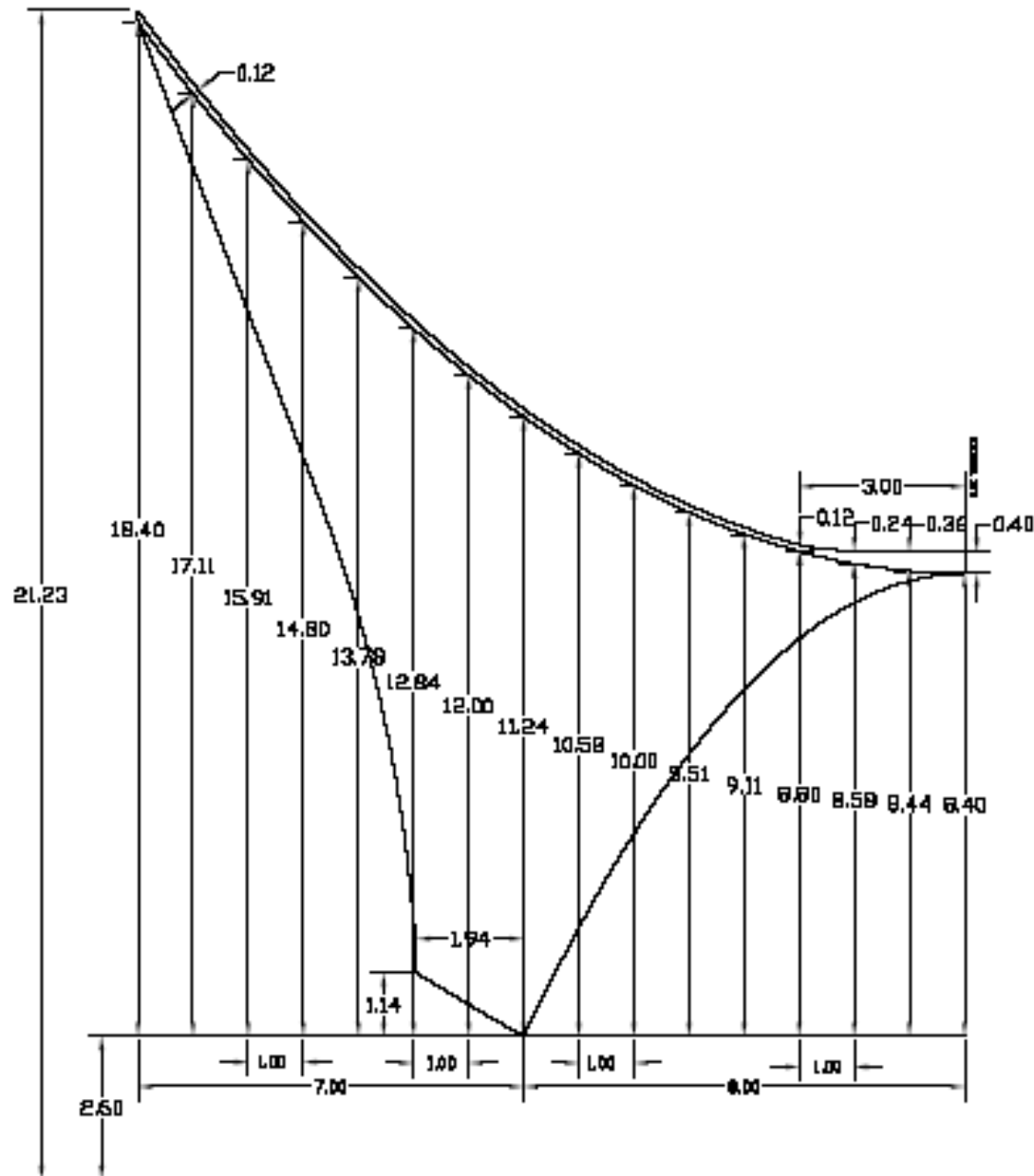
En cuanto a su colocación tiene que estar bien introducido el material tras la malla metálica en las zonas de transición entre nervios y la lámina donde el mallazo es doble.

CURADO

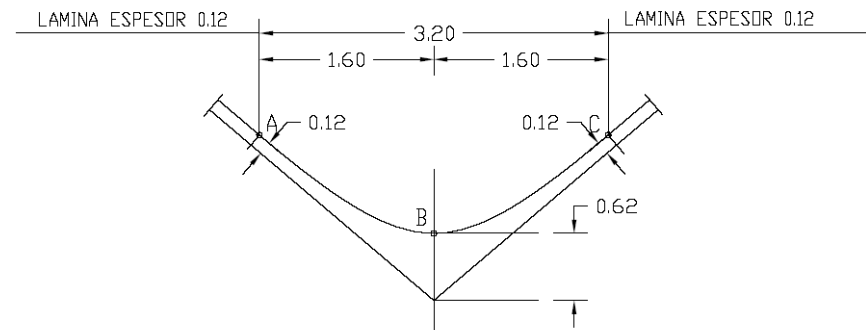
En este tipo de estructura es importante, ya que para la durabilidad de la cubierta es vital que no aparezcan fisuras de retracción. Se ha estimado que le tiempo de curado es de 5 días. Para garantizar el curado y dadas las pendientes de la cubierta sólo se puede curar con aspersores que batan toda la superficie de la misma, además se colocarán arpilleras en las zonas más expuestas.



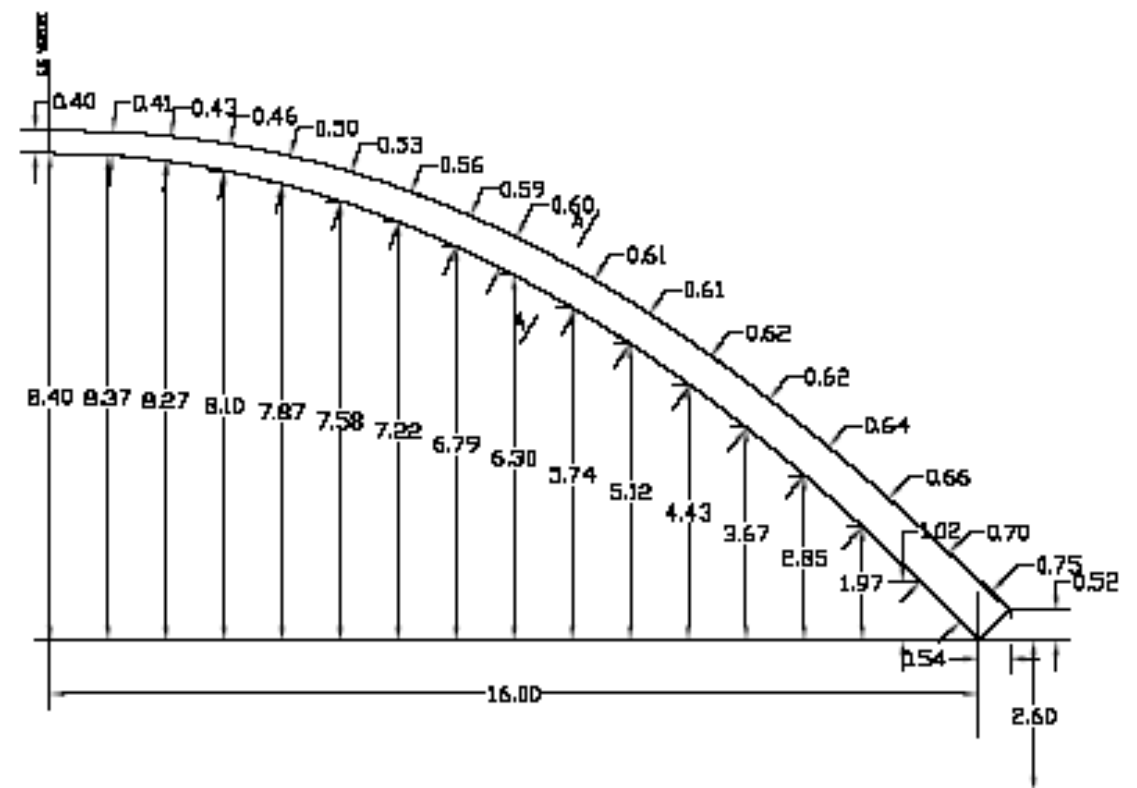
C

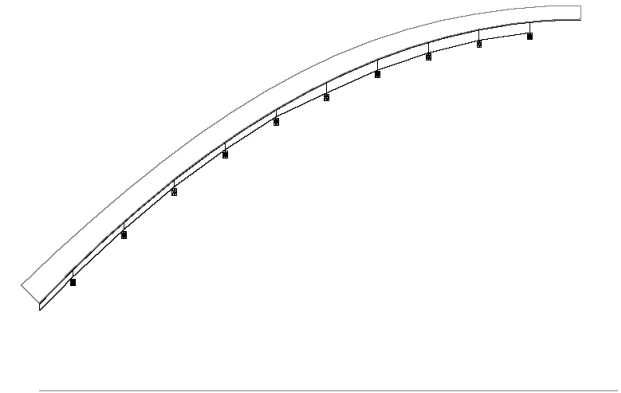
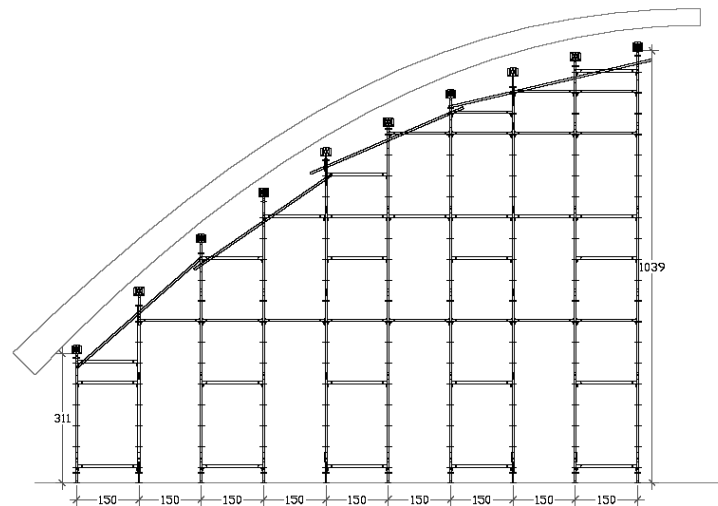


Definición de espesores de la lámina



Definición del nervio





DESCIMBRADO:

El proceso de descimbrado podrá realizarse cuando éste alcance su resistencia característica, procediendo a descimbrar lóbulos o semilóbulos opuestos dejando apeados los nervios. Este descimbrado se hará uniformemente en toda la superficie del paraboloides para evitar que haya esfuerzos extraños y no se produzcan fisuras. Una vez se ha procedido a descimbrar los lóbulos se procede de la misma forma a descimbrar los nervios, desde el apoyo hasta la clave.



5.21 Descimbrado en zona de apoyo



5.22 Descimbrado de la intersección de nervios



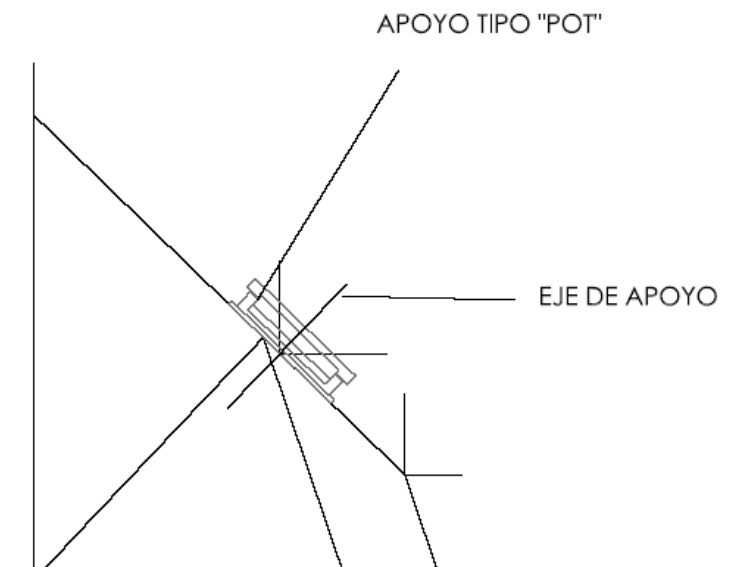
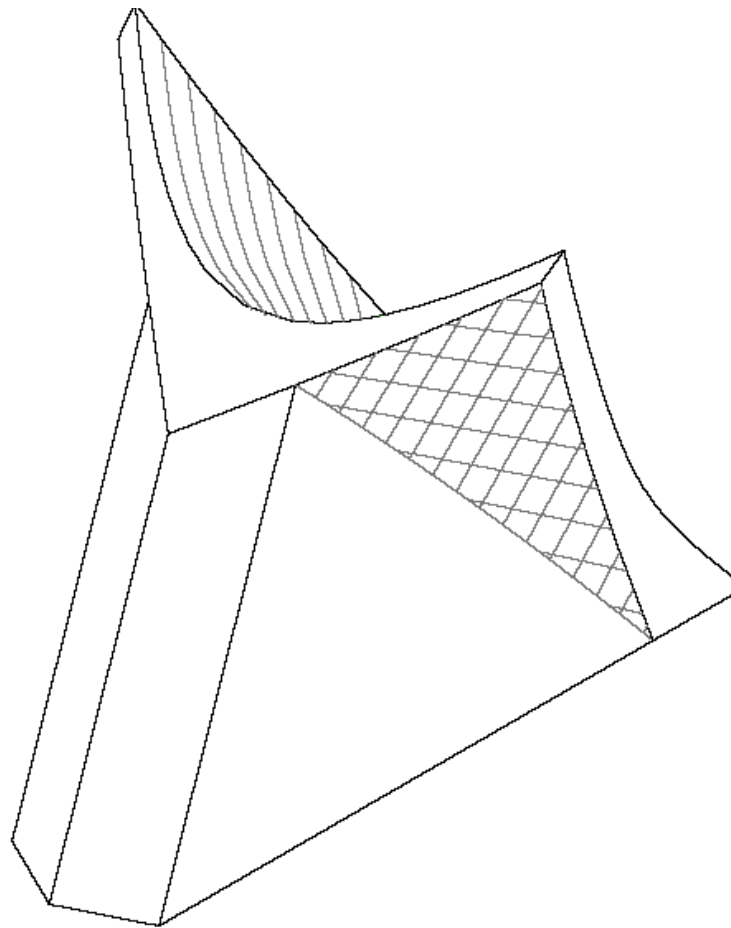
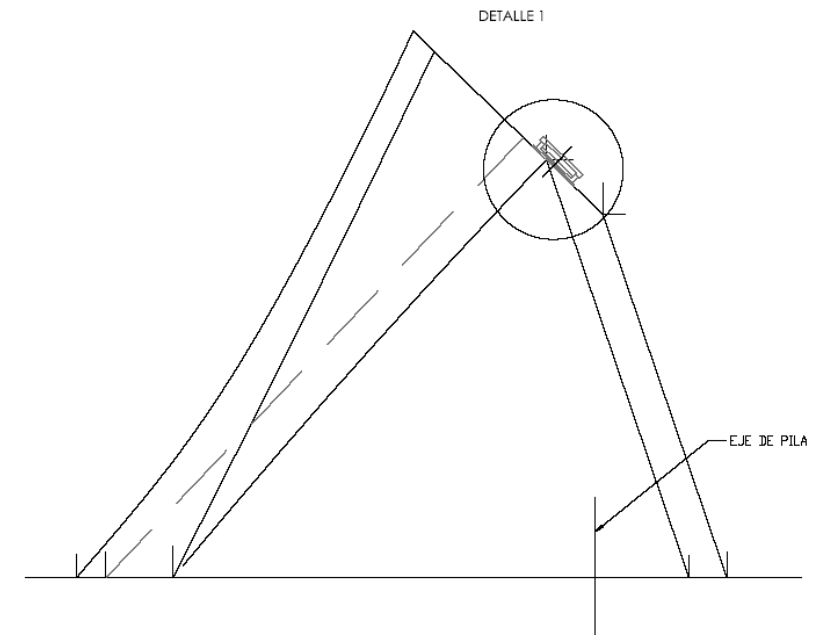
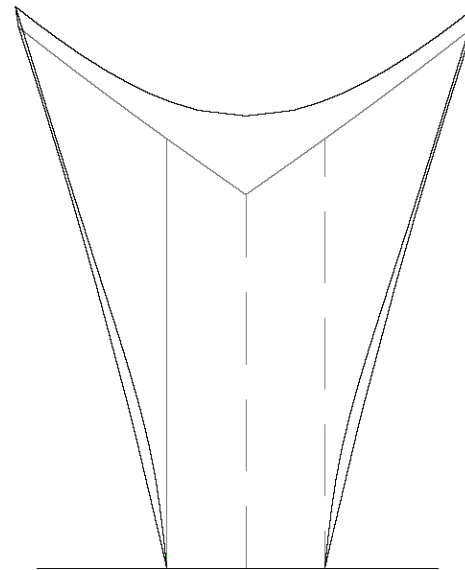
C

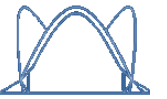
APOYO DE LA LÁMINA:

Elemento que sirve de base a la estructura del edificio, realizado con hormigón de pendiente trínco cónica. Se ha realizado con un material elastómero tipo "Stongold H-150". Calculado como una rótula, coarta el desplazamiento lateral y rotaciones.



5.23 Detalle de apoyo del edificio





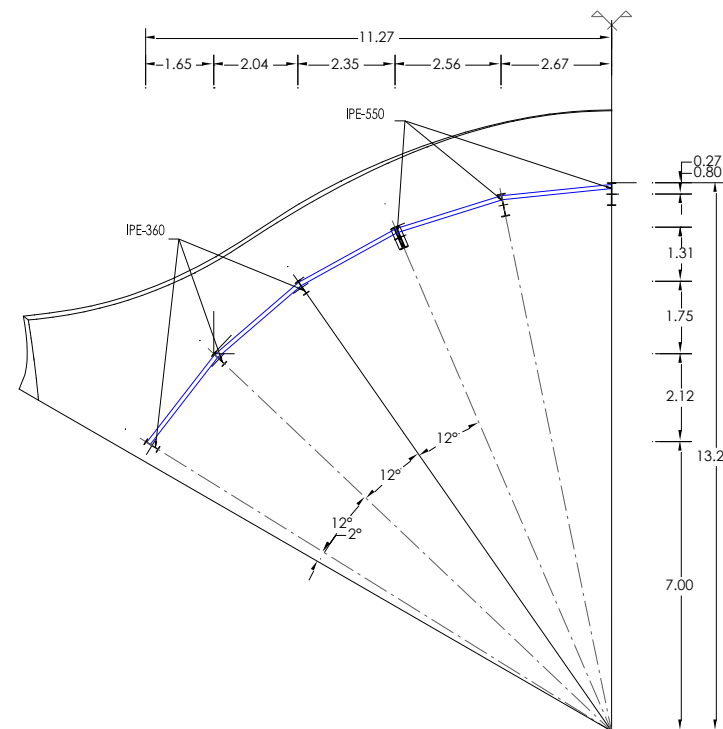
5.24 Inicio de colocación de cerramiento



5.25 Estructura auxiliar de cerramiento

CERRAMIENTO DEL EDIFICIO

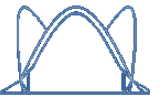
La estructura auxiliar del cerramiento de cada uno de los lóbulos con un muro, son perfiles IPE360 y IPE350 que van apoyados mediante rótula en su base, y a su vez anclados en el borde superior en la lámina. Colaboran con la cubierta a efectos de adaptar el proyecto original a la normativa vigente española.



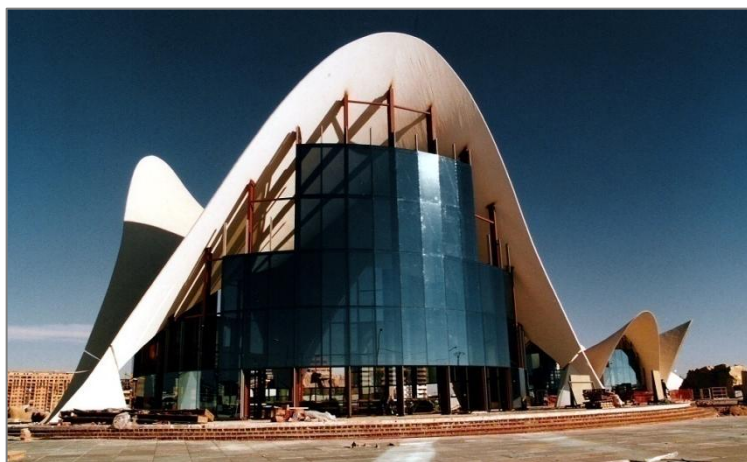
Semi-planta de situación de perfiles E 1:50

PERFIL IPE	H (*) (m)	X (**) (o)	L (mm.)
360	5.20	-38	457
360	8.79	-14	371
360	12.40	16	375
550	15.46	36	680
550	17.50	46	790
550	18.21	49	838

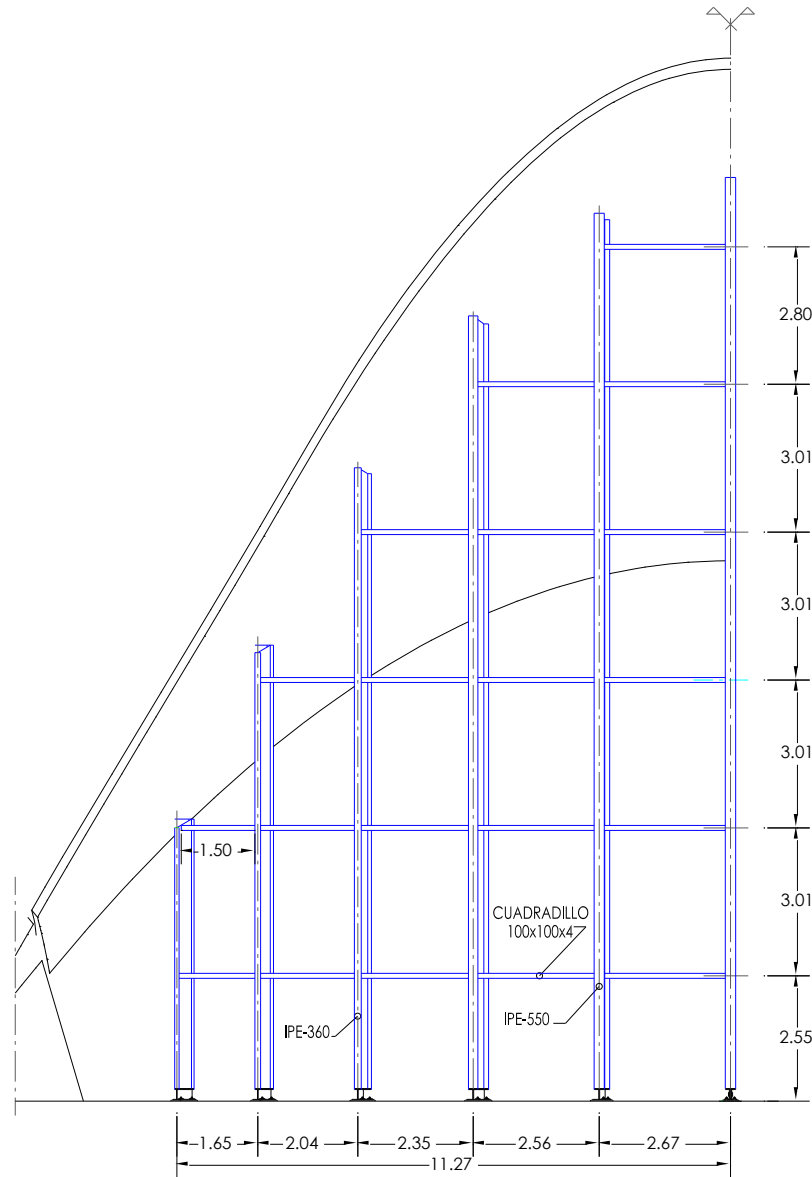
ACERO DE PERFILES S-275 JR
 ACERO EN CHAPAS S- 235 JR
 ACERO EN BARRAS ROSCADAS fy 400N/mm2



C



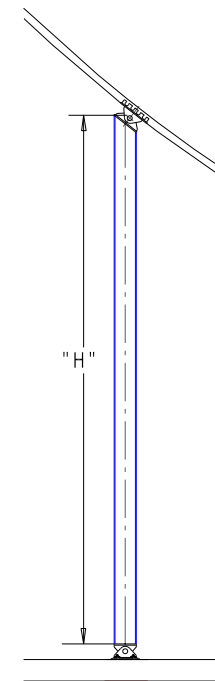
5.26 Cerramiento del edificio



Semi-alzado de la estructura del cerramiento E: 1/50



5.27 Estructura auxiliar de cerramiento (perfiles)



NOTAS (*) LA ALTURA DEL PERFIL SE OBTIENE SUPONIENDO UN ESPESOR DEL MONTERO DE NIVELACION DE 2 CM.



C

PROCESO CONSTRUCTIVO



5.28 Colocación del andamiaje



5.29 Entablillado de la cubierta



5.30 Encofrado de la cubierta



5.31 Fase previa a hormigonado de cubierta



5.32 Inicio de hormigonado proyectada con grúa



5.33 Hormigonado de cubierta



5.34 Curado del hormigonado



5.35 Cubierta en inicio de desencofrado



5.36 Cubierta desencofrada y terminada



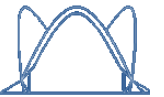
5.37 Estructura auxiliar de muro cortina



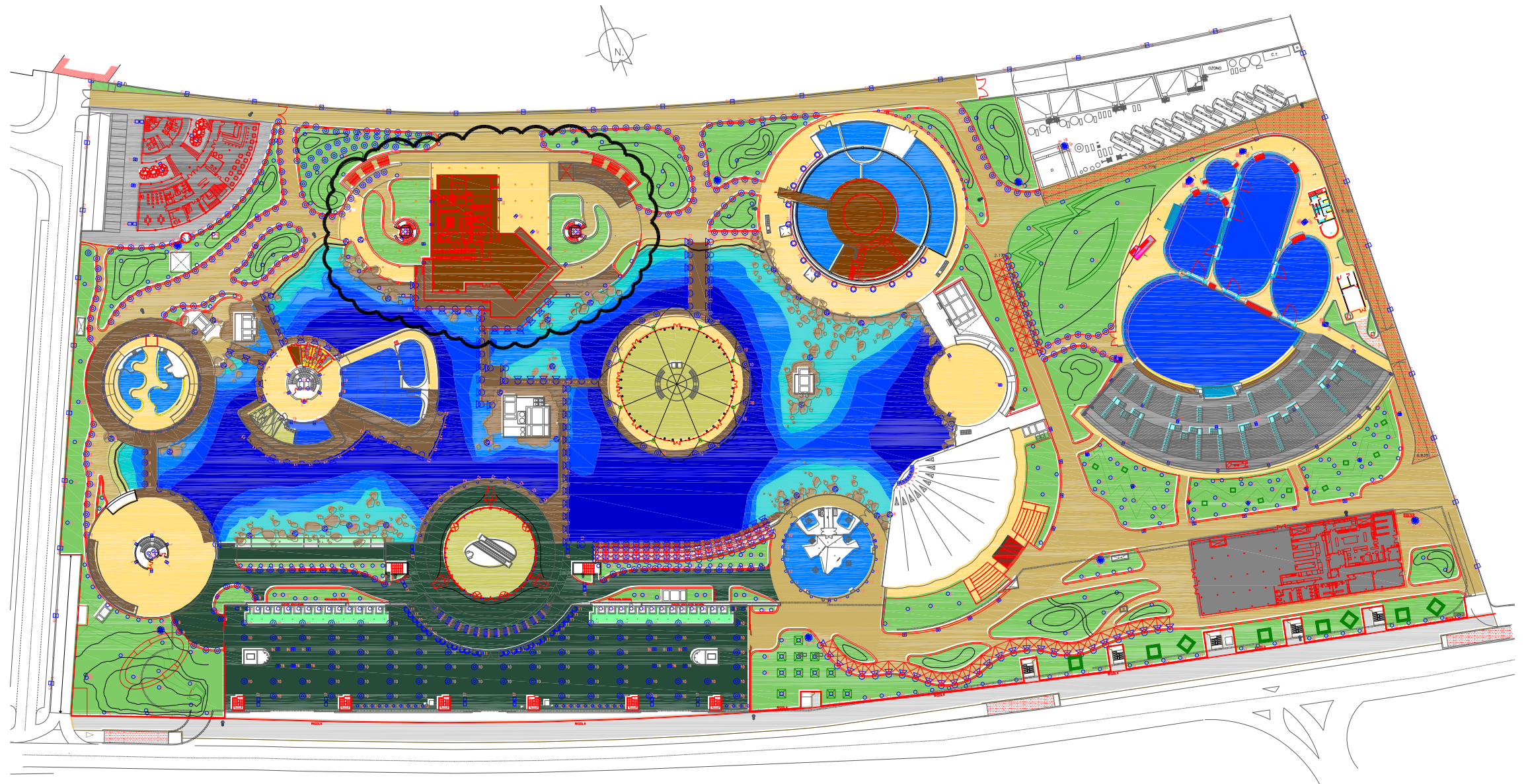
5.38 Colocación de muro cortina

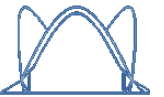


5.39 Edificio de Acceso terminado

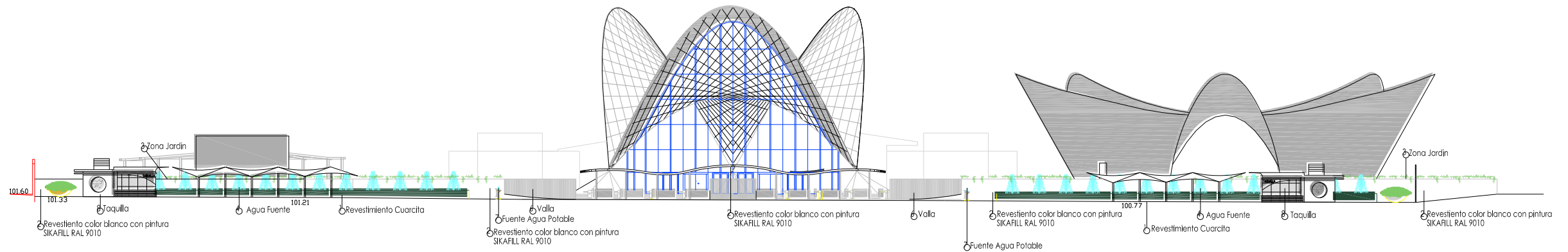
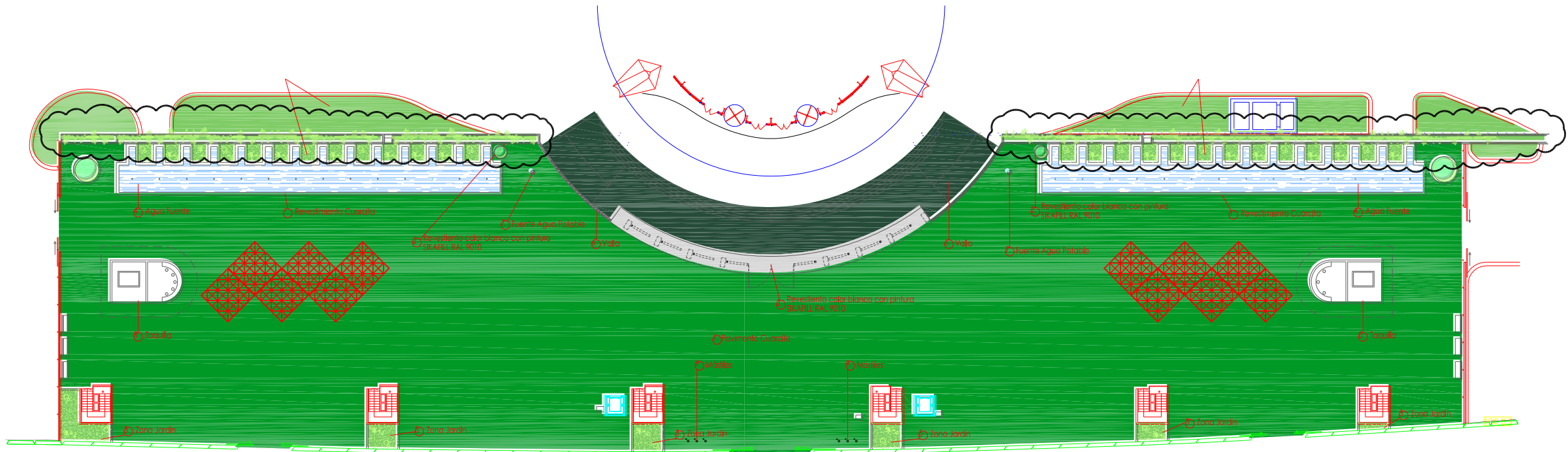


PLANO GENERAL DEL OCEANOGRÁFIC

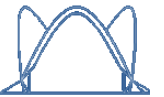




ALZADO DEL OCEANOGRÁFIC



Alzado del edificio de Acceso E 1:100



6.1 Vista general de la ciudad de las artes



6.2 Vista general de L'Oceanografic



6.3 Delfinario



6.4 Edificio Mares Árticos



6.5 Edificio de Acceso



6.6 Sala Oval



6.7 Túnel interior de los mares Tropicales



6.8 Edificio Mares Antárticos



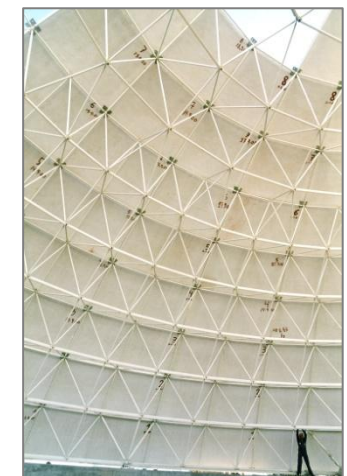
6.9 Construcción de edificio Mares Árticos



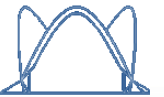
6.10 Interior Restaurante



6.11 Cubierta de Restaurante



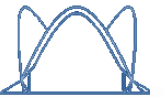
6.12 Interior de Mares Árticos



Memoria de ilustraciones:

1- INTRODUCCIÓN

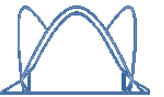
- 1.1 Cauce del río Turia, Valencia 1960
- 1.2 Hemisferio, Valencia 1997
- 1.3 Hemisferio, Valencia 1999
- 1.4 Museo de las Ciencias Príncipe Felipe, Valencia 1997
- 1.5 Museo de las Ciencias Príncipe Felipe, Valencia 1999
- 1.6 Palacio de las artes construcción
- 1.7 Palacio de las artes finalizado
- 1.8 Vista general de L'Umbracle
- 1.9 L'Umbracle
- 1.10 Construcción del Ágora
- 1.11 Ágora finalizado
- 1.12 Vista aérea 1997
- 1.13 Construcción Oceanográfico , Valencia, 1998
- 1.14 Construcción Oceanográfico, Valencia, 2000
- 1.15 Construcción Oceanográfico, Valencia, 2002
- 1.16 Santiago Calatrava con Félix Candela
- 1.17 Edificio de acceso y restaurante
- 1.18 Auditorio y mar rojo
- 1.19 Sala oval
- 1.20 Túnel interior del mar tropical
- 1.21 Edificio de acceso
- 1.22 Interior del E. de acceso
- 1.23 Inicio de encofrado
- 1.24 Inicio de hormigonado
- 1.25 Finalización de hormigonado
- 1.26 Estructura auxiliar de cerramiento
- 1.27 Ejecución del muro cortina



- 1.28 Entorno del edificio de acceso
- 1.29 Entrada principal edificio acceso
- 1.30 Cubierta del edificio de acceso
- 1.30 Félix Candela
- 1.31 Félix Candela
- 1.32 Edificio de mares árticos
- 1.33 Edificio de las aguas continentales
- 1.34 Cubierta del restaurante submarino
- 1.34 Félix Candela

2 – ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO

- 2.1 Paraboloides hiperbólicos
- 2.2 Planta embotelladora de Bacardi , Mexico DF 1960
- 2.3 Planta embotelladora de Bacardi , Mexico DF 1960 (plano)
- 2.4 Capilla de Palmira, Lomas de Cuernavaca, Morelos ,1958
- 2.5 Iglesia de la Virgen de la Medalla Milagrosam México DF, 1953
- 2.6 Restaurante los manantiales, xoximilco 1960
- 2.7 Restaurante los manantiales, xoximilco 1960
- 2.8 Cimbra de paraboloides hiperbólicos
- 2.9 Representación de paraboloides hiperbólicos
- 2.10 Paraguas, México DF . 1951
- 2.11 Pabellón de Rayos Cósmicos, México DF . 1951
- 2.12 Iglesia de San José Obrero, Monterrey, 1959
- 2.13 Centro nocturno "La Jacaranda". México D.F 1954.
- 2.14 Jardín Botánico de Oslo, Noruega. 1962
- 2.15 Mercado de Coyoacán 1958
- 2.16 Sinagoga par Centro Hebreo. Guatemala 1958
- 2.17 Caseta de ventas Verde Valle. Guadalajara, Jalisco, 1960
- 2.18 Sinagoga para Centro Hebreo. Guatemala 1958
- 2.19 Palacio de los Deportes, México DF. 1968
- 2.20 Hemeroteca Municipal de Madrid. 1983



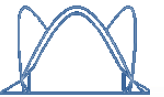
- 2.21 Restaurante Oceanográfico Valencia. 1997
- 2.22 Restaurante “Los Manantiales” Xochimilco. México 1958.
- 2.23 Restaurante “Oceanografic” Valencia 1997
- 2.24 Jardín Botánico de Oslo, Noruega. 1962
- 2.25 Edificio Acceso a Oceanografic. Valencia 1998
- 2.26 Ejecución de cascarón
- 2.27 Iglesia de la Virgen de la Medalla Milagrosa México DF, 1953
- 2.28 Iglesia de la Virgen de la Medalla Milagrosa México DF, 1953
- 2.29 Diseño del paraguas
- 2.30 Construcción de un paraguas experimental, 1952
- 2.31 Paraguas experimental, 1952
- 2.32 Paraguas de galosinea, 2000
- 2.35 Restaurante y edificio de Acceso del Oceanográfico , Valencia 2002
- 2.36 Restaurante del Oceanográfico, Valencia 2002
- 2.37 Restaurante y edificio de Acceso del Oceanográfico , Valencia 2002
- 2.38 Cubierta del edificio de Acceso, Valencia 2002

3 – ANÁLISIS GEOMÉTRICO

- 3.1 Definición de borde libre del intradós y trasdós, Edificio Acceso
- 3.2 Definición de borde en edificio de acceso

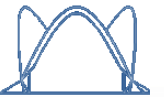
4- ANÁLISIS ESTRUCTURAL

- 4.1 Borde libre de cubierta del edificio de acceso
- 4.2 Apoyo de la lámina
- 4.3 Apoyo tipo elástico
- 4.4 Apoyo tipo elástico



5 – ANÁLISIS CONSTRUCTIVO

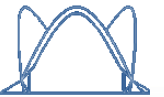
- 5.1 Andamio en forma de cuadrícula
- 5.2 Arrastramiento de las torres
- 5.3 Matriz de cimbra
- 5.4 Colocación del cimbrado
- 5.5 Acoplo de vigas GT 24
- 5.6 Cimbrado , encofrado y hormigonado de la cubierta
- 5.7 Viga en celosía de madera de pino, sirve apoyo al entablillado
- 5.8 Entablillado
- 5.9 Colocación de las vigas unidas con perfiles UPN para dar continuidad
- 5.10 Planta de replanteo de vigas de seguridad
- 5.11 Colocación del encofrado del nervio
- 5.12 Encofrado y entablillado del lóbulo
- 5.13 Colocación de las vigas de celosía
- 5.14 Colocación del armado
- 5.15 Hormigonado del nervio
- 5.16 Proyección del hormigón
- 5.17 Fase del hormigonado
- 5.18 Colocación del mallazo
- 5.19 Proyección del hormigón
- 5.20 Hormigonado proyectado de cubierta
- 5.21 Descimbrado en zona de apoyo
- 5.22 Descimbrado de la intersección de nervios
- 5.23 Detalle de apoyo del edificio
- 5.24 Inicio de colocación de cerramiento
- 5.25 Estructura auxiliar de cerramiento
- 5.26 Cerramiento del edificio
- 5.27 Estructura auxiliar de cerramiento (perfiles)
- 5.28 Colocación del andamiaje
- 5.29 Entablillado de la cubierta
- 5.30 Encofrado de la cubierta



- 5.31 Fase previa a hormigonado de cubierta
- 5.32 Inicio de hormigonado proyectada con grúa
- 5.33 Hormigonado de cubierta
- 5.34 Curado del hormigonado
- 5.35 Cubierta en inicio de desencofrado
- 5.36 Cubierta desencofrada y terminada
- 5.37 Estructura auxiliar de muro cortina
- 5.38 Colocación de muro cortina
- 5.39 Edificio de Acceso terminado

6 – MEMORIA DE ILUSTRACIONES

- 6.1 Vista general de la ciudad de las artes
- 6.2 Vista general de L´Oceanografic
- 6.3 Delfinario
- 6.4 Edificio Mares Árticos
- 6.5 Edificio de Acceso
- 6.6 Sala Oval
- 6.7 Túnel interior de los mares Tropicales
- 6.8 Edificio Mares Antárticos
- 6.9 Construcción de edificio Mares Árticos
- 6.10 Interior Restaurante
- 6.11 Cubierta de Restaurante
- 6.12 Interior de Mares Árticos



Conclusiones:

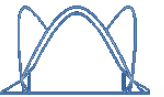
No hay nada tan espectacular como poder observar ese universo de vida acuática que se oculta bajo los océanos y apreciar las maravillas de las profundidades, muy pocos son los que tiene la posibilidad de acceder a ellos. Ésta es una de las razones por las que se construyen al igual que en otras ciudades complejas para poder disfrutar de ello, como es el Parque Oceanográfico Universal de Valencia.

El Oceanográfico cuenta con un conjunto de espectaculares edificios temáticos que siguen la misma línea arquitectónica que el resto de los elementos que conforman la Ciudad de las Artes y las Ciencias. Es el Edificio de Acceso el que es objeto de desarrollo de mi Proyecto de Fin de Grado. El motivo de la elección es su grandiosa cubierta, considerada como una de las superficies singulares más importantes con las que cuenta el Parque Oceanográfico Universal de Valencia.

Para exponer cada una de las partes de las que se compone el proyecto he realizado un proceso de búsqueda de información e investigación, por el cual ahora conozco y entiendo conceptos que caracterizan a la cubierta del edificio .

A lo largo del proyecto se encuentra un intenso análisis del edificio, comenzando con una introducción a nivel cultural que habla del inicio de la Ciudad de las Artes y las Ciencias, al igual que se hace mención a Félix Candela, arquitecto de la cubierta del Edificio de Acceso.

En el capítulo arquitectónico se profundiza de una manera mas exhaustiva la progresión del autor, entendiendo cuales fueron sus inicios y sus explicaciones tan perfectas y simples para llegar a la definición de borde libre, que el mismo llevó a cabo partiendo del paraboloides hiperbólico como forma geométrica.



Es en el estudio geométrico donde se habla del paraboloides hiperbólico. Funciona de tal manera que los esfuerzos de compresión tienden a deformar la membrana según uno de los ejes y los de tracción según el otro, contrarrestando ésta deformación.

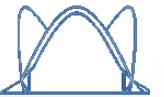
En la construcción de éstas superficies, se destaca el hecho de tener que ser ejecutadas con gran precisión, conociendo las técnicas constructivas que mas convienen debido a que influyen, entre otros, factores climatológicos, forma de la estructura y la manera de trabajar que tenga.

El proyecto ha sido de mi agrado y me ha resultado de gran interés, pues he aprendido diversos conceptos relacionados con las superficies arquitectónicas singulares, además de haber adquirido conocimientos que no están relacionados directamente con mi proyecto, pero de vital importancia para poder llevarlo a cabo, como por ejemplo el AutoCAD 3D .

Para la desarrollo de este proyecto he contado con la ayuda fundamental de mis tutores de PFG, Ligorit Tomas, Rafael Juan y Sanchis Sampedro, Francisco Javier ya que se han preocupado de guiarme, aconsejarme y transmitirme sus conocimientos.

Por otra parte agradecer a FCC Constructora y en especial a Ruizperez Alonso, José Javier por facilitarme la información y ayuda necesaria para realizar el proyecto.

Por último, y no menos importante, a Lázaro, Carlos, estructurista de la cubierta del Restaurante del Oceanográfico, a quien tuve la oportunidad de entrevistar y así obtener una explicación en cuanto a la forma de trabajar que tienen estas coberturas.



Bibliografía:

LIBROS:

TORROJA, Eduardo - Razón y ser de los tipos estructurales - Madrid Instituto Eduardo Torroja - 1976 - ISBN 8400079809

ENGEL, Heino - Sistemas de estructuras - Gustavo Gili -1997

FABER, Colin – Las estructuras de Candela – Compañía editorial continental – 1970

IVAM, Institut Valencià d'Art Modern – Félix Candela 1910 -2010 – 2010

MOREYRA, Garklock Maria E. y BILLINGTON David P. - Félix Candela Engineer, Builder, Structural Artist – 2008 – ISBN 978 -0-300-12209-1

CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS - La ciutat de les arts i les ciències – ISBN 84-931880-9-3

SEGUÍ, Buenaventura Miguel - Félix Candela arquitecto- 1994 – ISBN 84-600-8871-5

FCC Constructora – Parque Oceanográfico en Valencia-2003

FCC Constructora – Técnicas constructivas número 1- 2004

FCC Constructora – Parque Oceanográfico en Valencia-Tomo I, III y IV -2004

PÁGINAS WEB:

<http://www.google.com>

<http://www.wikipedia.com>

<http://www.wikiarquitectura.com>

<http://www.cac.com>

<http://www.taschen.com>

<http://www.epdlp.com>

<http://mcis2.princeton.edu/candela/dorothy.html>

