

CONSTRUCCION DE LA CUBIERTA DEL RESTAURANTE SUBMARINO



INDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCION.

1.1. LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS.....	2
1.2. EL EDIFICIO SELECCIONADO. DATOS GENERALES.....	6
1.3. LA SUPERFICIE ARQUITECTONICA ELEGIDA. RELACION CON EL EDIFICIO.	8
1.4. RESEÑA DEL AUTOR.	10

2. INFORME SOBRE LA SUPERFICIE.	12
---	-----------

3. ANALISIS GEOMETRICO Y ARQUITECTONICO.

3.1. EL PARABOLOIDE HIPERBOLICO O HYPAR.	13
3.2. GENERACION DE LA SUPERFICIE.	19
3.3. CRITERIOS DE DISEÑO.	23
3.4. CONDICIONES MORFOLOGICAS Y FUNCIONALES.	29

4. ANALISIS ESTRUCTURAL.

4.1. INTRODUCCION. CARACTERISTICAS MECANICAS DE LAS ESTRUCTURAS LAMINARES O CASCARONES.	32
4.2. HIPOTESIS Y METODOS DE CÁLCULO.	39
4.3. DIMENSIONADO.	44

5. ANALISIS CONSTRUCTIVO.

5.1. LA CIMBRA.	57
5.2. EL ENCOFRADO.	59
5.3. EL ENCOFRADO DE LOS APOYOS.	64
5.4. EL ARMADO DE LA CUBIERTA.	66
5.5. EL PROCESO DE HORMIGONADO.	68
5.6. EL PROCESO DE DESENCOFRADO.	71
5.7. ACABADOS.	76

6. CONCLUSION.....	77
---------------------------	-----------

7. BIBLIOGRAFIA.....	78
-----------------------------	-----------

1. INTRODUCCION.

1.1 LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS DE VALENCIA



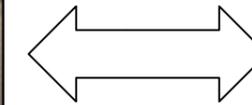
La ciudad de las artes y las ciencias se localiza al sur este de la ciudad de Valencia, en el lugar limitado por el viejo cauce del río Turia, entre el paseo de las moreras que conduce a Nazaret y la autopista de El Saler y entre las prolongaciones de las calles Tomás Montañana y Hermanos Maristas, y las prolongaciones del eje de Serrerías y el boulevard Sur. El conjunto se dispone sobre un eje que discurre longitudinalmente en dirección sur este, en la bisectriz del ángulo formado por el cauce del río Túrria y la autopista del Saler. La prolongación del eje viario de Tomás Montañana parte el solar en dos parcelas: La de cabecera de forma sensiblemente triangular, de lados desiguales curvos donde se ubica el palacio de las artes, y la segunda, un gran rectángulo ahusado, donde se localizan el hemisférico, el museo de las ciencias como pieza longitudinal entre el río y el futuro aparcamiento. El Parque oceanográfico Universal (P.O.U) queda situado en el tramo final del antiguo cauce del río Turia. Forma parte del conjunto Ciudad de las artes y las ciencias de Valencia que promueve la Generalitat Valenciana.



El Parque oceanográfico universal de Valencia se desarrolla con el objetivo de integrar en una actuación las características de los acuarios clásicos, junto con las peculiaridades de los parques temáticos americanos, basados en dar espectáculos gracias al adiestramiento de los grandes mamíferos marinos (orcas, delfines y focas). Es por esto que el P.O.U es una actuación única en el mundo pues cubre sobradamente los aspectos de acuario y parque temático, siendo uno de los más grandes del mundo en cuanto a volumen de agua, conteniendo más de 40.000m³.

EL PARQUE DEL RIO TURIA:

Este parque lineal es el pulmón verde de Valencia. Tiene una extensión total de casi un millón y medio de metros cuadrados y hoy es un inmenso y variado jardín con zonas verdes y deportivas. La mayoría de las personas que visitan Valencia por primera vez se sorprenden al encontrarse ante un cauce de río convertido en parque. Las razones que motivaron el cambio de uso del espacio hay que buscarlas en 1957.



Ese año 1957 el Río Turia se desbordó e inundó gran parte de la ciudad. Algunas calles del centro de la ciudad estaban completamente inundadas, con un metro y medio de agua. La tromba de agua de la riada fue tan brutal que se llevó por delante todo lo que encontró: casas, puentes, caminos, carreteras y cosechas enteras. Hubo 59 muertos. Al año siguiente se decidió desviar por el sur el cauce del río y dar otro uso al cauce antiguo.

Por supuesto que no faltó una polémica sobre que uso dar al nuevo espacio urbano. El alcalde de Valencia en aquel periodo, Miguel Ramón Izquierdo, siempre tuvo claro que el cauce iba a ser un parque, en sus propias palabras: una zona verde de espacios libres y aquellos servicios que los afanes comunitarios demanden. Además el alcalde se anticipó a cualquier decisión ordenando plantar árboles para dificultar otros posibles usos. En la primera visita de Juan Carlos I como Rey de España a la ciudad de Valencia, la titularidad del espacio del cauce es cedida al Ayuntamiento de Valencia, celebrándose en el 2006 el 30 aniversario de la cesión del cauce del río Turia a la ciudad de Valencia. Esta es la causa de que hoy en día pueda estar ubicada la ciudad de las ciencias en este espacio.

EL ENTORNO. EDIFICIOS SINGULARES.

1. EL PALACIO DE LAS ARTES



El edificio se entiende como un elemento singular, en la medida que se se cumplen en él los requisitos morfológicos y de contenido arquitectónico que le confiere la categoría de hito urbano, dentro de una unidad superior en la que asume el papel de la introducción en el discurso Ciudad-Río-Mar, que establece el conjunto de la ciudad de las artes y las ciencias.

Es una gran escultura que contendrá un programa funcional predeterminado, no tratándose solamente de un edificio con carácter musical, sino que pretende convertirse por su imagen, su pluralidad funcional, su fácil accesibilidad al público y su permeabilidad respecto al entorno urbano, en un foco cultural de gran importancia para la ciudad de Valencia. El edificio presenta espacios para la producción de espectáculos como talleres, almacenes, salas de ensayo colectivas e individuales, vestuarios, camerinos, salas de descanso, salas de prensa, recintos para autoridades y público en general.

La parte más representativa del conjunto es la **cubierta**, ya que además de su rigurosidad estructural y geométrica, contiene una gran carga de expresividad e intención plástica que hace trascender el carácter artístico de las actividades del interior hacia el exterior. La gran espina dorsal parte del fondo oeste de la plataforma y se proyecta hacia el núcleo central del edificio, siguiendo la directriz principal del eje longitudinal.

Arquitecto: Santiago Calatrava Valls

Año de construcción: 2005.

Aforo: 1800 personas.

Superficie: 40.000m² y 75m de altura.

2. EL MUSEO DE LAS CIENCIAS



El Edificio: Se plantea como un gran contenedor que albergue un gran espacio interior libre que permita distribuir cualquier exposición general. Se genera un gran espacio longitudinal a partir del desarrollo modular de su sección transversal en toda la longitud de la parcela asignada.

Los testeros, asumen su carácter de remate final del edificio de modo simétrico, con una imagen tensional de sujeción de los distintos módulos repetidos a la manera de contrafuertes laterales. Este concepto generador del edificio favorece el carácter longitudinal de sus fachadas principales, estabilizándose así el frente del conjunto desde las amplias perspectivas que ofrece el espacio del antiguo cauce del río Turia.

El edificio se configura como una gran cubierta inclinada soportada por unos singulares pilares de hormigón blanco que se ramifican conforme van ganando altura en forma arborescente, y cerrada por una fachada continua acristalada y plegada como un acordeón al norte, y otra más reducida y seriada al sur, que presenta elementos macizos del mismo tipo de hormigón, repetitivos y salientes como contrafuertes.

Las fachadas laterales o testeros muestran el perfil lateral del edificio, conformado por unos gigantescos pilares inclinados de hormigón armado a modo de tornapuntas, que sujetan unos grandes arcos de hormigón y cristal que visualizan al exterior la estructura interna del edificio. Este concepto generador del edificio favorece el carácter longitudinal de sus fachadas principales, estabilizándose, así, el frente del conjunto desde las amplias perspectivas que ofrece al espacio del río.

Configuración interna del edificio: Se estructura según una serie de plantas o niveles dispuestos a modo de bandejas en el sentido longitudinal del mismo, en dos bandas paralelas recayentes a las fachadas norte y sur y separadas por un gran espacio interior.

Arquitecto: Santiago Calatrava Valls

Año de construcción: 2000.

Aforo: 1800 personas.

Superficie: 37.330m² y 50m de altura.

Superficie acristalada: 18.590m².

3. L'HEMISFERIC



El edificio: Fue el primero en entrar en funcionamiento de la ciudad de las artes y las ciencias de Valencia, y en él se pueden disfrutar de tres tipos de espectáculos audiovisuales: planetario, cine Imax y Laser Omniscan. Es un diseño novedoso que simboliza un gran ojo que asoma a través de un gran estanque por el que asoman las nuevas tecnologías audiovisuales. La pupila es el domo o cúpula esférica de la sala de proyecciones, los párpados son las bóvedas tóricas y las pestañas las cancelas acristaladas.

El edificio emerge como un gran caparazón que está formado por estructuras fijas y estructuras móviles que cubren una gran semiesfera dispuesta en el centro del edificio, la cual alberga la sala de proyecciones. Las estructuras móviles, al abrirse, muestran al exterior la esencia de la esfera.

Ocupa una posición central sobre un gran estanque de superficie rectangular de 24.000m² de superficie, dividido por un gran paseo peatonal sobre el eje de simetría del edificio.

El edificio se compone de dos cuerpos: el edificio planetario y el edificio de servicios (taquillas, cafetería y oficinas).

En el exterior las grandes laminas tóricas se abren a modo de parpados desplazando unas enormes cancelas de 90m. El domo o cúpula del edificio sobre el graderío encierra una serie de volúmenes esféricos de 32m de diámetro.

Arquitecto: Santiago Calatrava Valls

Año de construcción: 1998.

Superficie: 26.000m².

4. EL AGORA.



El Edificio: El Ágora es el edificio con el que se dará por concluido el complejo de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia. Situado entre el recién inaugurado puente L'Assut de l'Or y el Oceanográfico, este espectacular edificio está concebido como una gran plaza cubierta multifuncional en el que se albergarán multitud de eventos de distinta naturaleza.

De planta diáfana de aproximadamente 5000 m², tiene una altura máxima de 85m, una longitud de 104m y una anchura de 60m. La estructura fija forma una cubierta metálica abovedada formada por 49 pórticos arriostrados longitudinalmente mediante parejas de arcos laterales y centrales. En su parte superior, se sitúa una gran estructura móvil que permitirá el control de la luz natural en el recinto gracias a su cubierta de vidrio.

Arquitecto: Santiago Calatrava Valls

Superficie: 5.000m².

Año de construcción: 2008.

5. EL UMBRACLE



El Umbracle es un mirador de más de 17.500 metros cuadrados con zona expositiva desde el que se puede contemplar la globalidad de edificios, estanques, paseos y zonas ajardinadas de la Ciudad de las Artes y las Ciencias. Presenta vegetación propia de la región mediterránea, de la Comunidad Valenciana y de países tropicales, que varía a lo largo de las estaciones del año.

EL PARQUE OCEANOGRÁFICO UNIVERSAL (P.O.U).

La parcela ocupada por el P.O.U se encuentra situada en el margen derecho del antiguo cauce del río, y tiene una superficie de 80.000m². Dicha superficie es muy reducida para tratarse de un parque temático pero se decidió así para provocar el menor impacto ambiental posible, empujando a los proyectistas a concebirlo como construcciones subterráneas, liberando el nivel superior para zonas de ajardinamiento, restauración y paseo. El proyecto se diseñó como un conjunto de edificios enterrados y situados alrededor de un lago artificial, en los que cada uno representa una zona del medio acuático: Mar Mediterráneo, Aguas continentales, Océanos, Mares tropicales, Mares Árticos, Mares Antárticos, Restaurante submarino, Auditorio submarino y Mamíferos marinos. Además se proyectó un edificio de acceso, un delfinario, un aparcamiento de 1.000 plazas, una nave de servicios y un edificio de oficinas. Con una superficie construida de 100.000m², además tiene construcciones de menor entidad como taquillas, kioscos o casetas que suman 2.000m².



El Restaurante, y concretamente su cubierta, son el objeto del presente estudio, otro ejemplo más de la filosofía del proyecto de proporcionar espacios únicos y reconocibles. Un restaurante rodeado de agua que muestra en su nivel inferior una batería de acuarios en todo su perímetro.

EDIFICIO ACCESO



RESTAURANTE



MAR ÁRTICO



EDIFICIO OFICINAS



HUMEDALES



AUDITORIO

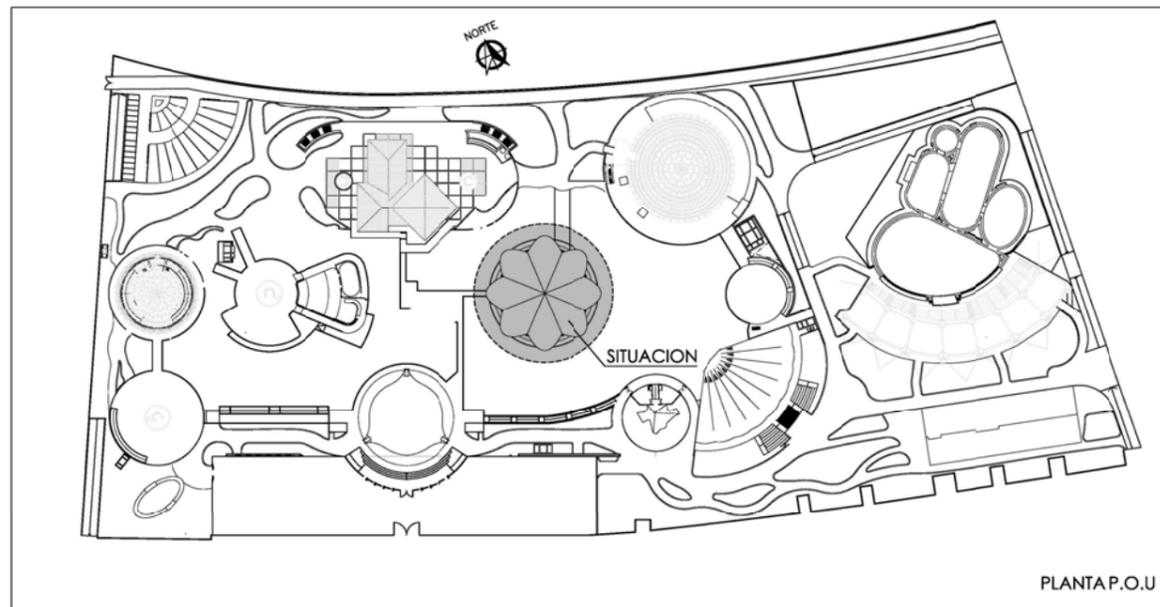


DELFINARIO



1.2. EL EDIFICIO SELECCIONADO.

SITUACION DEL EDIFICIO SELECCIONADO



EL EDIFICIO del Restaurante se caracteriza por la cubierta de hormigón, compuesta por ocho paraboloides hiperbólicos, creando así una forma orgánica similar a la de un nenúfar.



Está **ubicado** sobre un lago para lograr la sensación de estar flotando sobre el agua.

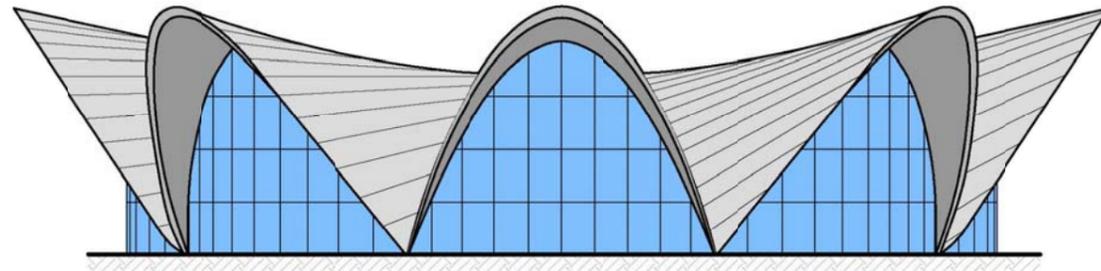


ACCESO: Se hace a través de unos pantalanes que lo unen con el edificio de acceso y con el restaurante Staek house, y entre ellos se han establecido pequeñas islas intermedias para que el recorrido sea más dinámico.

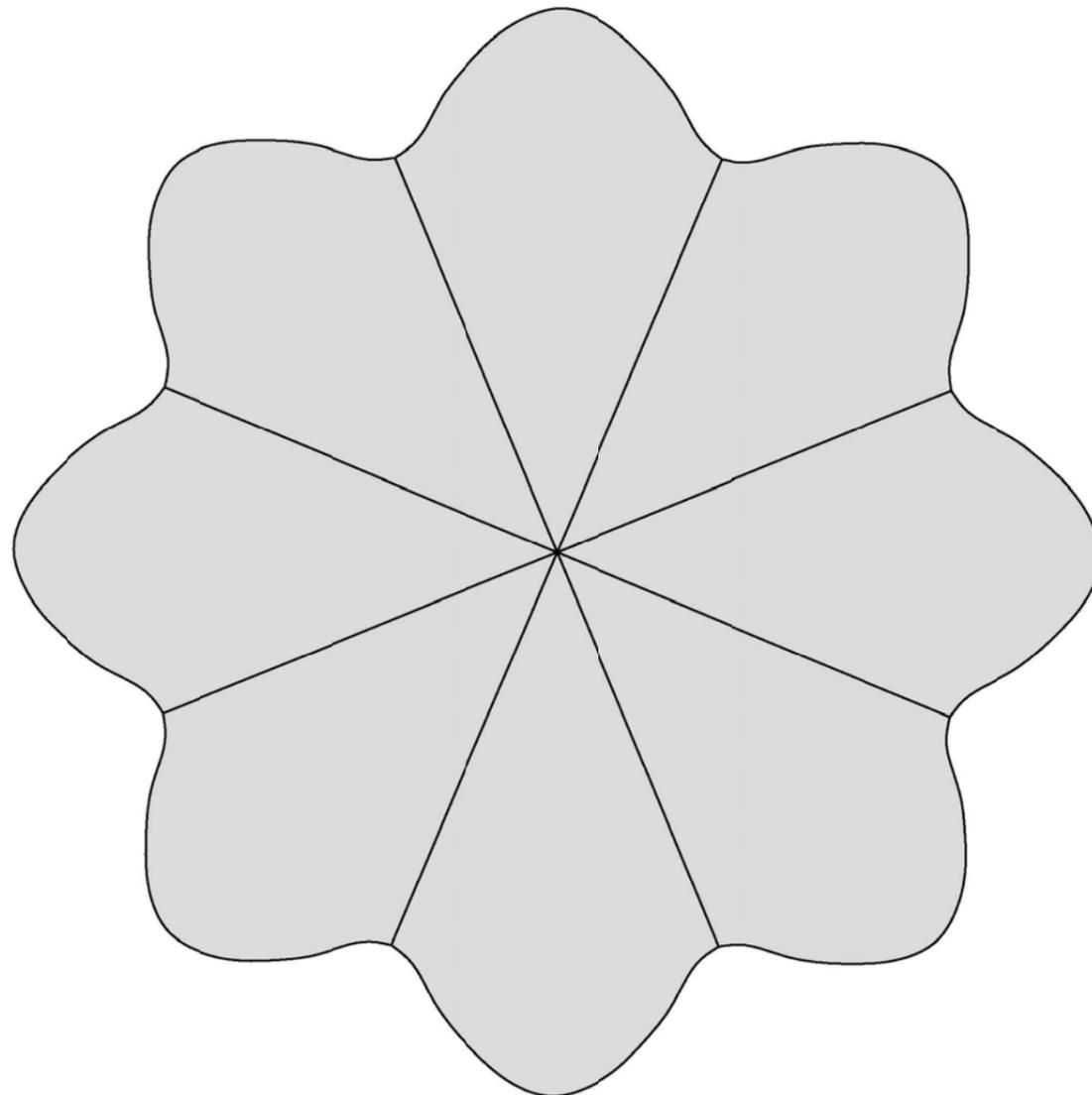
El edificio consta de dos niveles:

- Nivel de Acceso: Comunica directamente con el lago. Es una plataforma circular sobre la que se apoya la cubierta. Las fachadas de vidrio con carpintería metálica la dividen en dos zonas, una interior y otra exterior. En ambas zonas se ha instalado un servicio de cafetería. Se conecta el nivel de acceso con el nivel inferior gracias a dos ascensores panorámicos y dos escaleras de obra, situados en el perímetro de un gran ojo central con forma circular. Toda la planta de la cafetería es amplia y diáfana, y desde ella se puede contemplar el curioso interior de la cubierta.
- Nivel inferior: En este nivel se encuentra el comedor de planta octogonal. En el centro de este recinto se ha colocado una luminaria de planta circular. Es otro ejemplo más de la filosofía del proyecto, de proporcionar espacios únicos y reconocibles, que queda patente también en la construcción de este edificio que no tiene ninguna función conceptual pero sí estética. Precisamente para resaltar esta función estética este espacio no tiene otra decoración que no sean los bancos de peces nadando en medio de la nada, con juegos de luces y efectos.

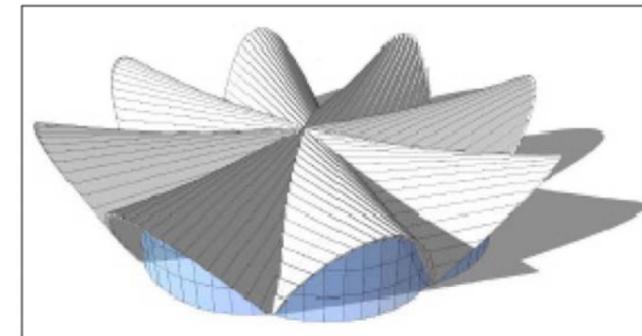
Este maravilloso edificio muestra en su interior una batería de 8 acuarios de grandes dimensiones: 3,4m de altura x 8 metros de largo en todo su perímetro.



ALZADO RESTAURANTE OCEANOGRAFICO



CUBIERTA RESTAURANTE OCEANOGRAFICO



PROYECTO FINAL DE GRADO
SUPERFICIES ARQUITECTONICAS SINGULARES

ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE

PLANO DE EL EDIFICIO SELECCIONADO

PLANO 1

CURSO 2010-11

ESCALA 1/200

ETSGE



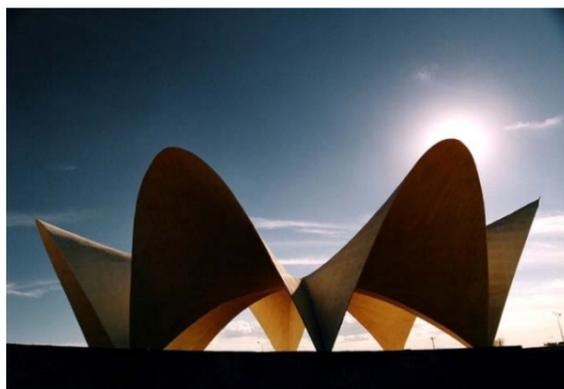
1.3. SUPERFICIE ARQUITECTÓNICA ELEGIDA. RELACION CON EL EDIFICIO.

SUPERFICIE SELECCIONADA: Cubierta del Restaurante submarino del oceanográfico de Valencia.

LOCALIZACION:



MOTIVO DE SU ELECCION: Ejemplo magnífico de la aplicación del paraboloide hiperbólico como superficie arquitectónica, cuya ventaja más notable es la creación de espacios de grandes luces con espesores mínimos de hormigón armado (Hablamos de espesores de 6 a 12 centímetros y de luces de 35m de longitud.)



DESCRIPCION: La cubierta JCHYPAR, denominada así como homenaje a Félix Candela (JC iniciales introducidas por los autores del proyecto e HYPAR por ser el nombre con el que se conocen los paraboloides hiperbólicos) es una réplica de la cubierta de Xochimilco, Méjico, a mayor escala. Corona el edificio del restaurante submarino en el Parque Oceanográfico y es el resultado de la intersección de cuatro paraboloides hiperbólicos que generan una cubierta nervada formada por ocho lóbulos.

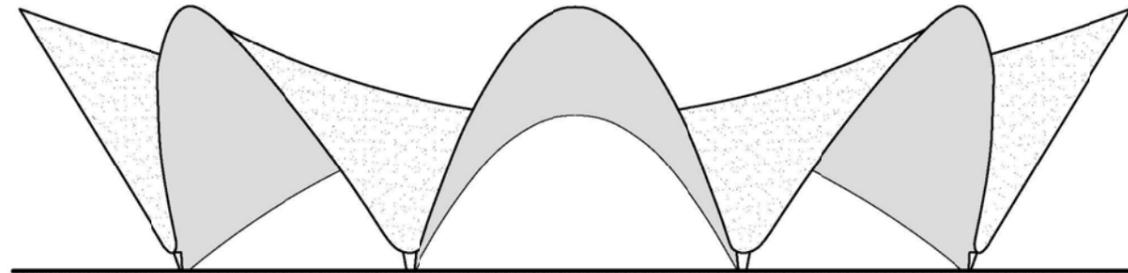


Hay que destacar en lo relativo a las características estructurales, la dificultad de su sistema de ejecución, con un cimbrado y encofrado técnicamente muy laborioso. Una puesta en obra del hormigón por vía seca proyectado debido a las fuertes pendientes que genera el trazado.

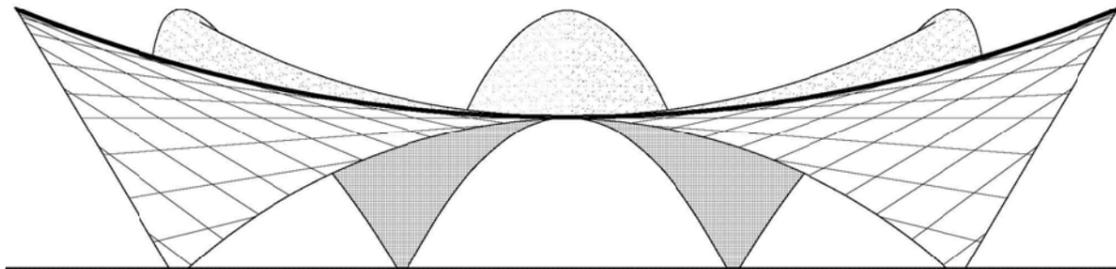


La forma resultante de la superficie generada tiene las siguientes características en proyecto:

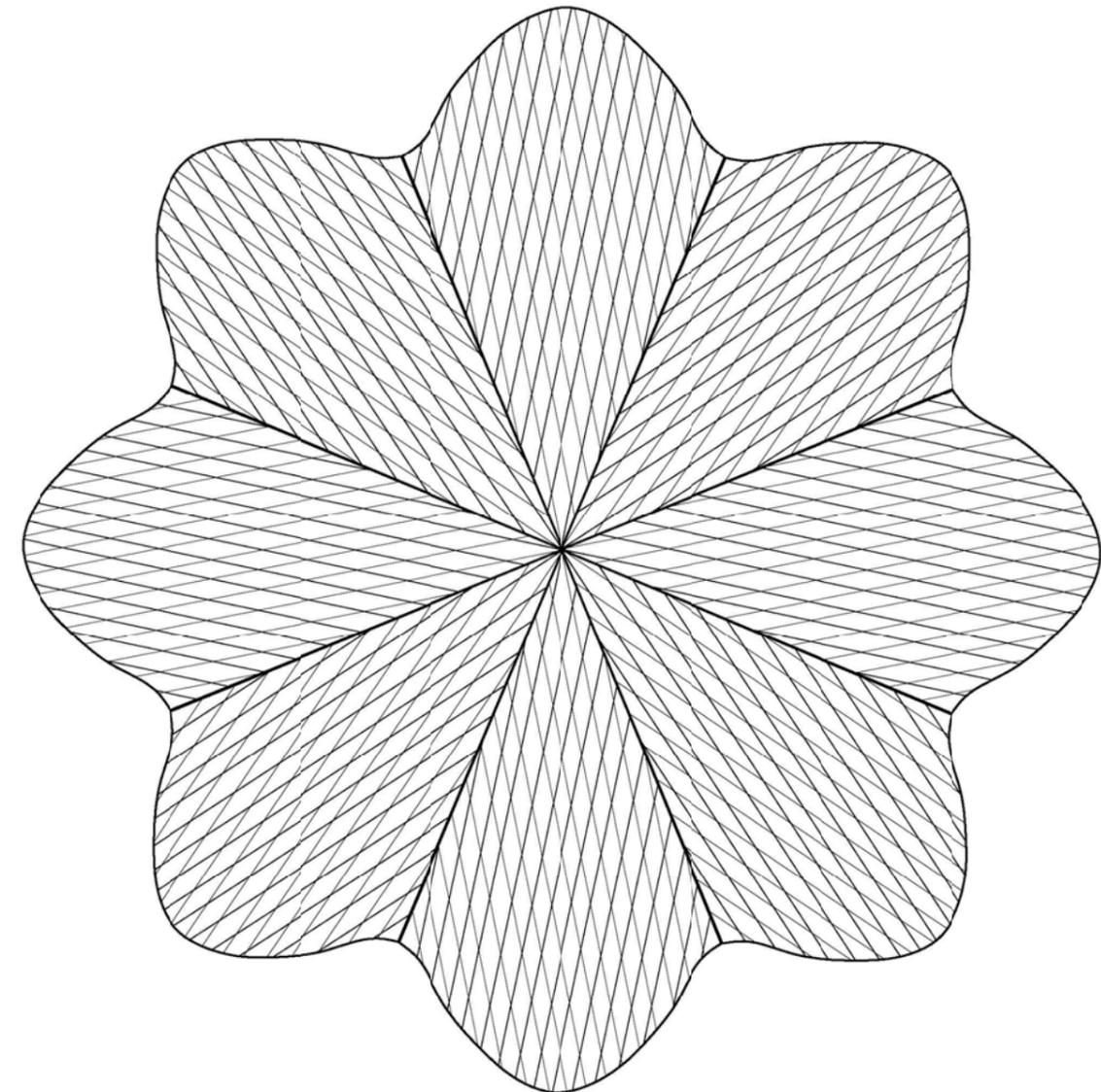
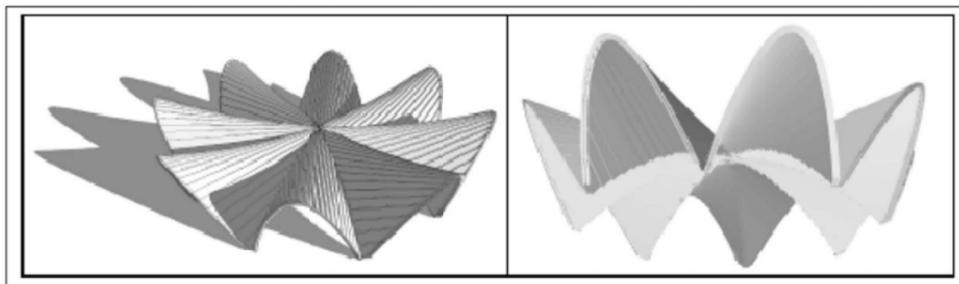
- Distancia entre apoyos consecutivos: 13,58m.
- Luz de los arcos formados por los nervios: 35,5m.
- Altura de la clave: 8,12m.
- Altura del borde libre del voladizo: 12,75m.
- Longitud total en planta 46.18m.
- El Restaurante, con forma circular en planta de radio 16.96m.



ESQUEMA DE MODELADO DE LA SUPERFICIE



ESQUEMA DE SECCION DE LA SUPERFICIE



ESQUEMA DE PLANTA CUBIERTA

PROYECTO FINAL DE GRADO
SUPERFICIES ARQUITECTONICAS SINGULARES

ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE

PLANO DE INFORME SOBRE LA SUPERFICIE

PLANO 2

CURSO 2010-11

ESCALA 1/200

ETSGE



1.4. RESEÑA DEL AUTOR.

Félix Candela



Félix Candela Outeriño, nace en Madrid el 27 de Enero de 1910, dejando huella en la arquitectura del siglo XX, con las estructuras laminares de hormigón armado, conocidas popularmente como **cascarones**, estructuras basadas en el uso extensivo del paraboloide hiperbólico. Ha sido considerado como precursor de la arquitectura sostenible, por su compromiso de realizar obras económicas, duraderas y bellas.



Su influencia se expandió por el mundo y aun hoy la podemos encontrar en la expresión formal de algunos arquitectos contemporáneos. Su infancia y juventud transcurrieron en España entre los estudios y el deporte. Desde pequeño se aficiona al excursionismo, en su adolescencia se incorpora a la sociedad gimnástica. El deporte donde más destacó fue el esquí siendo campeón de salto en España en 1932.

Sinaia



Se licenció en arquitectura en el año 1935, un año antes de la guerra civil española, en la que apoyó a la república. Participó en la ofensiva del Ebro y acabó cruzando los pirineos buscando refugio en Francia. Se exilia a Méjico a bordo del Sinaia en 1939 (Méjico acogió a los refugiados republicanos), desembarcando en Vera Cruz dispuesto a iniciar una nueva etapa.

Planta embotelladora Bacardi



Tras una época de dificultades funda la empresa denominada **cubiertas Ala**, gracias a la tecnología de las estructuras laminares de hormigón armado que había estudiado en Europa se convierte en un constructor de éxito.

Capilla del Altillio



Félix Candela encontró la forma geométrica adecuada, para optimizar, no solo la belleza escénica de sus cascarones, sino a la vez, y de manera inseparable, su funcionamiento estructural, proceso de construcción, y coste. Utilizó generalmente, formas geométricas de doble curvatura que son resistentes por su propia forma, y de entre todas las posibles, fundamentalmente el paraboloide hiperbólico, una superficie reglada que permite ser hormigonada sobre un sencillo encofrado realizado a base de tablas de madera que siguen sus generatrices rectas.

Restaurante de los Manantiales



Tres años después decide emigrar a estados unidos en 1971 como profesor de la universidad de Illinois, centrándose en la docencia de consultoría para grandes estudios de arquitectura.

Félix Candela Outeriño fallece en Carolina del Norte en 1997, cuando se encontraba inmerso en la construcción de su último proyecto, **el Oceanográfico** de la ciudad de las artes y las ciencias de Valencia, colofón a una brillante carrera llena de éxitos profesionales como avalan los siguientes premios entre otros:

- Premio Auguste Perret de la unión internacional de Arquitectos y la medalla de oro de la institución de ingenieros estructurales en 1961.
- Medalla de oro de la arquitectura del colegio de arquitectos de España en 1981, y el premio Antonio Camuñas de Arquitectura en 1985.
- Fue Doctor Honoris Causa por la universidades politécnica de Madrid en 1994, la universidad de Sevilla en 1990, la universidad de nuevo Méjico en 1978 y la universidad Santa María de Caracas en 1978.
- Entre 1961 y 1962 presidió las Charles Elliot Norton Lectures de la universidad de Harvard.
- Entre 1974 y 1977 obtuvo el título honorífico William Hoffman Word Professor de Architecture de la universidad de Leeds

Restaurante del Oceanográfico



OBRAS SIGNIFICATIVAS.

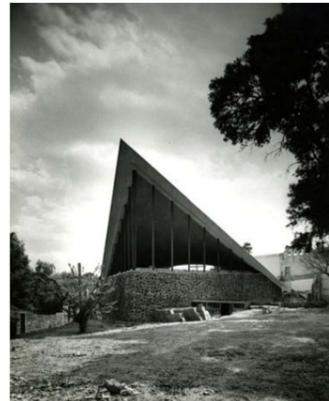
1951. PABELLON DE LOS RAYOS COSMICOS.



1953. IGLESIA VIRGEN DE LA MEDALLA MILAGROSA



1955. CAPILLA DE NUESTRA SEÑORA DE LA SOLEDAD DEL ALTILLO.



1955. BOLSA DE VALORES CIUDAD DE MEJICO.



1956. CAPILLA DE SAN ANTONIO HUERTAS.



1957. CLUB NOCTURNO LA JACARANDA.



1957. RESTAURANTE DE LOS MANANTIALES.



1959. OFICINA DE LAS VENTAS.



FC7? a.a. p.91

1959. CAPILLA DE SAN VICENTE PAUL.



1959. LA CAPILLA DE PALMIRA.



1959. IGLESIA DE SAN JOSE OBRERO.



1960. PLANTA EMBOTELLADORA BACARDI.



1963. IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE GUADALUPE.



1968. PALACIO DE LOS DEPORTES DE MEJICO.



2002. RESTAURANTE DEL OCEANOGRAFICO.



2. INFORMACION SOBRE LA SUPERFICIE.

TECNICOS PROYECTISTAS:

- D. ALBERTO DOMINGO CABO.
- D. CARLOS LÁZARO FERNÁNDEZ.

TECNICOS COLABORADORES:

- D. JOSÉ MARÍA TOMÁS LLAVADOR.

CLIENTES:

- CACSA
- GENERALITAT VALENCIANA.
- CIVIS PROJECT MANAGEMENT.

CONSTRUCTOR:

- ACS.
- SEDESA.
- FCC.

PERIODO DE EJECUCION:

LA DOCUMENTACIÓN GRÁFICA CONSULTADA GRACIAS A LA EMPRESA FCC, TIENEN FECHA DE NOVIEMBRE DEL 1999, Y LA INAUGURACIÓN DEL PARQUE OCEANOGRÁFICO SE HACE EN ENERO DEL 2003

DATOS DE MATERIALES:

- HORMIGÓN: H-300 REFERIDA A LA ANTIGUA NORMATIVA, PROYECTADO DE COLOR BLANCO CON 50 KG/M³ DE ADICIÓN DE FIBRAS RC/80/35-BN.
- CEMENTO: BLII42,5 CON DOSIFICACIÓN DE 400 KG/M³.
- NERVIOS: ARMADOS CON VIGAS DE SECCIÓN VARIABLE QUE TRANSMITEN LAS CARGAS A LOS APOYOS. ARMADO EN LA SUPERFICIE CON REDONDOS DE 8MM C/ 15CM.
- CIMBRADO: REALIZADO A BASE DE PERFILES METALICOS TUBULARES DISPUESTOS GENERANDO UNA ESTRUCTURA ORTOGONAL.
- ENCOFRADO: REALIZADO CON TABLAS DE MADERA MACHIHEMBRADA CUYAS DIRECCIONES SIGUEN LAS DIRECCIONES DE LAS RECTAS GENERATRICES DEL PARABOLOIDE HIPERBÓLICO.

Alberto Domingo y Carlos Lázaro, ambos profesores de la Universidad Politécnica de Valencia, en el departamento de Ingeniería de la construcción y proyectos de ingeniería civil, son los autores del proyecto de ejecución de la cubierta del Restaurante Submarino. El encargo les llega por convenio de la Universidad Politécnica de Valencia para revisar las estructuras de los edificios singulares del Oceanográfico.

El día 27 de Abril del 2011, mantuvimos una reunión con Carlos Lázaro en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, y nos transmitió que Civis project management es la empresa encargada de gestionar la ejecución de todo el Parque Oceanográfico de Valencia, y es la que contrata a ambos como asistencia técnica especializada en estructuras. No había ningún proyecto de las cubiertas, solo unos cuantos bocetos con geometrías distintas y diferentes a la actual. Más tarde se plantea la posibilidad de hacerlo como el Restaurante de Xochimilco, en Méjico, para dar un homenaje póstumo a la figura del Arquitecto Félix Candela.

Ambos técnicos desarrollan el Proyecto de Ejecución de las cubiertas del edificio de acceso y del restaurante submarino, tras una labor de investigación y estudio para respetar al máximo los proyectos e ideas de Félix Candela, además de calcular la mayoría de cubiertas del resto de edificios que conforman el Parque Oceanográfico.

Más tarde lo que ocurre es que tras una revisión de los proyectos, al final se decide encargar el proyecto de ejecución del edificio de acceso a Carlos Fernández Casado S.L. quedando el proyecto del restaurante submarino, objeto de este estudio, en manos de Alberto Domingo y Carlos Lázaro, los cuales diseñan y calculan la cubierta JCHYPAR.



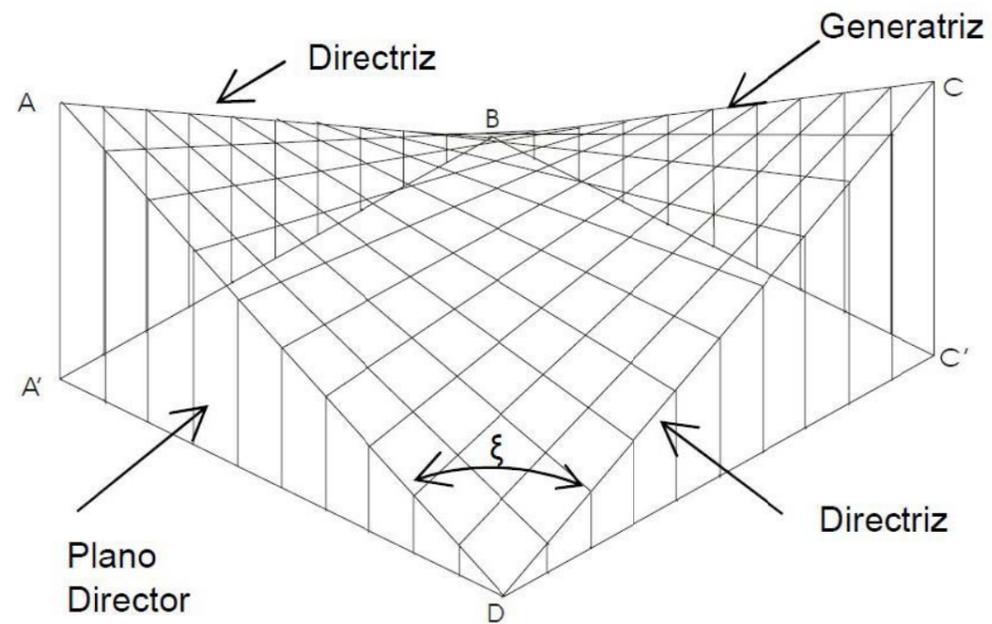
3. ANALISIS GEOMETRICO Y ARQUITECTONICO.

3.1 EL PARABOLOIDE HIPERBOLICO (HYPAR).

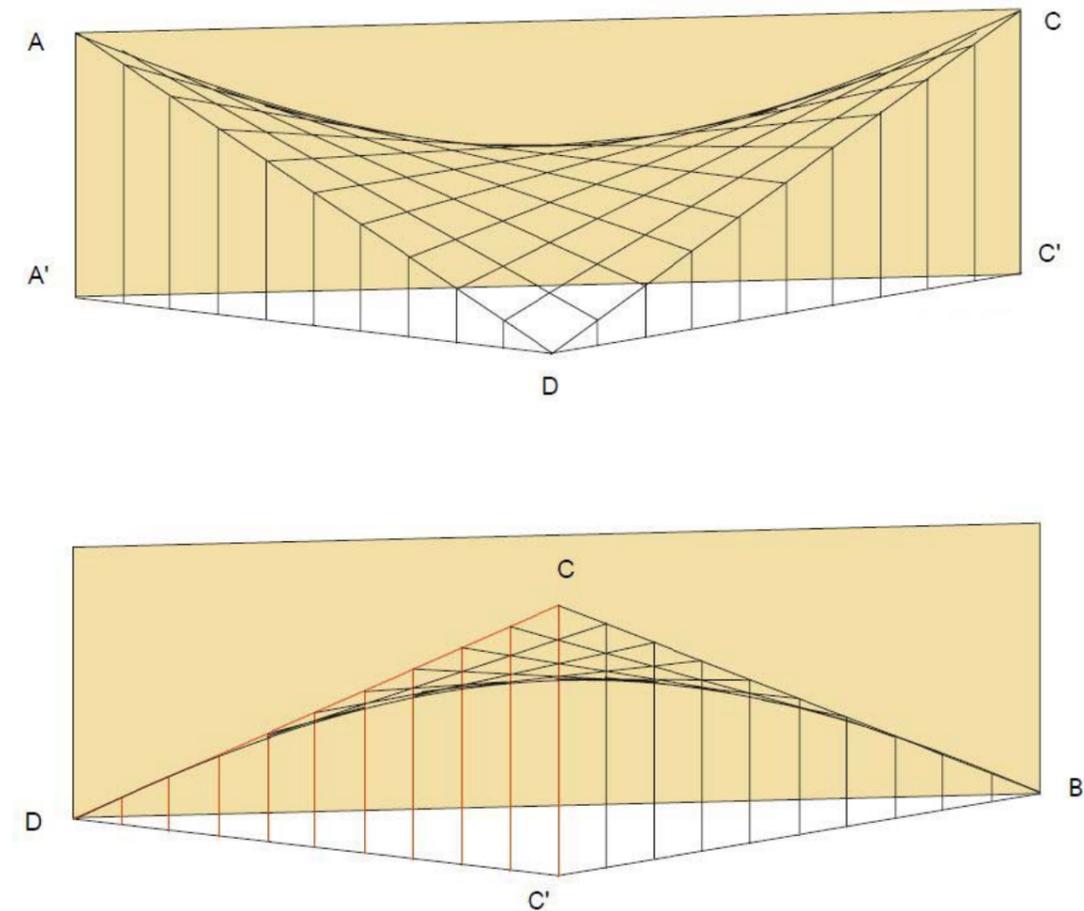
Es una superficie de clase reglada y familia alabeada.

Para tener una idea concreta de la forma de esta superficie vamos a partir de dos planos paralelos, el plano AA'B y el plano CC'D. Las rectas AB y CD no son paralelas entre sí, pero están contenidas en estos dos planos paralelos y las DIRECTRICES. La recta BC es la GENERATRIZ que corta a las dos rectas directrices y que es paralela al plano AA'D o plano director. La recta BC al desplazarse paralelamente al plano director y apoyándose sobre las directrices genera la superficie.

El paraboloides hiperbólico contiene dos familias de rectas. Cada familia es paralela a un plano director y ambos planos forman un ángulo entre sí arbitrario ξ . Si $\xi = 90^\circ$ el paraboloides es equilátero

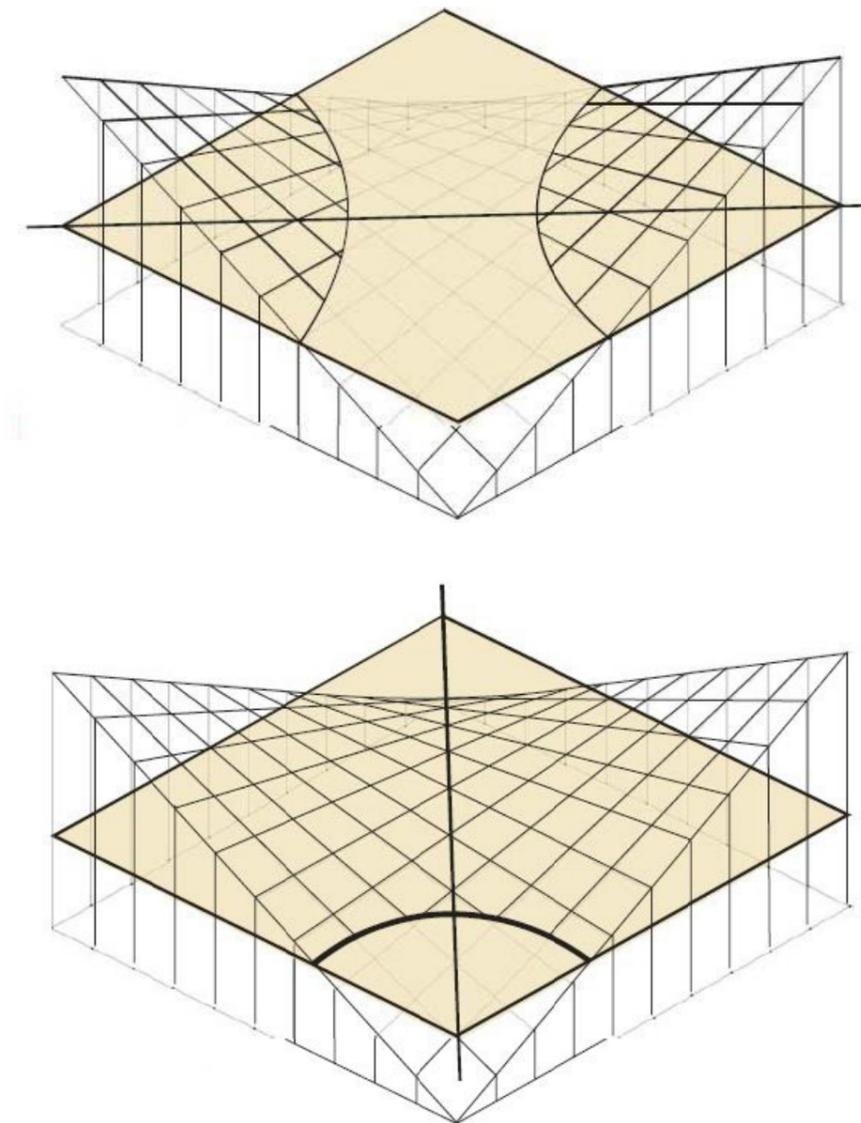
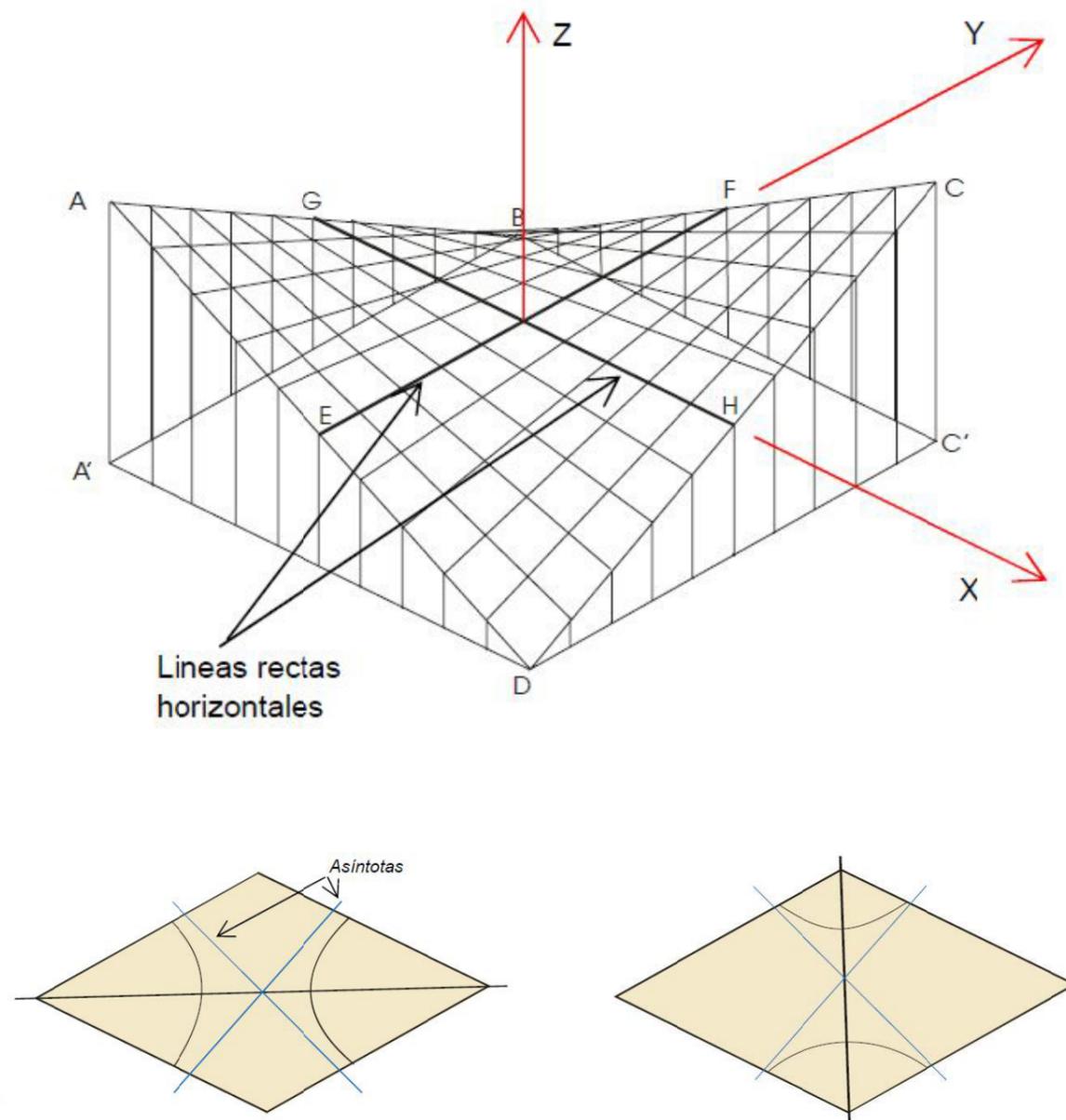


La intersección de la superficie con cualquier plano vertical paralelo a las diagonales produce curvas parabólicas. En especial, los planos verticales que pasan por las diagonales principales dan como intersección parábolas principales, una con concavidad hacia abajo y otra con concavidad hacia arriba.

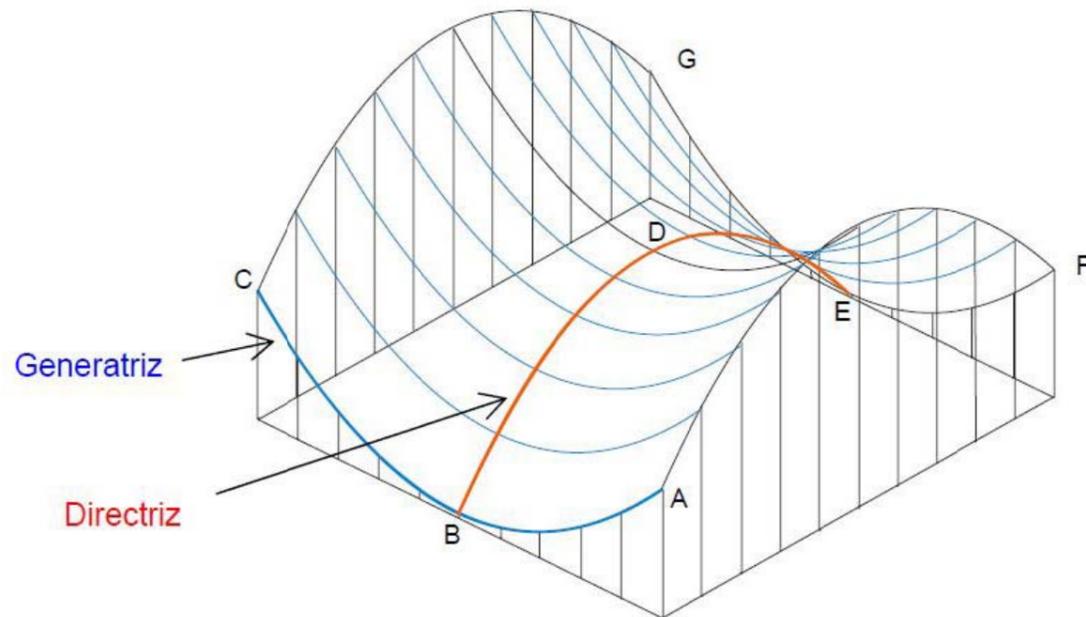


Es por esto que se denominan a este tipo de superficies anticlásticas, es decir, con curvaturas opuestas en un mismo punto según la sección de planos normales entre sí. Pero a pesar de ser superficies de doble curvatura sus intersecciones con planos verticales paralelos a los planos directores producen líneas rectas. De estas, solo las centrales son horizontales.

La intersección de la superficie con planos horizontales producen curvas hiperbólicas, por ello se le da el nombre de paraboloides (todos los planos verticales forman parábolas) hiperbólico (todos los planos horizontales forman hipérbolas).



Hay otra interpretación de esta superficie como una superficie de traslación. La parábola principal ABC (generatriz) al moverse paralelamente a sí misma, apoyándose sobre otra parábola principal BDE (directriz) con concavidad opuesta a la anterior, produce el paraboloides hiperbólico.



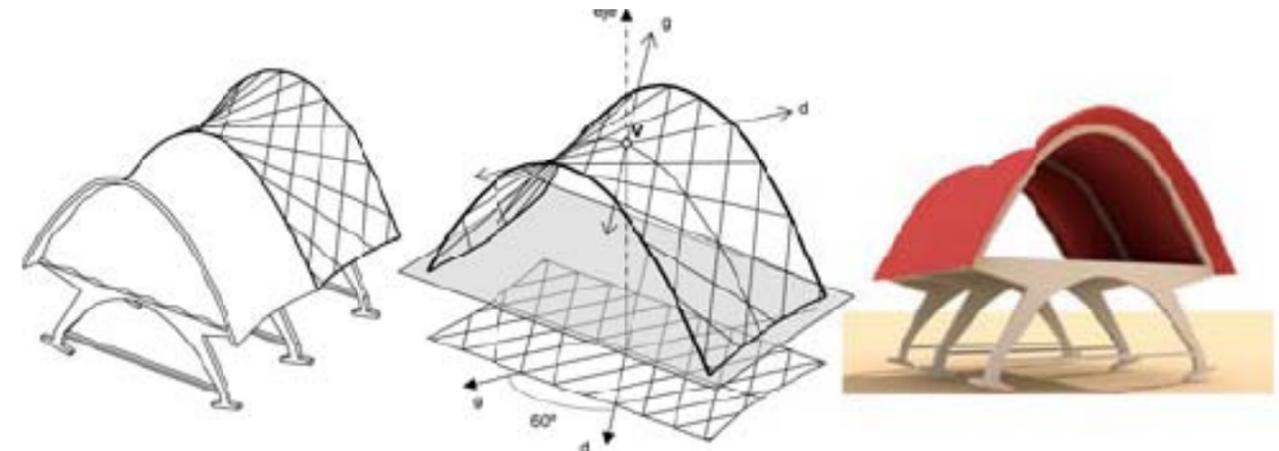
Hay otra forma estructural de lámina de paraboloides, limitada con arcos parabólicos, que se obtiene uniendo sucesivos puntos de arcos mediante rectas pertenecientes a planos paralelos no perpendiculares a los planos de los arcos (arcos tímpanos).

Si materializamos estas rectas con tablas de madera, una al lado de otra, tendríamos la forma del encofrado de esta superficie de doble curvatura, igual a una silla de montar, y como el pabellón de los rayos cósmicos de Candela en Méjico.

Constructivamente es muy importante materializar estas superficies con encofrados de tablas rectas. En general se dispone en una dirección vigas de madera separadas convenientemente, y en la otra se apoyan las tablas unidas.

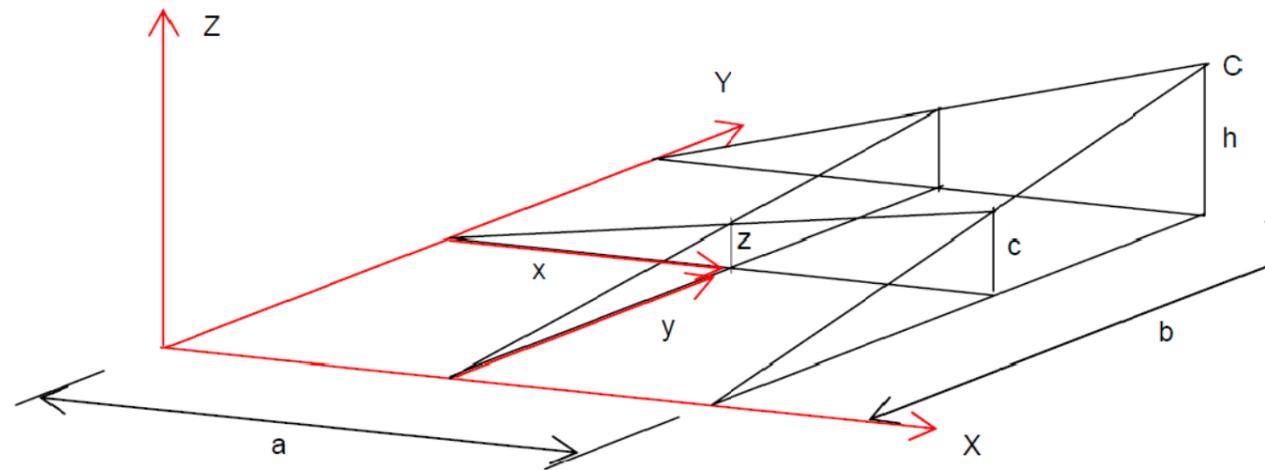


Pabellón de los rayos cósmicos



ECUACION DE LA SUPERFICIE:

Si tuviéramos que acotar un plano de replanteo lo realizaríamos mediante interpolación lineal partiendo de la ecuación geométrica de la superficie. Veamos un caso práctico de cómo se obtienen las cotas en altura de los puntos correspondientes a las duelas y las generatrices, que forman parte de la cimbra y el encofrado. Partimos de la figura siguiente donde el ángulo entre los ejes X e Y es de 90°:



Por simple relación geométrica se obtiene:

$$\frac{c}{h} = \frac{y}{b}$$

y además

$$\frac{z}{x} = \frac{c}{a}$$



$$c = \frac{h}{b} y$$



$$z = \frac{h}{a b} x y$$



llamando: $k = \frac{h}{a b}$

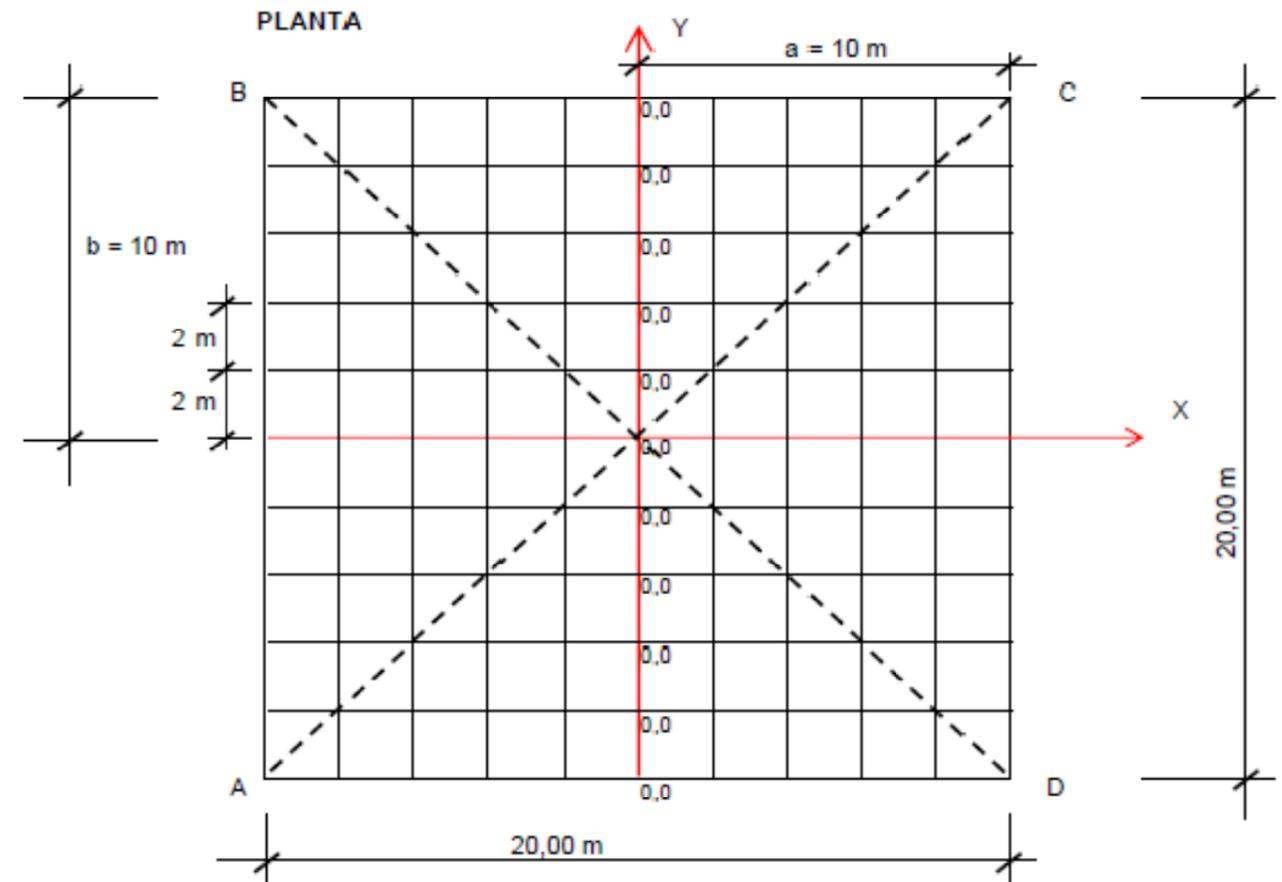
alabeo de la superficie

$$z = k x y$$

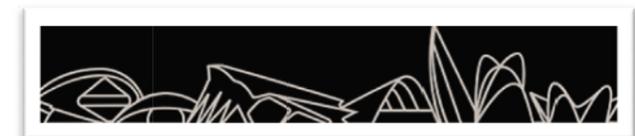
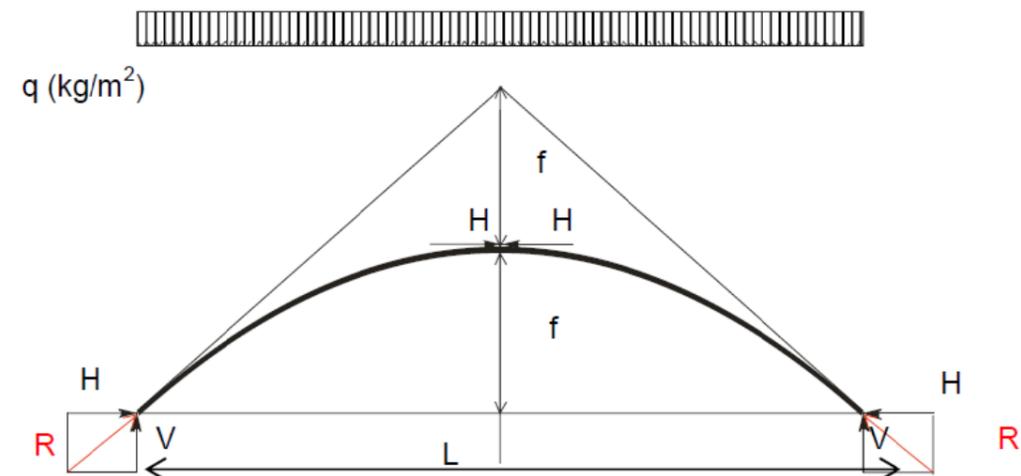
ecuación de la superficie referida a los ejes XYZ

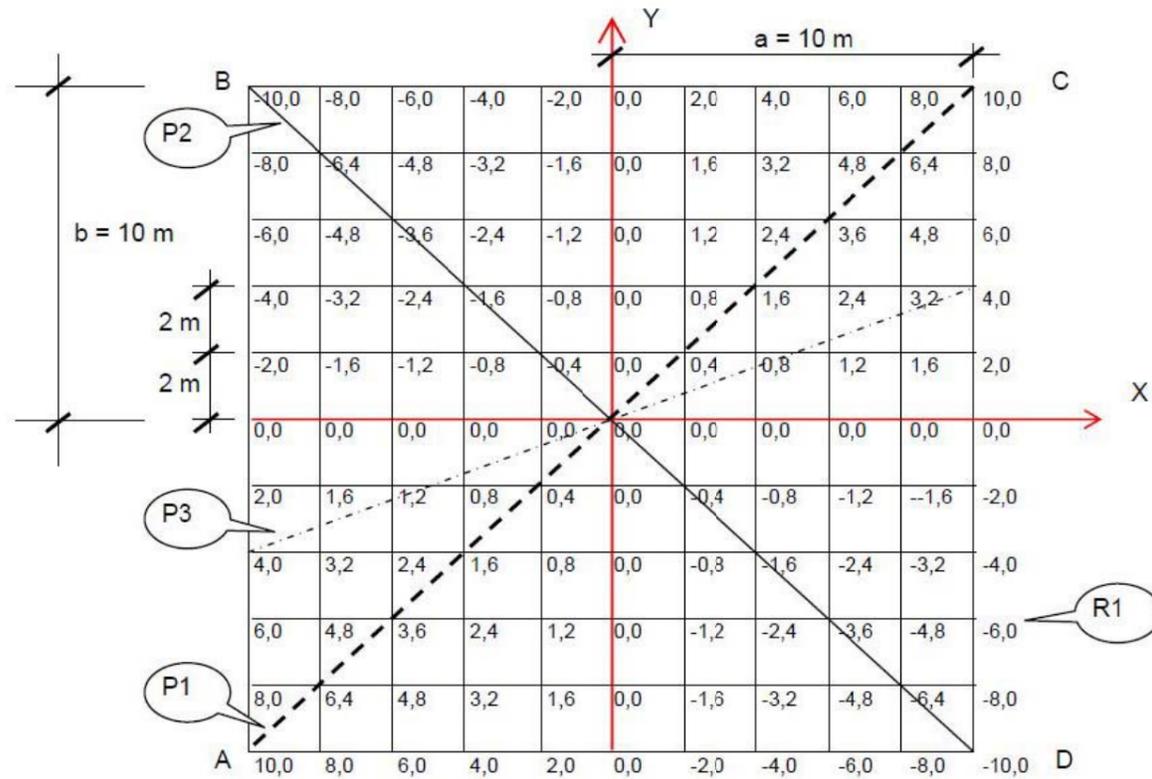
Siendo la ecuación de la superficie $Z = k .x.y.\text{sen}(\theta)$, siendo θ el ángulo formado por los ejes X e Y en proyección horizontal con valor de 90°, quedando $Z = k .x.y$

Supongamos que partimos de una planta cuadrada de lados 20 x 20. La superficie que se va a generar es un paraboloides hiperbólico, con dos diagonales principales que corresponden a las parábolas principales, cuya longitud es de $\sqrt{20^2 + 20^2} = 28,28\text{m}$. Veamos el siguiente ejemplo:



Una vez finalizado el replanteo en planta y definidos los ejes X e Y, la relación que debemos de cumplir es:





La figura muestra las cotas de nivel aplicando la ecuación de la superficie, ahora bien, vamos a suponer un altura de 3m para los ejes X e Y, según el siguiente cálculo, cumpliendo además la relación f / L. Además podemos establecer lo siguiente:

- Los cortes por planos verticales que coinciden con las generatrices principales, dan como intersección parábolas de máxima curvatura (P1 y P2).
- Los cortes por planos verticales no sean paralelos a los anteriores, ni lo sean con las rectas generatrices, dan como intersección parábolas de menor curvatura que las principales (P3).
- Los cortes por planos verticales paralelos a la dirección de las rectas generatrices dan rectas como intersecciones (R1).

$$0,07 \leq \frac{f}{L} \leq 0,15$$

así que:

$$f \leq 0,15 \times 28,28 = 4,24 \text{ m}$$

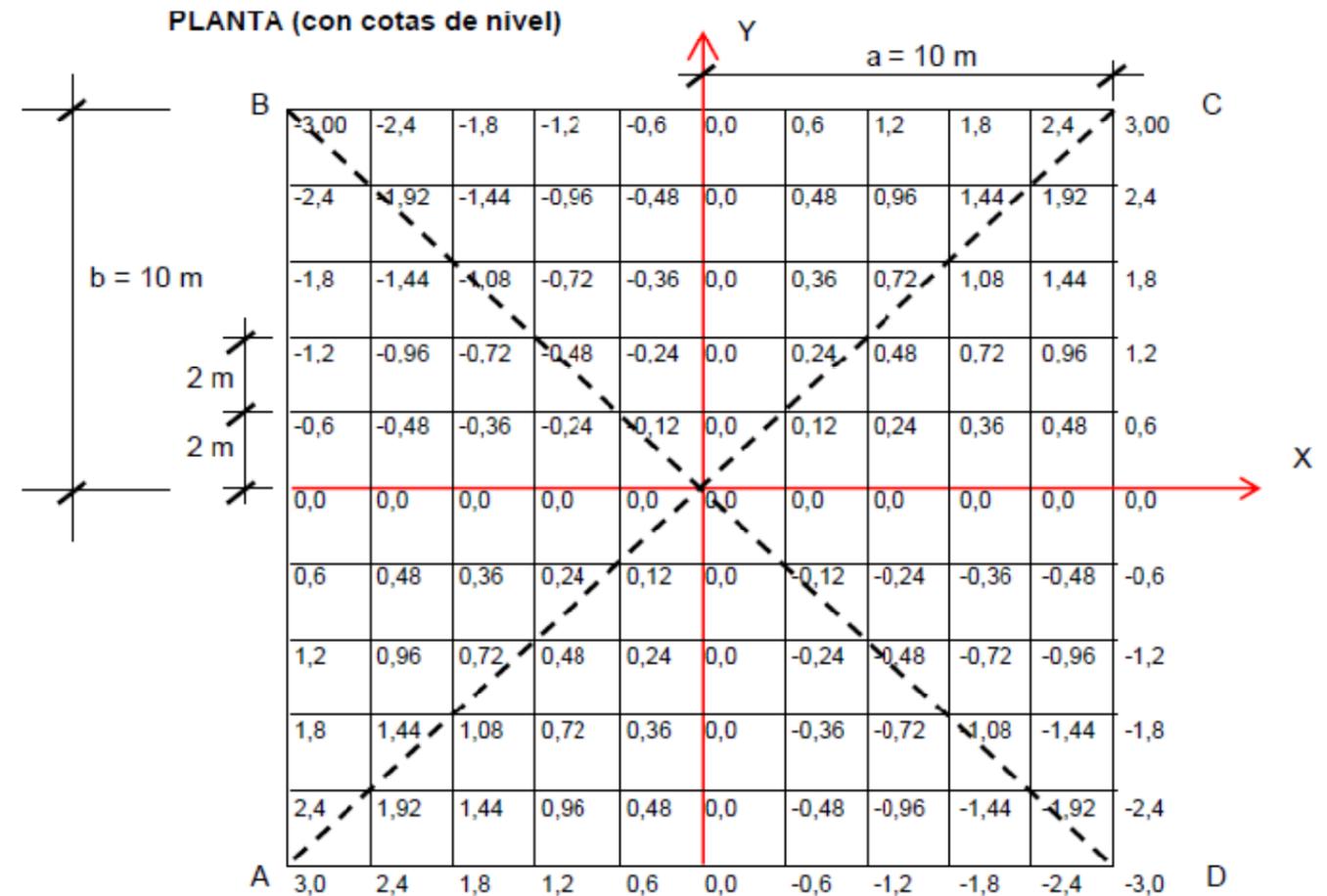
Adopto: $f = 3,00 \text{ m}$

$$\frac{f}{L} = 0,1 \leq 0,15$$

Ahora bien, por proporción podemos calcular las nuevas cotas:
Cota punto (10,10) = 10m y la vamos a establecer en 3m, por lo tanto las nuevas cotas serán:

- La cota del punto (10,8) = $(8 \times 3) / 10 = 2,4$.
- La cota del punto (10,6) = $(6 \times 3) / 10 = 1,8$.
- La cota del punto (10,4) = $(4 \times 3) / 10 = 1,2$.
- La cota del punto (10,2) = $(2 \times 3) / 10 = 0,6$.

Y así sucesivamente para el resto de puntos, obteniendo

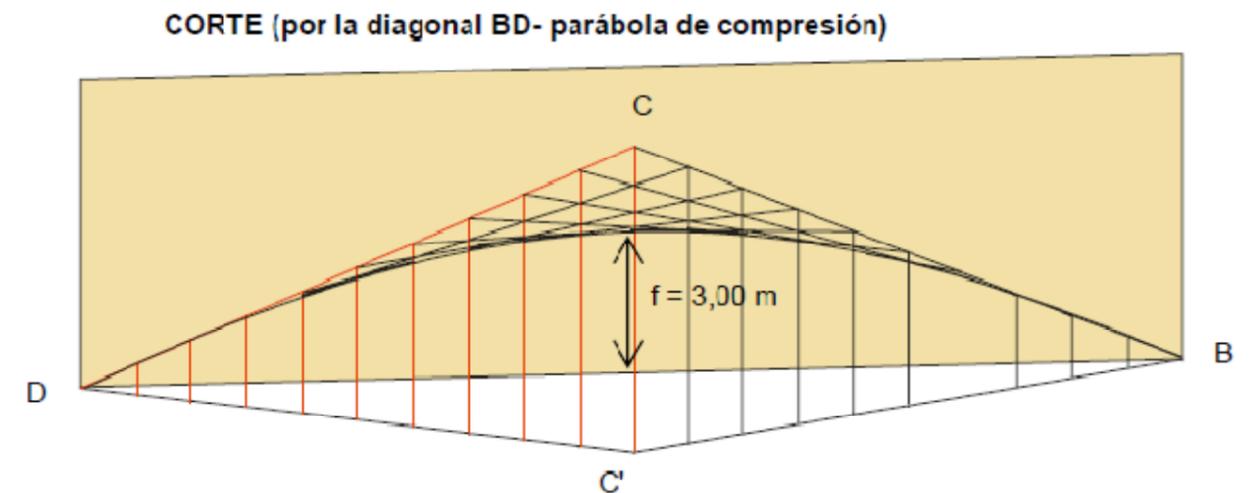
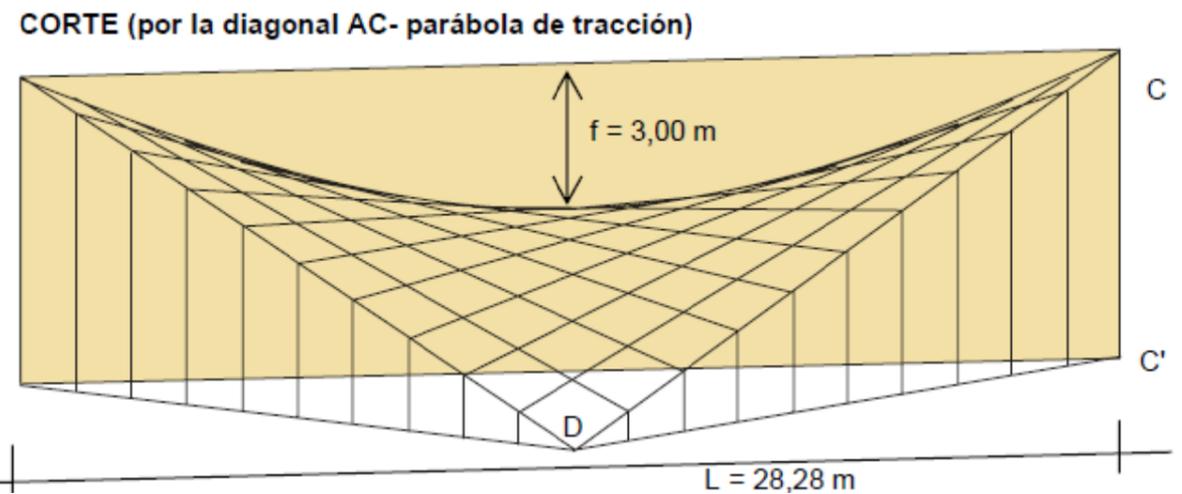
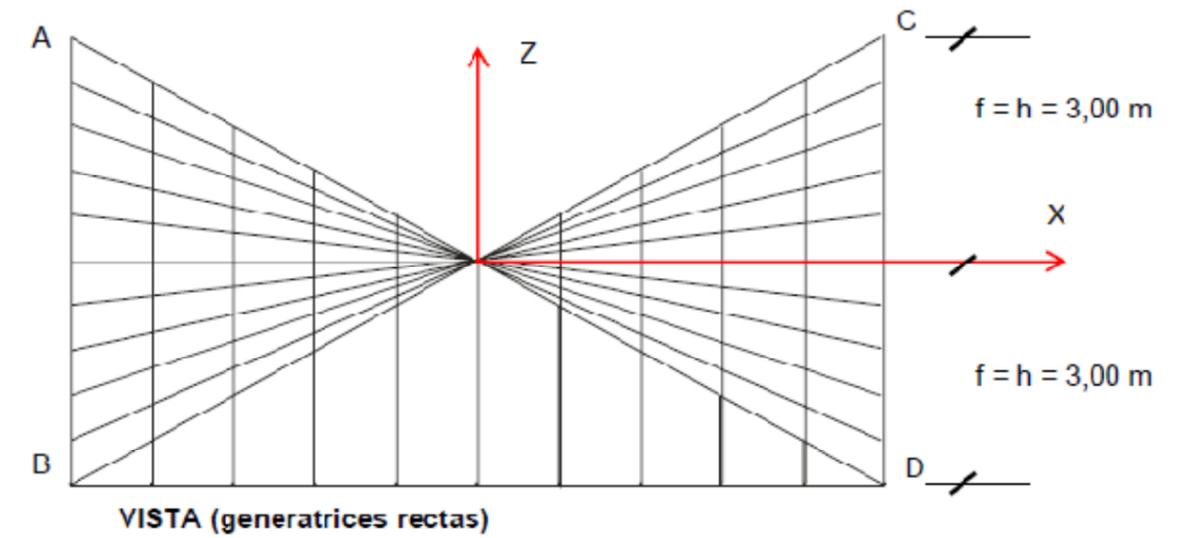
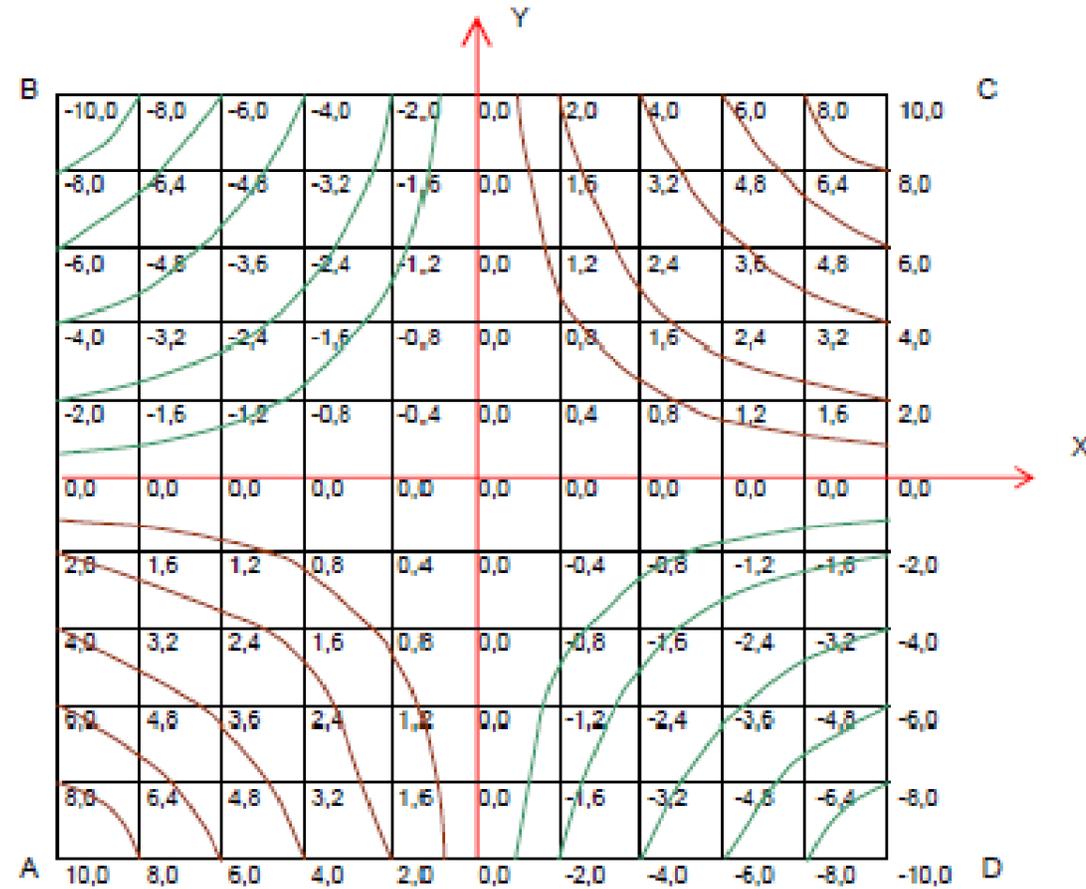


Una vez calculadas todas las cotas de nivel, se realiza la cimbra para sustentar las generatrices del Hypar. Las generatrices se realizan con tablonces rectos, por lo tanto, conociendo las cotas de nivel de dos puntos de la misma recta, podemos colocar en el espacio dicho tablón sustentado por una cimbra formada a base de módulos de andamios tubulares que forman torres de cimbra. A partir de las torres de cimbra, se colocan apoyadas dos familias de vigas de madera, una primera familia colocadas paralelas a los ejes X e Y, apoyadas sobre los husillos colocados el final de la torre de cimbra, y una segunda familia colocadas sobre las anteriores y con direcciones opuestas.



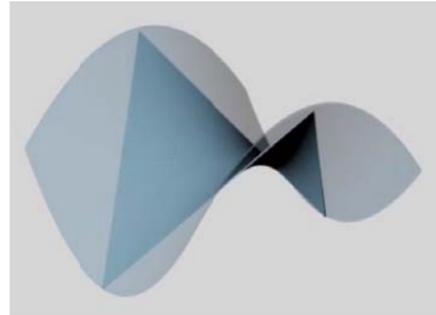
En los siguientes esquemas podemos observar:

- Las curvas Hipérbolas que se generan si cortásemos la superficie con planos horizontales.
- Vista en alzado de la colocación de las generatrices de la superficie.
- Sección por la diagonal AC que genera la parábola de tracción.
- Sección por la diagonal BD que genera la parábola de compresión.

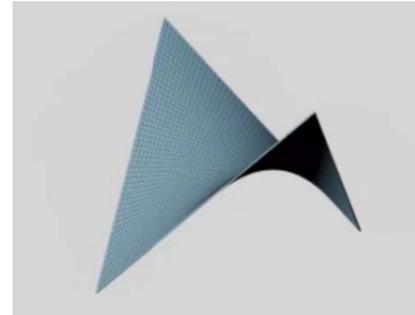


3.2. GENERACION DE LA SUPERFICIE.

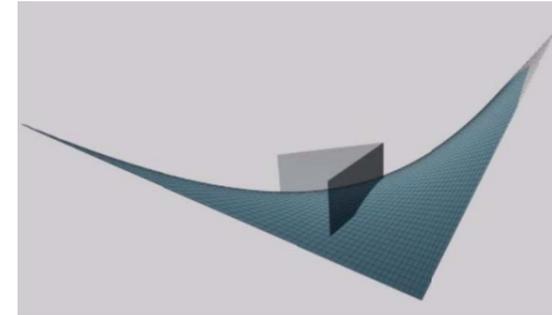
CUBIERTA JCHYPAR



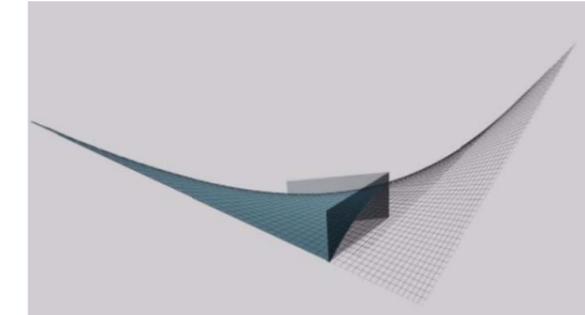
Seccionamos la superficie que queda fuera de las rectas que unen los puntos medios de las rectas directrices y generatrices.



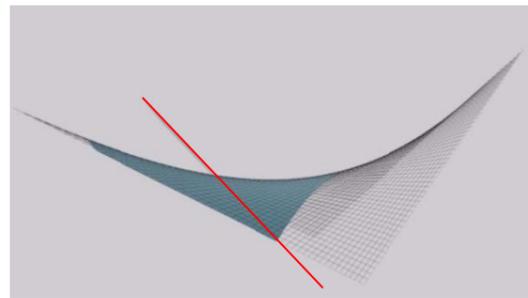
Se genera de este modo el paraboloide equilátero.



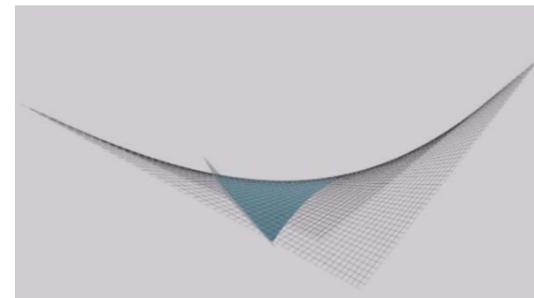
Seccionamos con dos planos no perpendiculares, de ángulo con respecto a los ejes X e Y, contenidos en un plano horizontal, de $22,5^\circ$, siendo el eje z del paraboloide vertical. Generando de este modo dos curvas parabólicas.



Seccionamos con dos planos no perpendiculares, de ángulo con respecto a los ejes X e Y, contenidos en un plano horizontal, de $22,5^\circ$, siendo el eje z del paraboloide vertical. Generando de este modo dos curvas parabólicas.



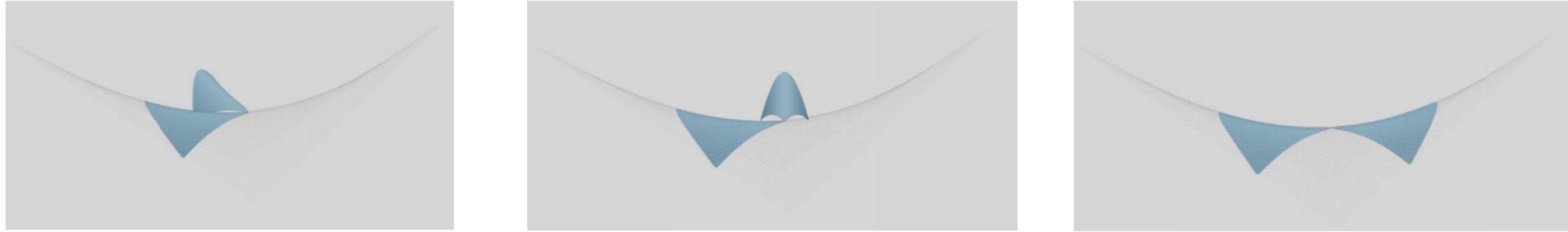
El lado opuesto de la superficie la seccionamos con un plano inclinado con ángulo de $60,73^\circ$ respecto al plano horizontal.



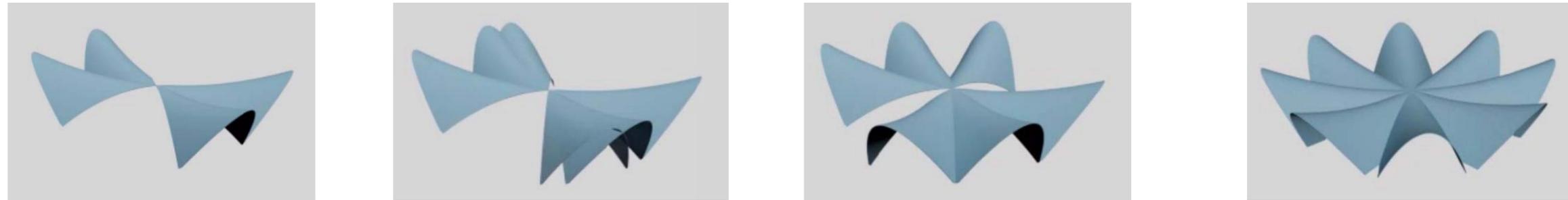
Esta intersección también tiene forma parabólica y constituye el borde libre de la superficie de cada lóbulo.



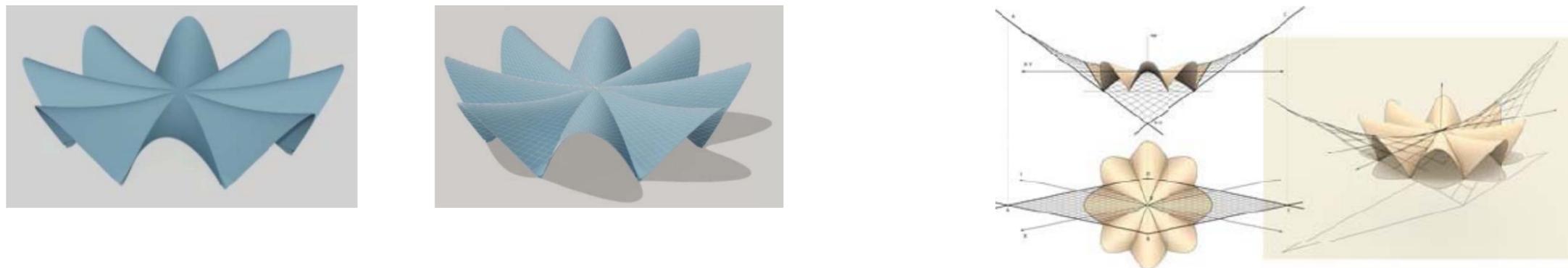
Forma final de la superficie generada por las dos secciones. Cada lóbulo tiene una altura de 12,75 metros y 6 centímetros de espesor. Un lóbulo queda limitado por sus intersecciones con los lóbulos adyacentes dando origen a los nervios de la cubierta.



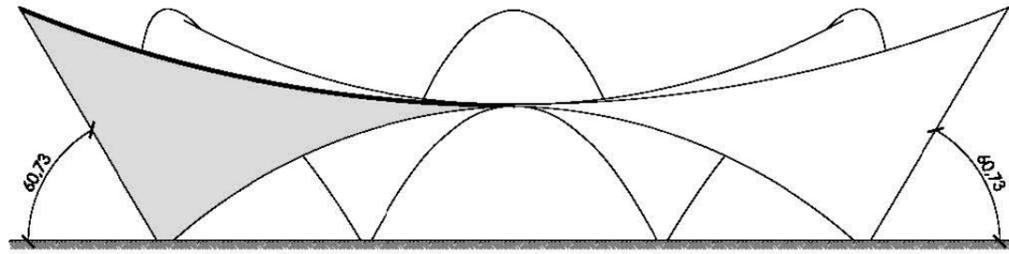
La cubierta está compuesta por la intersección de cuatro paraboloides hiperbólicos. Su geometría es la de una cubierta nervada formada por ocho lóbulos cuya simetría es radial. Cada lóbulo y su opuesto son parte de un paraboloides hiperbólico, cuyo origen se sitúa en el centro de la cubierta.



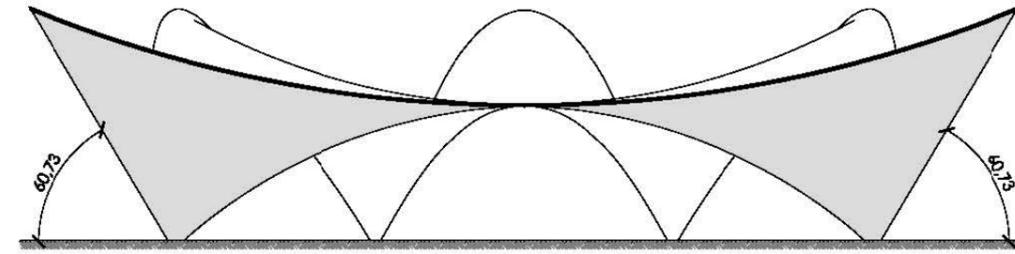
La superficie generada se copia y se hace girar desde su centro geométrico hasta generar una superficie compuesta por ocho paraboloides hiperbólicos.



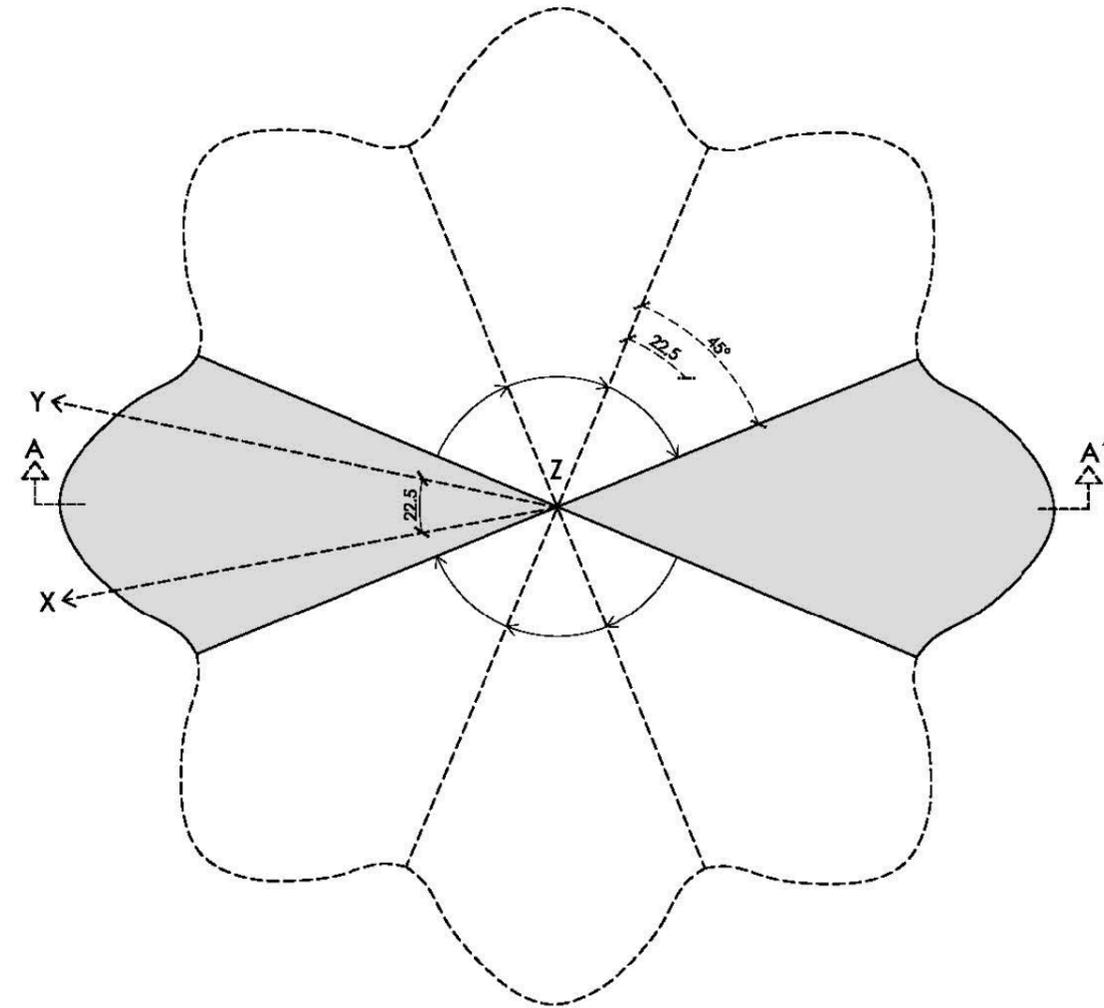
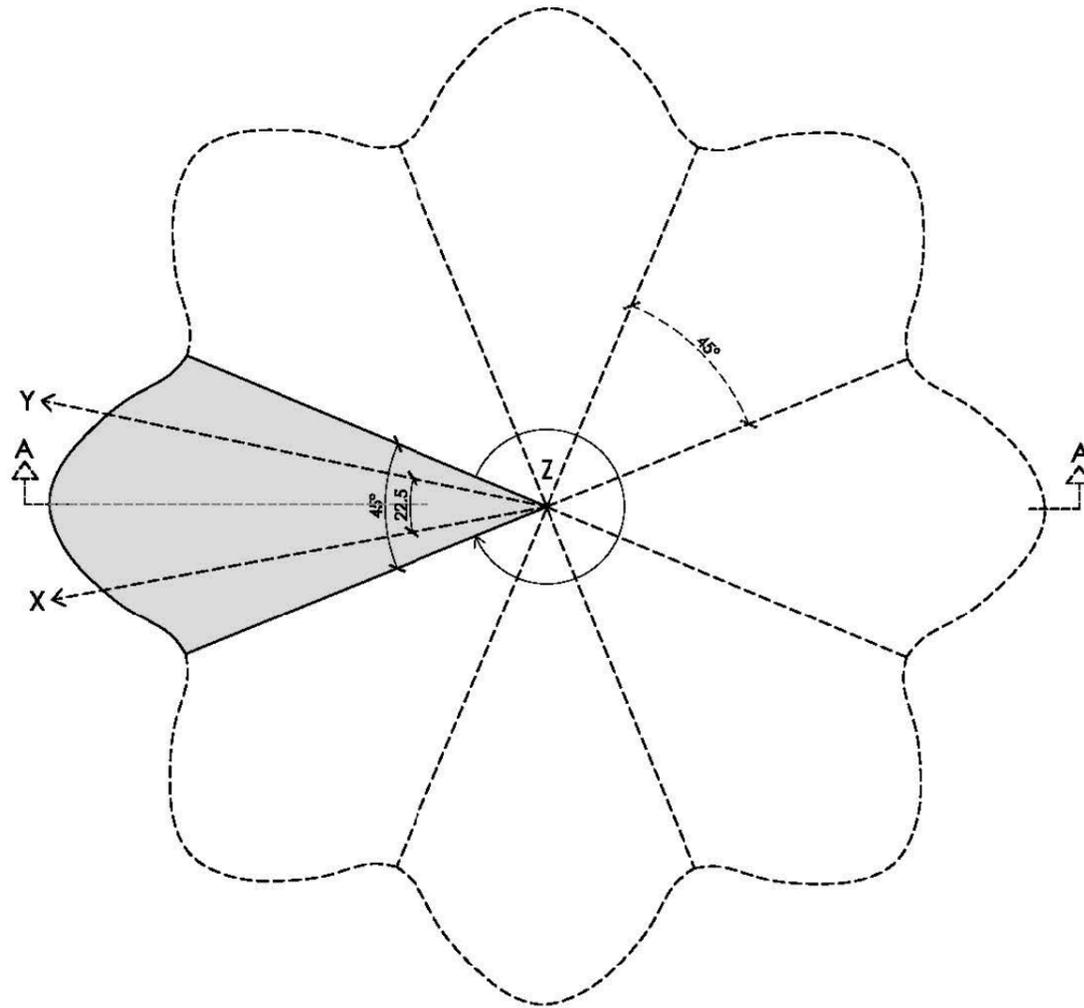
Se prolongan los paraboloides hasta crear una intersección perfecta.



ESQUEMA DE SECCION DE LA SUPERFICIE



ESQUEMA DE SECCION DE LA SUPERFICIE



PROYECTO FINAL DE GRADO
SUPERFICIES ARQUITECTONICAS SINGULARES

ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE

PLANO DE GENERACION DE LA SUPERFICIE

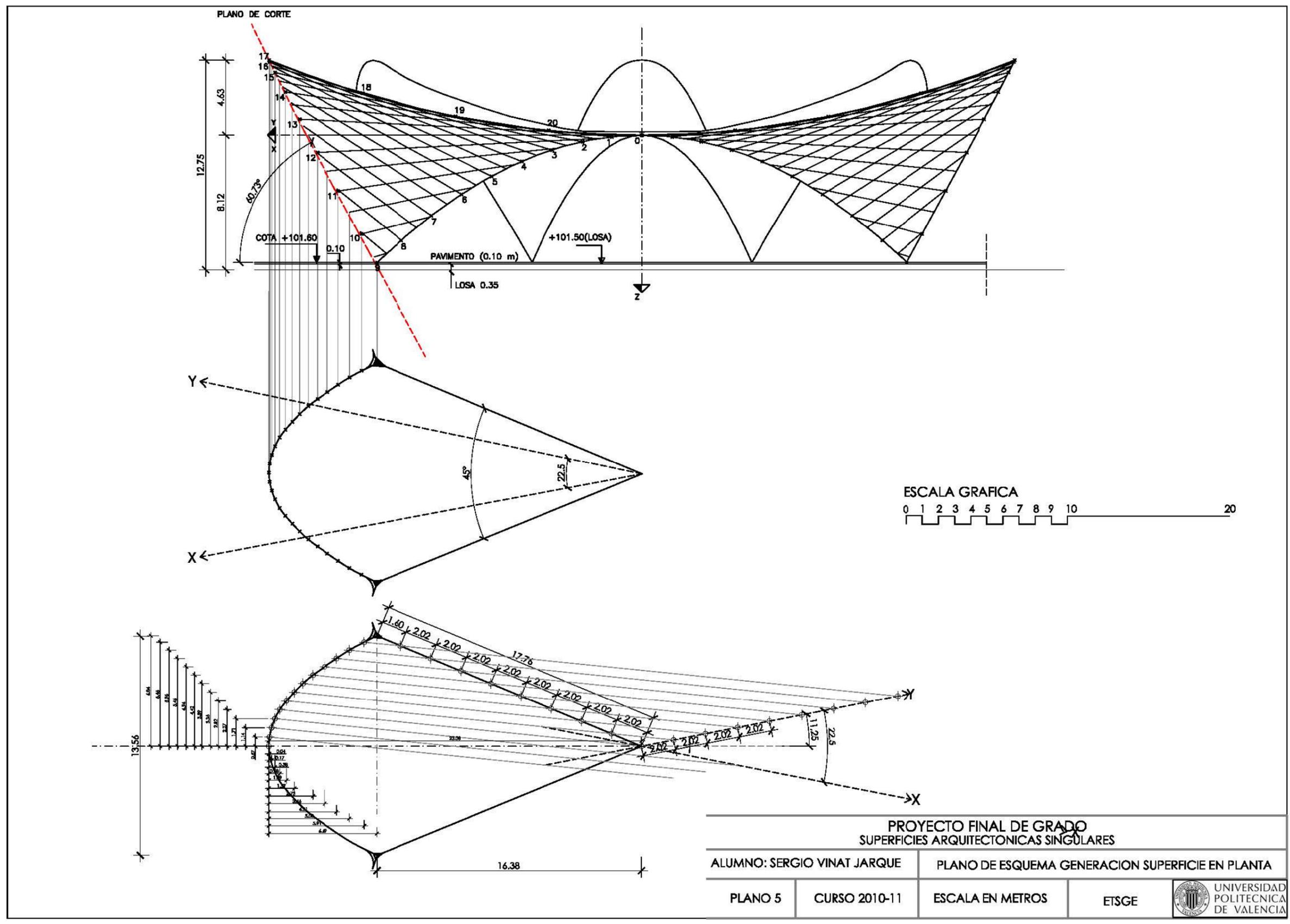
PLANO 3

CURSO 2010-11

ESCALA: SIN ESCALA

ETSGE



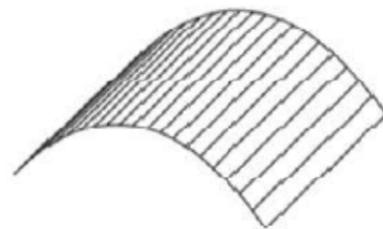


3.3 CRITERIOS DE DISEÑO (ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO).

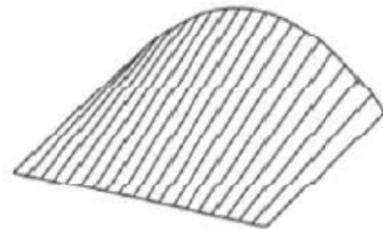
El por qué de esta cubierta reside en la idea de crear un edificio que se asemejase a un nenúfar flotando en un estanque en el cual se pudiese reflejar su forma. Esta idea es la que nos lleva a pensar en las cubiertas de Candela y más concretamente en una la reproducción de la cubierta del Restaurante de los manantiales en Méjico, donde las gráciles curvas que resuelvan la evacuación de las aguas de la cubierta hacen que esta parezca levitar y no querer apoyarse sobre el suelo.

La forma geométrica que más utilizó Candela para crear sus innovadores cascarones de hormigón armado fue la del paraboloides hiperbólico, una geometría con claro signo de modernidad ya que las arquitecturas históricas no la utilizaron. La característica fundamental de todas las superficies alabeadas es la de parecer cóncavas en una dirección y convexas en la perpendicular, lo que genera una expresión nueva y específica hasta ahora desconocida.

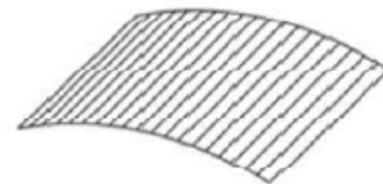
Formas geométricas que utilizó en sus obras:



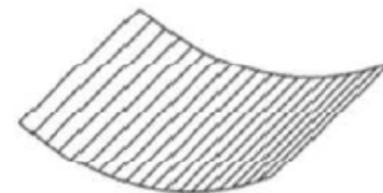
BOVEDA DE ARCO PARABOLICO



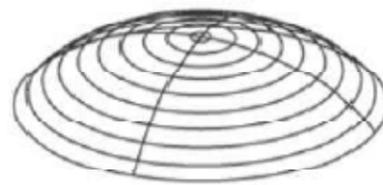
BÓVEDA FORMADA POR LA UNIÓN REGLADA DE UNA RECTA Y UN ARCO PARABOLICO



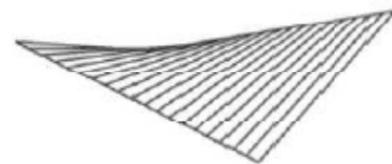
BOVEDA DE CAÑÓN DE ARCO REBAJADO



LAMINA REGLADA CON DIRECTRIZ CATENARIA



CASCARON DE GENERATRIZ ELIPTICA



PARABOLOIDE HIPERBOLICO

Las primeras láminas con las que experimentó fueron bóvedas sin acero de refuerzo. Más tarde creó su primer cascarón con la empresa Cubiertas Ala en forma de conoide con una luz de 14 metros y un espesor de 3 centímetros. Pronto experimentó con bóvedas cilíndricas largas, con luces de 12 metros y llegando a prescindir de las vigas de borde. Mas tarde aparecieron las bóvedas cilíndricas cortas, las cuales necesitaban de vigas de borde y tirantes que arriostrasen los empujes laterales. Por último los cascarones con diferentes disposiciones y combinaciones de hypars.

El diseño de las cubiertas fue fruto de la voluntad, el esfuerzo y la valentía de un grupo de arquitectos, constructores e ingenieros que se unieron con el objetivo de conquistar una nueva libertad de forma y tamaño que el hormigón armado ofrecía. El diseño y la construcción de cascarones de hormigón armado fue posible gracias a la experimentación directa mediante la construcción de modelos basados en las leyes de la naturaleza (Estática, Mecánica y Resistencia de los Materiales). El método a seguir fue la construcción de modelos a escala natural, tal y como hicieron los maestros de obras medievales para construir las catedrales góticas, trazando de esta manera el camino del auto aprendizaje.

Así Candela se convierte en un maestro de obras, que a la manera medieval, reúne en una misma persona todos los conocimientos necesarios para crear. Encontró la forma geométrica adecuada para optimizar, no solo la belleza escénica de sus cascarones, sino a la vez, y de manera inseparable, su funcionamiento estructural, proceso de construcción y coste. Utilizó generalmente, formas geométricas de doble curvatura que son resistentes por su propia forma, y de entre todas las posibles, fundamentalmente el paraboloides hiperbólico, una superficie reglada que permite ser hormigonada sobre un sencillo encofrado realizado a base de tablas de madera que siguen sus generatrices rectas.

Construyó tamaños adecuados a la forma, no sobrepasando los 30 metros de luz libre de vano, optimizó su esbeltez, dotando a sus cascarones de pequeños espesores, consiguió también crearlos con bordes libres de nervaduras de rigidez, aportándoles uniformidad espacial, y por ello, una imagen rotunda, desnuda y fiel a la geometría pura. En sus manos el paraboloides hiperbólico cobró un especial lenguaje espacial, generando mallas geométricas muy diferentes producto, de su educada intuición creadora.

Con audacia e ingenio, Candela utilizó variables, cambiando el tamaño de los hypars, sus inclinaciones, creando desfases en la altura de coronación entre los módulos hyper para permitir el paso de la luz natural, tamaños flechas, o incluyendo perforaciones cenitales en las superficies del hyper.

En el caso del Restaurante del oceanográfico de Valencia los motivos por los que se ha elegido usar una de las formas de Felix Candela son:

- Primero porque la forma resultante se corresponde con la idea del proyecto de diseñar un edificio que se asemeje a un Nenufar flotando en medio de un estanque.



- Segundo porque se genera un espacio sin apoyos intermedios, donde los nervios de la cubierta transmiten los esfuerzos a los apoyos exteriores. Generándose así un espacio de grandes luces sin obstáculos o apoyos intermedios. Esto realmente ocurre en el primer nivel del edificio o planta baja, ya que en el nivel 2 o Restaurante si que existen apoyos intermedios

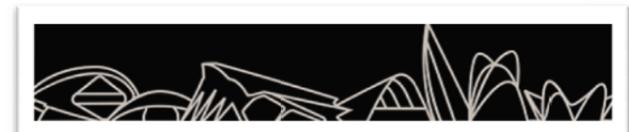
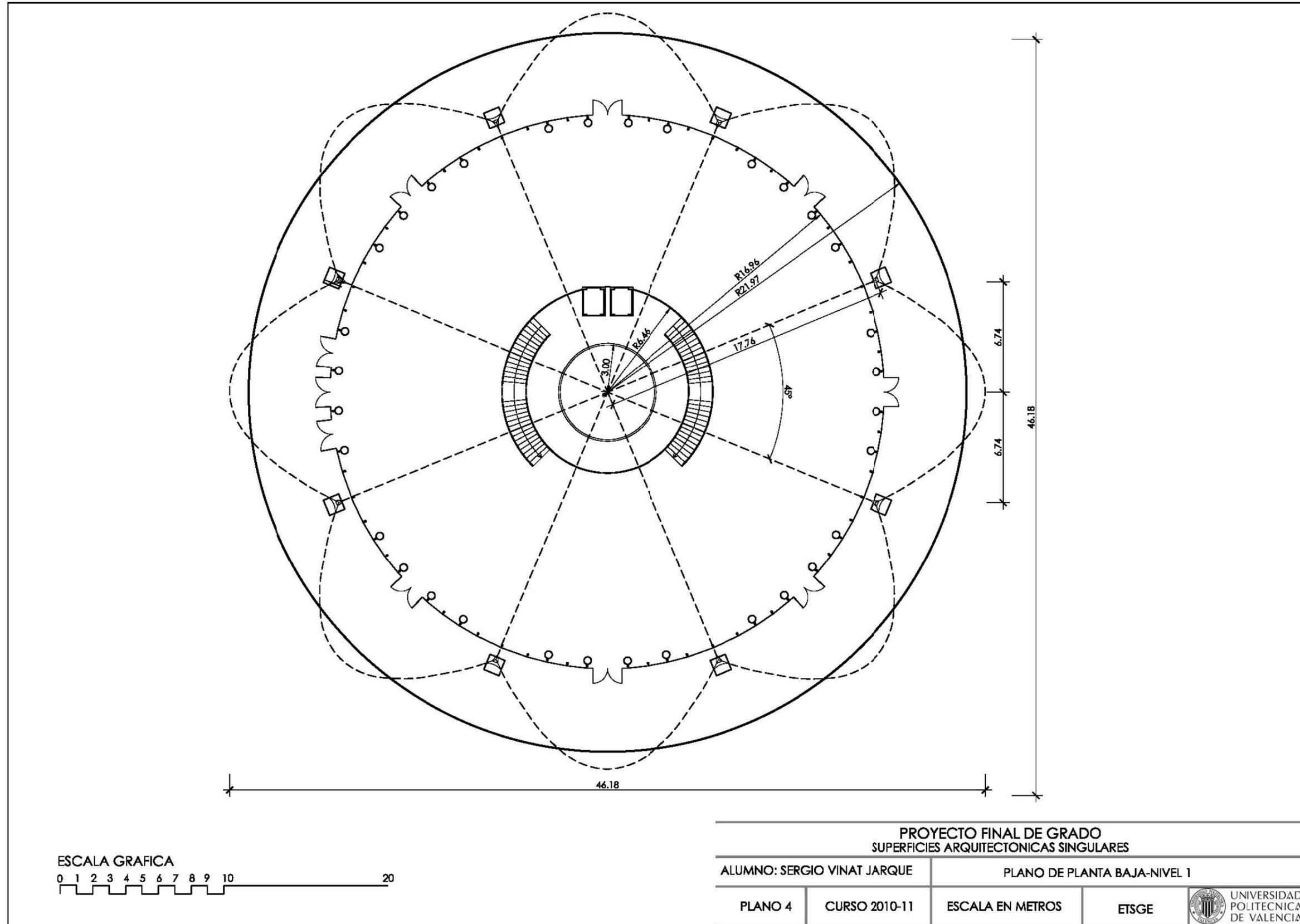


- Tercero porque la cubierta deja libre de cargas los muros de cerramiento de fachada, permitiendo de este modo la entrada de luz a través de muros cortina.



Debido a la forma de la cubierta se condiciona la forma geométrica en planta del restaurante, siendo esta de planta circular. Los muros cortina que cierran el perímetro de la planta se elevan en forma de cilindro hasta crear una intersección perfecta con la cubierta formada por la intersección de cuatro paraboloides hiperbólicos, tal y como se observa en el siguiente esquema en planta.





EVOLUCION DE LOS CASCARONES DE HORMIGON:

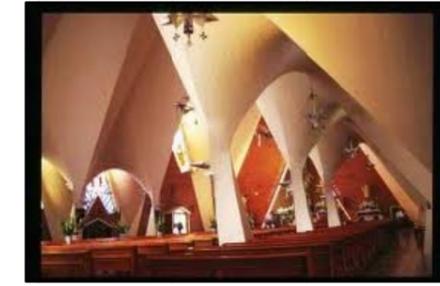
1. BÓVEDAS POR ARISTA CON BORDES CURVOS.

El Arquitecto Fernando López Carmona analiza la iglesia de la Purísima (1938-1946) en Monterrey. Explica su construcción como construcción anterior a los cascarones. Dicha Iglesia básicamente está construida mediante vigas a flexión o arcos empotrados con forma de parábola y entre ellas losas armadas, consiguiéndose el manto como una bóveda de gravedad. Para asegurar la estabilidad del conjunto se introdujeron vigas para asegurar la estabilidad entre arcos.



3. IGLESIA DE MEDALLA MILAGROSA.

El Arquitecto Porfirio Ballesteros Barocio analiza la construcción del edificio. El cascarón está formado por mantos parabólicos de doble curvatura con borde recto y habla de un espesor del cascarón de 4cms, el cual descansa sobre pies derechos.



2. MANTOS PARABÓLICOS DE DOBLE CURVATURA CON BORDES RECTOS.

El Arquitecto Porfirio Ballesteros Barocio analiza la construcción de los cascarones en Méjico con el Arquitecto Félix Candela el cual propuso utilizar una bóveda de doble curvatura o paraboloides hiperbólicos, en lugar de utilizar la cilíndrica que planteaba Gonzalo Reyna, argumentando que el trazo geométrico le conferiría la rigidez necesaria y permitiría solucionar la cubierta con un espesor mínimo.

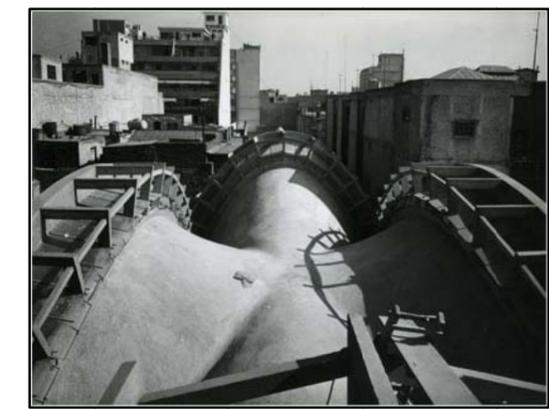
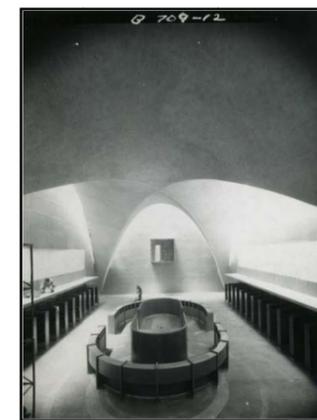
La cubierta tiene un espesor de 15mm

Es la primera vez que Candela aplica la solución de paraboloides hiperbólicos



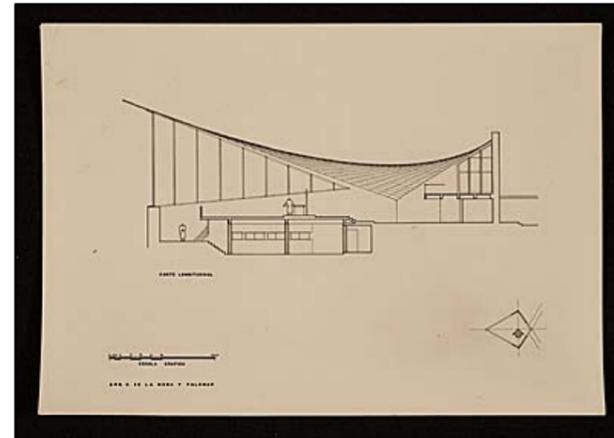
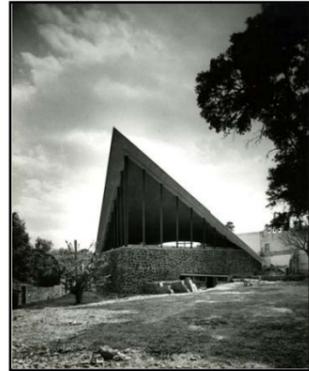
4. BOLSA MEJICANA DE VALORES.

El Arquitecto Porfirio Ballesteros Barocio analiza la construcción del edificio. No hay borde libre en la cabeza de los cañones. Se realizan con dos arcos escondidos por el exterior. Se inclinan los planos de corte de los cañones y los muros colindantes se dispusieron verticales dejando que entrara la luz y rebotara.



5. NUESTRA SEÑORA DE LA SOLEDAD DEL ALTILLO.

El Arquitecto Porfirio Ballesteros Barocio habla del cascarón como un manto cortado por bordes rectos, dejando de ser arcos. Los bordes pasan a convertirse en bordes a compresión crecientes desde el vértice superior al apoyo. En la parte abierta recayente al jardín se disponen perfiles verticales que soportan la cubrición y el esfuerzo del viento sobre los ventanales de vidrio. La parte posterior del edificio se remata con una cruz que trabaja a compresión y que da estabilidad al edificio, ya que actúa como contrafuerte y evita su desplazamiento por vuelco.

**6. RESTAURANTE DE LOS MANANTIALES.**

Félix Candela colabora con los arquitectos Joaquín y Fernando Álvarez Ordoñez en el diseño estructural del restaurante de los manantiales. El cascarón está formado por cuatro secciones simétricas de paraboloides hiperbólicos, cuyas intersecciones producen una bóveda de arista con ocho gajos y con ocho puntos de apoyo. El cascarón cubre 900m² y tiene un espesor continuo de 4cms.

**7. CAPILLA DE PALMIRA.**

Su interés reside en ser un cascarón con una sola lámina de paraboloides hiperbólico. La gran boca definía una reinterpretación de las capillas abiertas.

**8. PLANTA EMBOTELLADORA BACARDI.**

el cascarón de la embotelladora se compone de 6 paraboloides hiperbólicos, alineados en dos crujiás de 3 y 3, con planta cuadrada y de 30 metros de lado, que cubre una superficie de 5.000m², siendo el cascarón de concreto más grande que Félix Candela construyó.

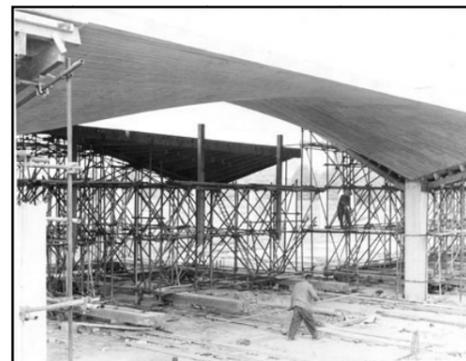


SISTEMA CONSTRUCTIVO.

Los paraboloides hiperbólicos de Candela, marcaron una época en la arquitectura mejicana, solo pudiéndose ser construidos en el lugar y momento en el cual se realizaron. Hubiera sido difícil empezar a construirlos en otros países, pues las delgadas láminas de hormigón que conformaban los cascarones no cumplían las normas mínimas de seguridad del reglamento de construcciones de las naciones más desarrolladas. Además estaba el aspecto económico, ya que estas cubiertas basaban su rentabilidad en la mano de obra barata y de primera calidad que aportaban los albañiles mejicanos. Cuando se promulgó la ley en 1964 sobre salarios mínimos de los trabajadores, subió el precio de la mano de obra y los cascarones dejaron de ser económicamente rentables, iniciando la empresa cubiertas Ala su declive.

1. LA CIMBRA:

El Arquitecto Juan Antonio Tonda Magallón describe la realización de las cimbras que usaban en los comienzos. Mediante el trazado con hilos que representaban la cimbra terminada, colocaban por debajo los durmientes apoyados por pies derechos de madera. La cimbra estaba confeccionada a base de tablillas rectas de madera, que conformaban la superficie alabeada que daba forma a la cubierta. Posteriormente evolucionaron a tubos metálicos y más tarde tubos telescópicos. Para formar el manto de la superficie de cubrición se enlistonaban los espacios entre los durmientes.



Con este tipo de sistema de cimbrado se desperdiciaba la madera, no siendo esta recuperable. Más tarde, con los denominados Paraguas, se desarrolla el cimbrado móvil, el cual permitía reutilizar el material varias veces.

Sobre la cimbra se colocaba una imprimación a base de aceite diesel y luego una lechada de cemento, para que no tuviera agujeros por donde se colase el hormigón. El concreto u hormigón se adhería a la lechada. Una vez endurecido el hormigón terminaba con una capa fina para dejar una superficie alisada, lo que llamaban "la fina".

Al desencofrar, en la cara interior, se observaba el enlistonado de la cimbra.

2. ARMADO Y COLADO:

El Arquitecto Juan Antonio Tonda Magallón habla de la colocación del acero formando una malla de 20 x 20cms, mediante varillas corrugadas de acero suave. En el sentido de las tracciones colocaban unas varillas de 3/8" y otras en el sentido de las compresiones. Sobre este entramado de acero vertían los 4 cms de hormigón, llamado por ellos Concreto. El vaciado de concreto en las superficies con más inclinación, no era tarea fácil, pero con una mezcla seca y un refuerzo de armado más apretado se conseguía la adherencia del concreto húmedo. Si la cubierta tenía mucha pendiente había que colocar un tendido de madera colgado de la malla a modo de andamio para poder aplicar el hormigón en dichas zonas.



3. EL CONCRETO Y LA IMPERMEABILIZACION:

El Arquitecto Juan Antonio Tonda Magallón explica que era hecho a mano en una removedora, obteniendo resistencias de 140Kg/cm². Deja constancia de que todo era una labor muy primaria. Para la impermeabilización, en general, se extendía una capa de alquitrán o emulsión asfáltica que penetraba en las grietas y fisuras. Posteriormente se terminaba con unas capas de fieltro.



A este tipo de estructuras se les denominó mantos, por sus formas suaves y sinuosas, que recuerdan a piezas de tela suspendidas en el espacio.



3.4 CONDICIONES MORFOLÓGICAS Y FUNCIONALES.

La morfología parte de la abstracción inicial de la idea de crear una forma arquitectónica inspirada en la forma orgánica de un nenúfar flotando en un estanque. Esta idea se materializa con la forma arquitectónica usada en el restaurante de Xochimilco en Méjico, del autor Félix Candela.

El Restaurante submarino es un alarde arquitectónico formado por la intersección de cuatro paraboloides hiperbólicos apoyados en ocho puntos perimetrales de sus extremos, admirándose desde el exterior el perfil de las elevadas parábolas que se reflejan en el estanque que lo rodea.

Al acceder al edificio nos sorprende su espacio interior formado por la conexión de los paraboloides hiperbólicos, los cuales crean un gran espacio a modo de "Hall" diáfano de bienvenida que no tiene función o relación directa con el uso de Restaurante, el cual está ubicado en la planta inferior y al que se accede mediante un gran hueco central circular, que dispone de dos escaleras y dos ascensores.



La ubicación del Restaurante en la planta inferior creo que se debe a que el espacio que se genera al utilizar esta superficie arquitectónica no reúne las condiciones de confort necesarias que se requiere para dicho uso:

- El poco espesor de la lámina de cubrición no cumple con las exigencias de la nueva normativa en materia de edificación en lo referente a aislamiento térmico. Dicha lámina es incapaz de aislar convenientemente del frío en invierno y del calor en los meses calurosos.
- Del mismo modo, no hay ninguna capa en la cubierta que impida la transmisión del ruido exterior (lluvia, granizo, viento y contaminación acústica) hacia el interior, ya que estamos hablando de seis centímetros de espesor.
- Los grandes muros cortina instalados como cerramiento favorecen además la entrada de los rayos ultravioletas y por consiguiente, el aumento de la temperatura

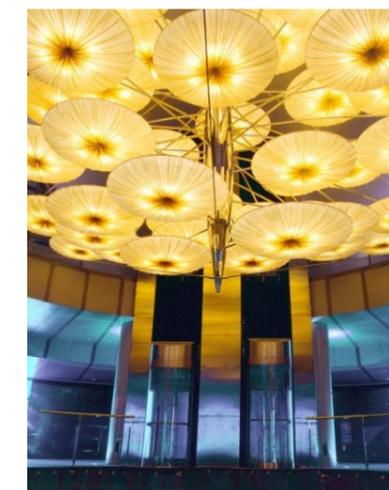
en el interior en los meses de calor y la disminución de la temperatura interior en los meses de frío.

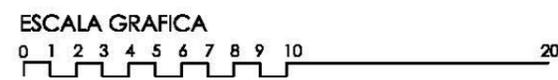
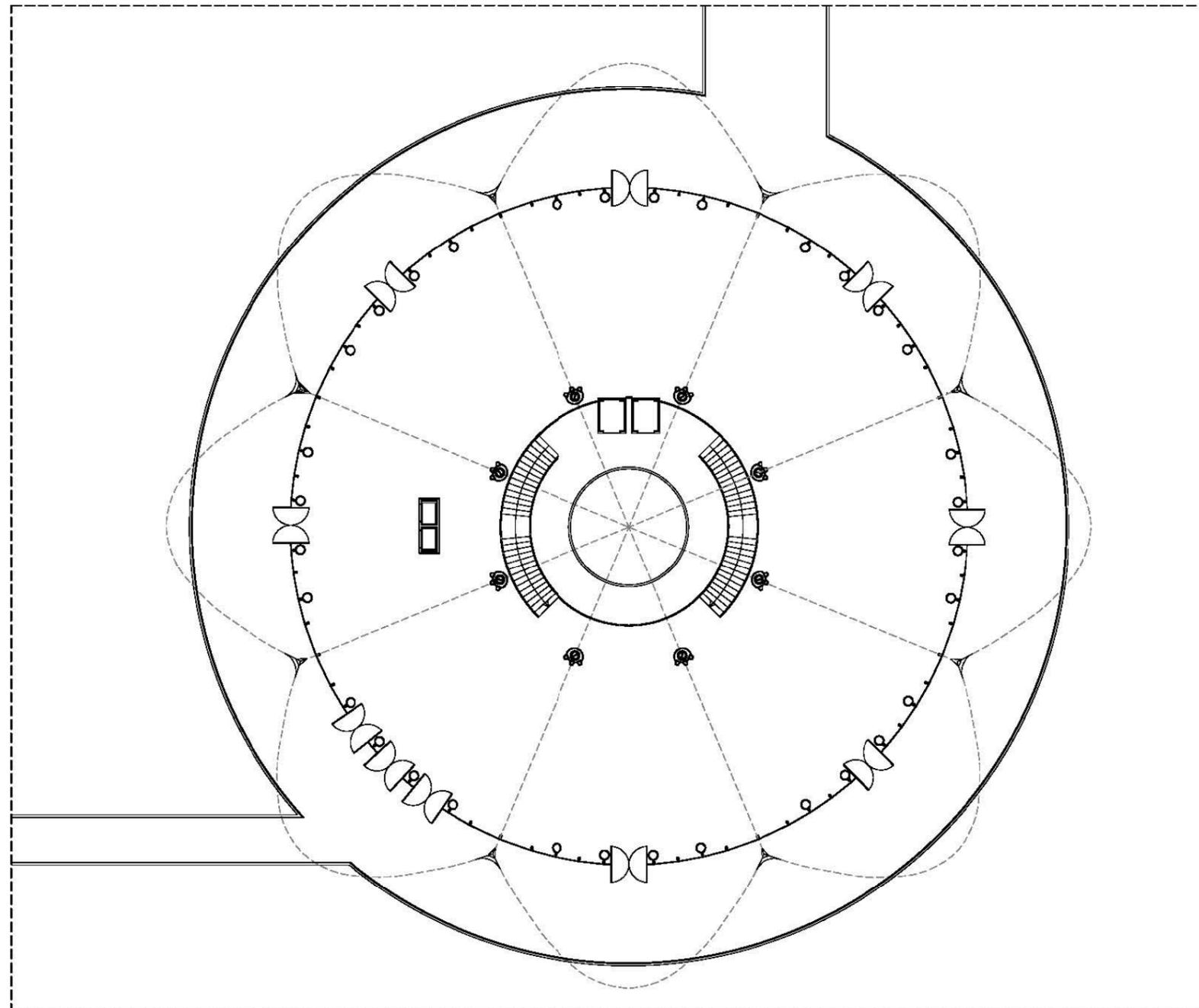
- No existe ningún elemento o material que rompa los posibles puentes térmicos existentes y aisle convenientemente el local.
- Al no existir materiales fonoabsorbentes en el hall de acceso se producen reverberaciones ya que solo existe hormigón armado y grandes cristaleras.

El problema en el Hall se ha solucionado disponiendo de ocho columnas de climatización dispuestas próximas a los muros cortina. Columnas para evitar que ninguna instalación colgada de la cubierta pueda ocultarle al visitante la magnífica vista de los nervios interiores. Su función es mantener una temperatura adecuada de confort proyectando frío o calor según la época del año.



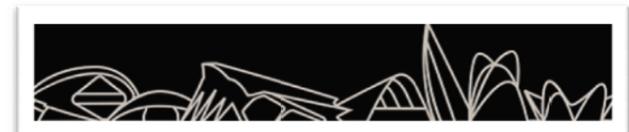
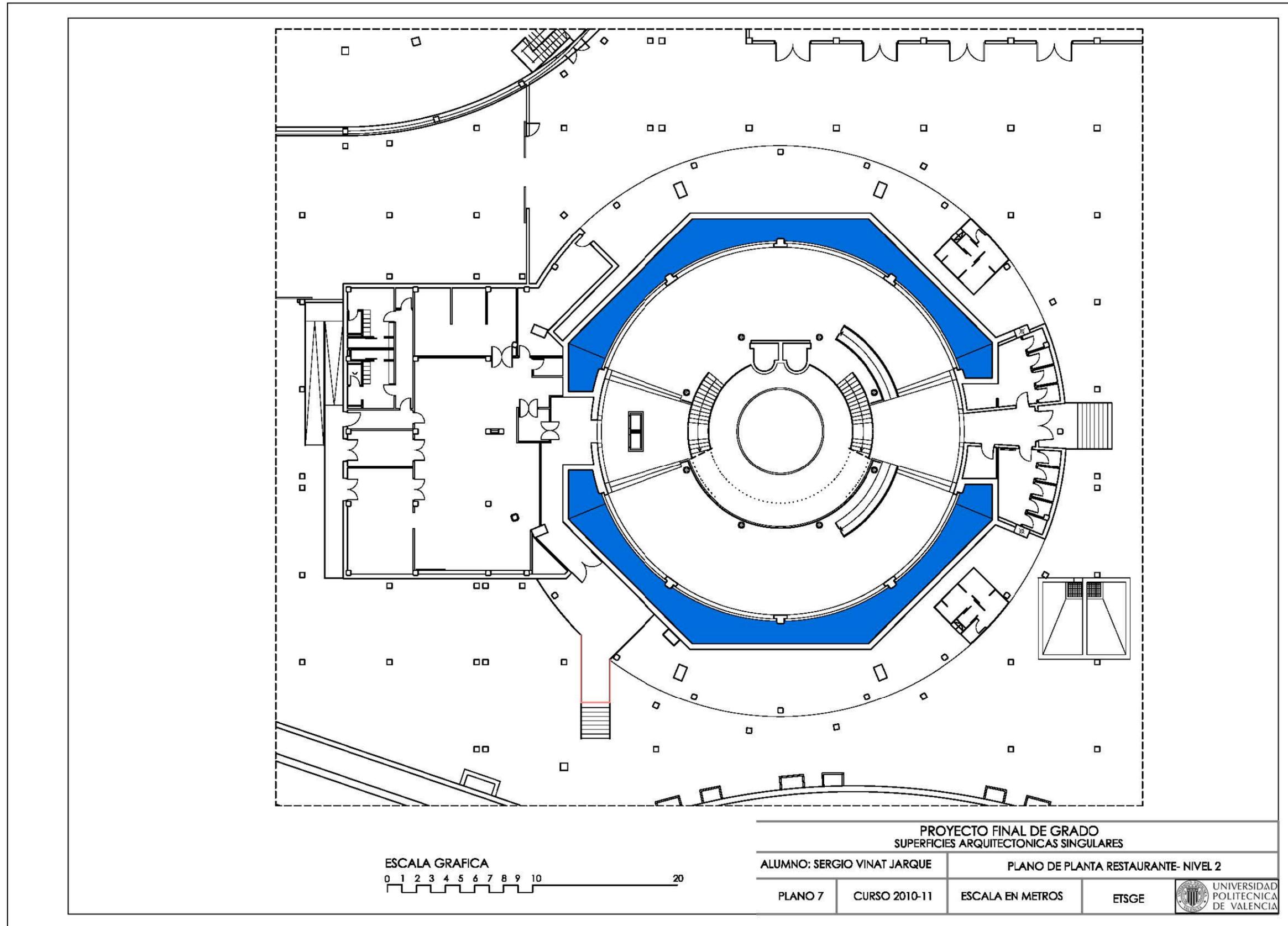
Accediendo desde las escaleras a la planta inferior, entramos en una gran pecera de planta circular, que nos comunica con el mundo submarino, siendo sus paramentos, unos acrílicos que nos permiten observar el devenir de las especies submarinas. Es en este espacio inferior donde se disponen las mesas próximas y perimetralmente a las peceras. La planta inferior sí que está acondicionada con materiales fonoabsorbentes en techos, en el gran hueco circular y en las particiones que delimitan los espacios, creando un ambiente único.





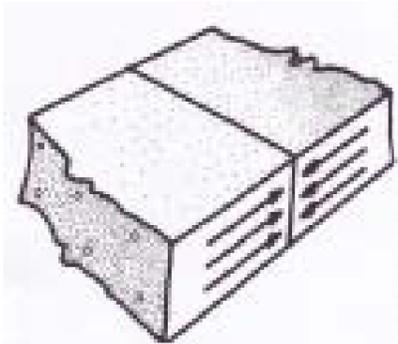
PROYECTO FINAL DE GRADO SUPERFICIES ARQUITECTONICAS SINGULARES			
ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE		PLANO DE PLANTA BAJA- NIVEL 1	
PLANO 6	CURSO 2010-11	ESCALA EN METROS	ETSGE
			UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA



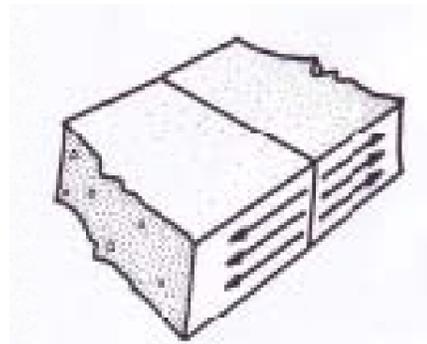


4.1. INTRODUCCION. CARACTERISTICAS MECANICAS DE LAS ESTRUCTURAS LAMINARES O CASCARONES.

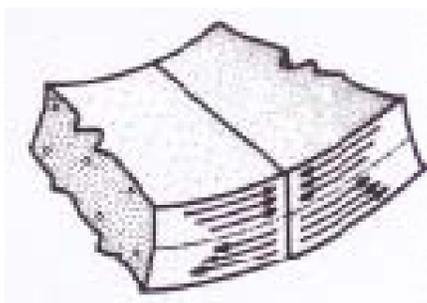
Se agrupan usualmente bajo el nombre de cascarones a una serie de formas constructivas cuyo comportamiento estructural difiere, sin embargo, esencialmente de unos tipos a otros, de acuerdo con la forma de la superficie. Es más claro utilizar el nombre genérico de estructuras laminares para todas aquellas en las que el espesor es muy pequeño con respecto a las otras dos dimensiones, y restringir la denominación de estructuras de cascaron (Shell structures) a aquellas estructuras laminares que son capaces de trabajar, en condiciones normales de carga, con esfuerzos de membrana solamente, es decir, sin que se produzcan flexiones de la lámina. Se llaman esfuerzos de membrana a aquellos que se reparten de manera uniforme en el espesor de la lámina y actúan paralelamente al plano tangente a la superficie de la lámina en cada punto.



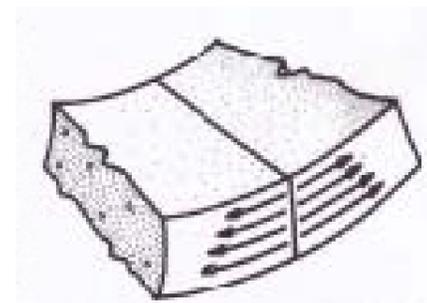
Esfuerzos de membrana a compresión.



Esfuerzos de membrana a tracción.



Esfuerzos a flexión pura.



Esfuerzos de flexión compuesta.

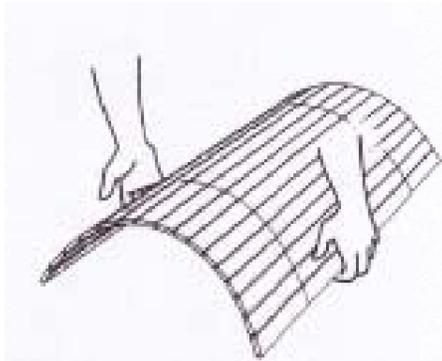
La condición necesaria, aunque no siempre suficiente, para que no existan flexiones, es que la superficie que constituye el cascarón sea de doble curvatura, es decir, que tenga una forma geoméricamente inmutable mientras no se produzcan alargamientos o acortamientos considerables. Con el hormigón armado esto es posible cuando los esfuerzos de membrana alcanzan valores tan elevados que sobrepasan el límite elástico del material. Esto quiere decir que si los esfuerzos resultantes no sobrepasan los valores admisibles, no pueden aparecer flexiones que tendrían que venir acompañadas de cambio de forma o de curvatura de la lámina, y no es necesario, por tanto, recurrir a la teoría general de flexión para el estudio de la estructura.

Se puede decir que una superficie de doble curvatura, completamente flexible, pero inextensible, tiene una forma inmutable bajo la acción de cargas cualesquiera. Mientras que un arco, que es una estructura lineal, solamente puede trabajar con esfuerzos directos o de membrana, sin flexiones, cuando su forma coincide con el funicular de las cargas, una estructura superficial de doble curvatura desarrolla esfuerzos de membrana exclusivamente bajo cualquier sistema de cargas. Es esta una propiedad que la naturaleza aprovecha, puesto que todos los cascarones naturales, y muy especialmente los de materiales pétreos, como un huevo o un caracol, adoptan formas de doble curvatura, ya que no es necesario, en este caso, que la lámina tenga resistencia alguna a la flexión.

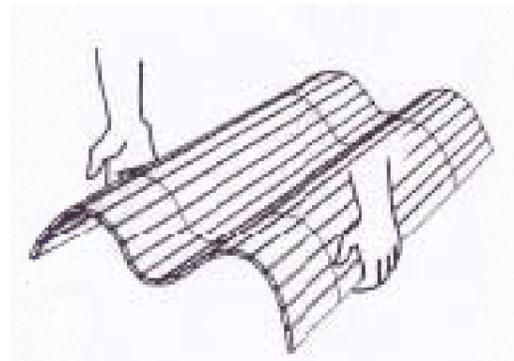
El espesor de la misma puede reducirse al mínimo que constructivamente sea posible o económico, consiguiéndose de este modo dos ventajas fundamentales en este tipo de estructuras: Reducción del peso propio y posibilidad de adaptación en su comportamiento estructural a casos de cargas no previstas sin salirse del régimen de la membrana. Este tipo de trabajo es más económico que el de flexión porque los esfuerzos se reparten uniformemente en la sección.

Otro grupo de superficies curvas que se utilizan mucho en construcción son las de curvatura simple, como cilindros, conos, y demás superficies desarrollables, que como su nombre indica se obtienen enrollando una lámina en planta. En estos casos lo único que se opone a la modificación de la curvatura original es la rigidez a la flexión de la lámina.

Si consideramos que la lámina es flexible su forma es totalmente inestable y pequeñas variaciones de las fuerzas que actúen sobre ella producen deformaciones o cambios de curvatura de su sección recta. Para estabilizar la forma es necesario introducir elementos ajenos a la propia lámina, como témpanos o arcos de rigidez, a distancias relativamente cortas

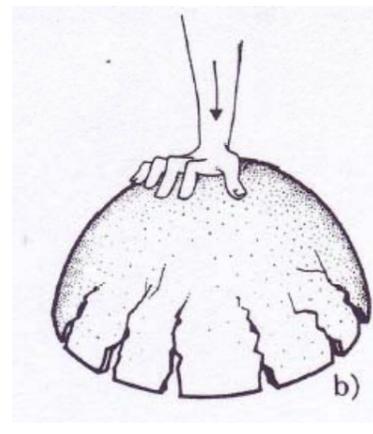
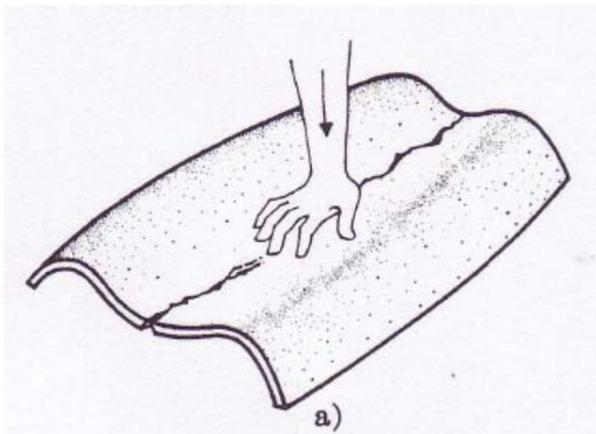


El cascarón cilíndrico puede mantenerse en una especie de equilibrio inestable si su sección coincide con la línea de presiones de las cargas externas.



Cualquier ligero cambio en la distribución de las cargas en la forma de la sección normal, produce rotura debida al pandeo. Para prevenir su rotura debe rigidizarse mediante arcos.

La diferencia fundamental entre el comportamiento estructural de las superficies de curvatura sencilla y las de curvatura doble puede apreciarse muy claramente observando la manera de romper de ambas. Las primeras se rompen por flexión y las segundas por alargamiento (Figuras a y b)



En ciertos casos, como en las bóvedas cilíndricas cortas de directriz anti funicular de las cargas permanentes, las estructura puede funcionar ocasionalmente en régimen de membrana para dicho estado de cargas, pero tan pronto como aparezcan cargas vivas con distribución diferente, se altera este equilibrio inestable y se originan flexiones de la lámina. En realidad, estas bóvedas cortas funcionan del mismo modo que las bóvedas tradicionales de piedra, en las que se procuraba que la línea de presiones o anti funicular de las cargas estuviera aplicada dentro del núcleo central de cada dovela. Como en estas bóvedas de piedra el peso propio era enorme, las posibles cargas vivas eran de un orden de magnitud mucho menor y su intervención no alteraba fundamentalmente la línea de presiones original. En cambio, en las modernas de hormigón, de espesor insignificante, el peso propio es equiparable, y a veces menor, que las cargas vivas de viento o nieve, entre otras. La acción de estas provoca, por lo tanto, alteraciones considerables de las líneas de presiones, que se sale totalmente de la sección, provocando flexiones en la lámina y la necesidad de aumentar el espesor de la misma. Si las luces son elevadas, lo que sucede es que al aumentar tanto los momentos, es necesario la colocación de arcos rígidos a distancias determinadas empíricamente.

En las bóvedas cilíndricas largas aparecen flexiones transversales en las secciones alejadas de los apoyos, como resultado del planteamiento del equilibrio estático entre las cargas que actúan en una faja transversal y la diferencia de esfuerzos cortantes entre las dos secciones que limitan dicha faja. Las cargas que actúan en cada faja tienen que estar en equilibrio con la diferencia de esfuerzos cortantes. Sin embargo, las primeras son verticales y las segundas tangentes a la curva directriz. Por consiguiente, los momentos que ambos sistemas de fuerzas producen no pueden ser iguales porque el brazo de la palanca de las primeras fuerzas es mayor que el de las segundas. Estas flexiones pueden aminorarse mediante la disposición de vigas de borde o la consideración de la continuidad entre dos bóvedas contiguas lo que obliga a dar a la lámina un espesor sustancial.

En las estructuras prismáticas formadas por losas dobladas que funcionan como vigas laminares, se consideran en ellas las aristas como apoyos para las losas en el sentido transversal, trabajando las losas a flexión entre apoyos y solicitadas por las componentes normales a la losa.

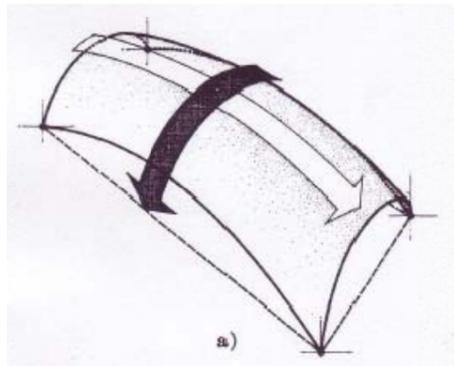
La estructura laminar más sencilla es la losa plana horizontal, pero nunca puede ser considerada cascarón, ya que su acción estructural depende exclusivamente de su capacidad para resistir flexiones. Partiendo de esta forma como caso límite, encontramos una gama de estructuras en las que parte de las cargas se transmite a los apoyos por esfuerzos directos o de membrana, pero en las que otra parte de las cargas solicita a flexión a la propia lámina. Hasta que llegamos a las estructuras formadas por láminas de doble curvatura, en las que toda la carga se transmite a los apoyos por esfuerzos de membrana exclusivamente, sin aparecer flexiones hasta que se alcanzan los estados inmediatamente previos a la ruptura.

La progresión entre ambos casos puede establecerse del siguiente modo:

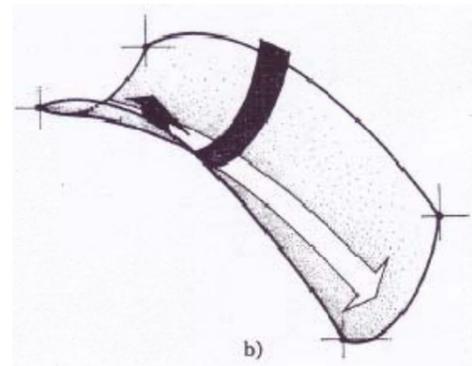
- Losas planas horizontales: Esfuerzos a flexión exclusivamente.
- Estructuras prismáticas o losas dobladas: Régimen mixto de esfuerzos de membrana y de flexión.
- Bóvedas cilíndricas, cónicas y superficies desarrollables en general: Régimen mixto de esfuerzos de membrana y de flexión, con tendencia al predominio de los primeros.
- Superficies de doble curvatura: Esfuerzos de membrana solamente, siempre que la disposición de la estructura y de sus apoyos sea la correcta, y los valores de los esfuerzos no excedan los límites admisibles.

Las superficies de doble curvatura son las que dan lugar al nombre de cascarón propiamente dichas y se clasifican de acuerdo con su forma en dos grandes grupos:

- Superficies Sinclásticas: También llamadas elípticas por la forma de la ecuación que las representa. Las dos curvaturas principales en cada punto están dirigidas en el mismo sentido. El ejemplo más explícito es la cúpula esférica (Figura a).
- Superficies Anticlásticas o Hiperbólicas: Las curvaturas principales van dirigidas en sentidos opuestos como en una silla de montar. El ejemplo más explícito es el hiperboloide de una hoja que se obtiene retorciendo un cilindro formado por hilos sujetos en dos círculos de la base (Figura b)



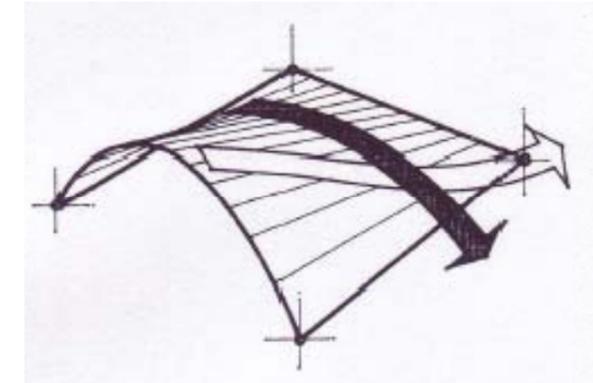
Superficie Sinclástica o elíptica



Superficie Anticlástica o hiperbólica

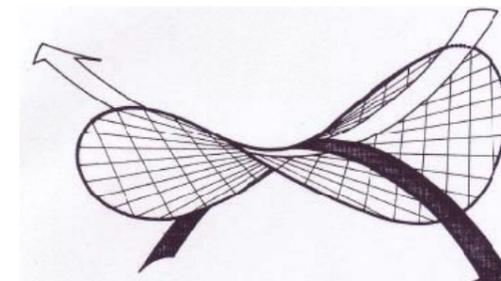
Ambos grupos de superficies comparten la propiedad de ser capaces de trabajar en régimen de membrana exclusivamente, lo cual las hace muy apropiadas para cubrir grandes espacios con un mínimo de material y por lo tanto de peso. Sin embargo, para la utilización de tales superficies en la construcción no podemos pasar por alto una serie de circunstancias aleatorias que dependen del lugar; como el clima, el grado de evolución de la industria de la construcción, el costo de la mano de obra, los materiales, etc, que pueden influir en la elección de la forma.

El material apropiado para la construcción de cascarones es el hormigón armado, por su bajo costo, porque sus materiales básicos pueden encontrarse fácilmente en cualquier lugar y porque puede moldearse para darle la forma deseada. Esta forma se consigue mediante la erección previa de moldes de madera. Entre las superficies anticlásticas de definición geométrica sencilla, existe un grupo de superficies llamadas regladas que presentan la propiedad de estar engendradas por rectas que se mueven a lo largo de la superficie, como en el caso del Conoide:



Conoide

Esta propiedad puede utilizarse ventajosamente en el montaje de la cimbra y del encofrado, colocando las piezas de madera en las direcciones de las generatrices rectas. Los casos donde la superficie tiene dos sistemas de generatrices rectas son los más adecuados, porque de este modo tanto las duelas como los largueros que las sustentan pueden ser rectos. Esto nos lleva a la consideración de dos superficies geométricas únicamente: El Hiperboloide de una hoja tan utilizado por el maestro Gaudí, y el paraboloides hiperbólico. Ambas tienen una ecuación clara y sencilla puesto que pertenecen al grupo de las cuádricas y poseen dos sistemas de generatrices rectilíneas.



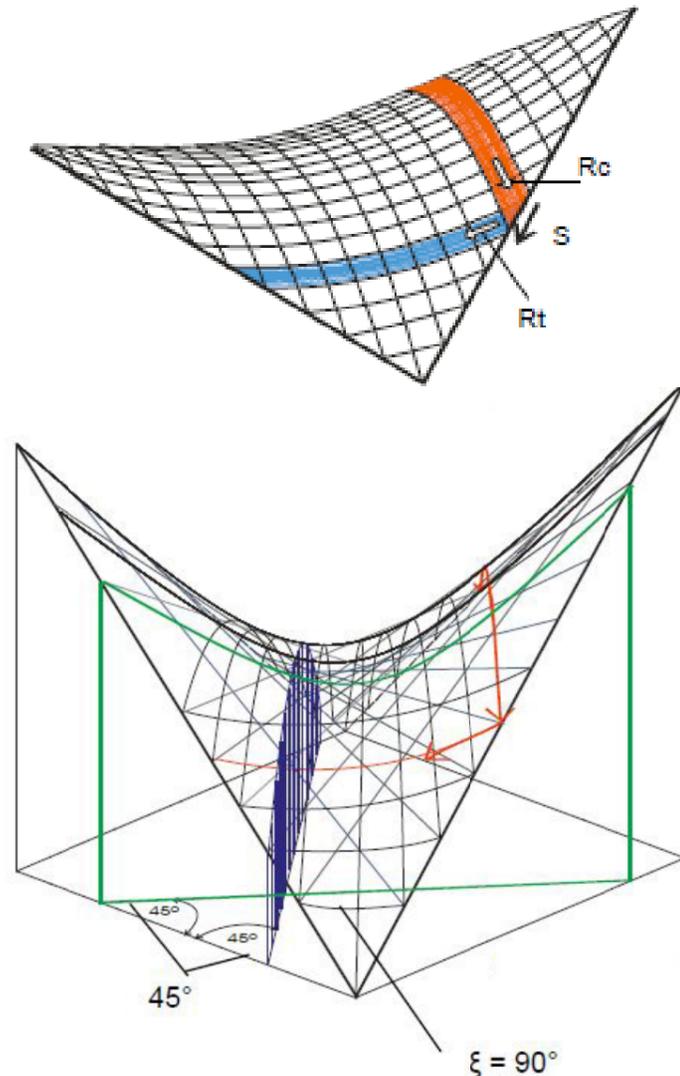
Paraboloides hiperbólico.



Hiperboloide de una hoja

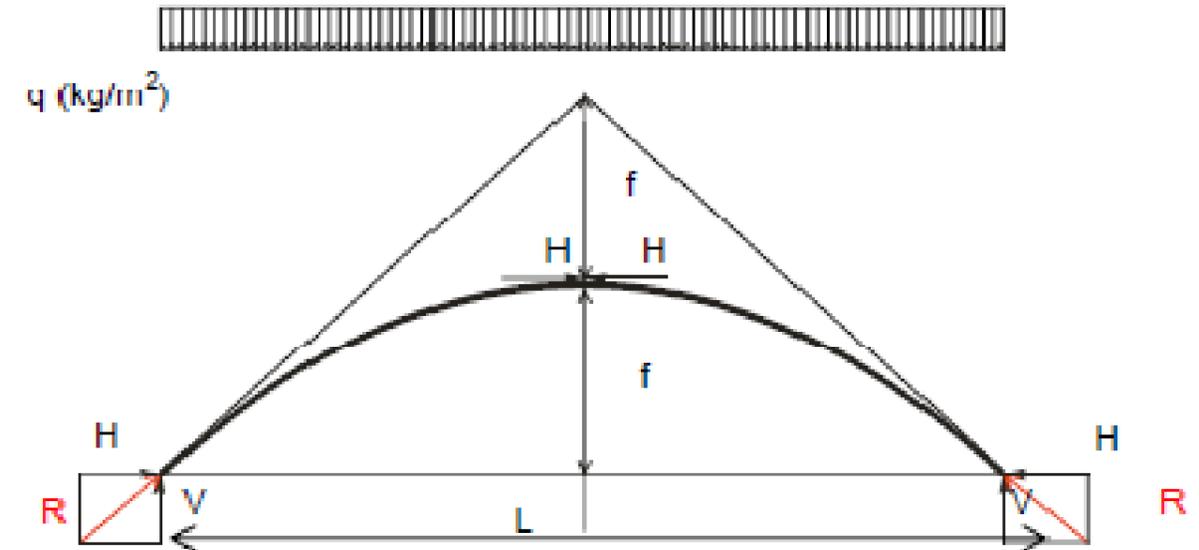
ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS:

Consideremos la superficie dividida en dos series de arcos parabólicos que siguen las direcciones de las parábolas principales (parábola de tracción y parábola de compresión), tal y como se muestra en la figura:



En el caso de paraboloides equiláteros, estos arcos forman un ángulo de 45° con las generatrices rectas. A las reacciones de las fajas parabólicas contra los bordes las llamaremos R_t (tracción) y R_c (compresión). Las fuerzas de borde se combinan de manera tal que dan lugar a una resultante S , que sigue la dirección del elemento de borde. Esta es una de las características principales de los paraboloides de bordes rectos, y es que los bordes resultan sometidos solo a esfuerzos de tracción y compresión. La carga se distribuye por mitades entre parábolas traccionadas y parábolas comprimidas, ya que ambas familias de curvas tienen la misma forma, igual curvatura y por consiguiente igual rigidez.

En Hypars con bordes curvos ocurre lo mismo, pero la diferencia radica en que las resultantes que llegan a los apoyos son de menor magnitud que las que llegan a los apoyos en el caso de bordes rectos. Si el alabeo de la superficie es pequeño (relación entre flecha y luz de la parábola principal $\leq 0,15$), la carga del peso de la propia cáscara cuyo espesor suponemos constante, se puede suponer uniformemente repartida en su proyección horizontal:



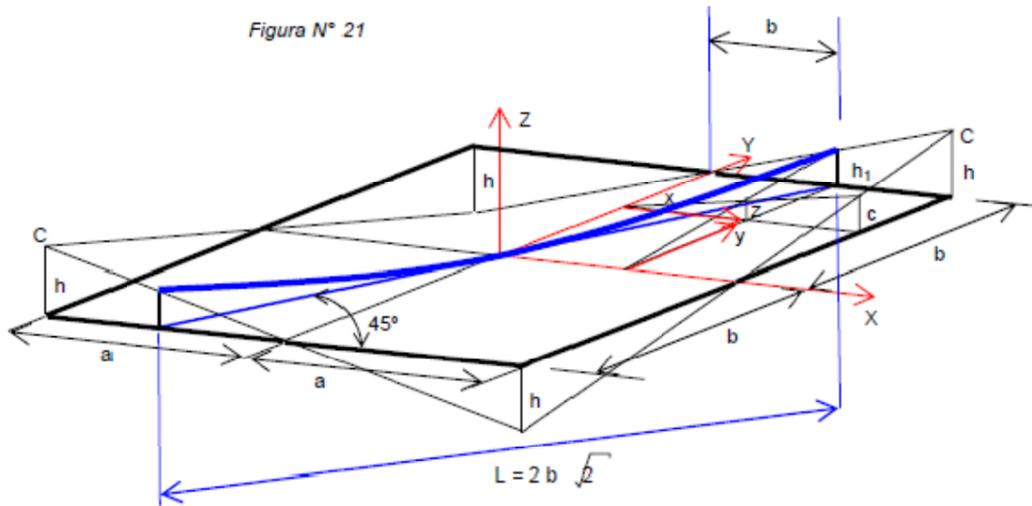
Por otra parte, si la relación flecha y luz es menor a 0,15, la diferencia entre el esfuerzo interno máximo R que se produce en el arranque de los nervios y el mínimo H que actúa en la clave, es mínima. Esto nos permite decir que el esfuerzo es casi constante en cualquiera de los puntos de la faja parabólica. No importa que las fajas paralelas tengan longitudes distintas, lo que importa es que tengan la misma forma y curvatura.

ESFUERZOS NORMALES EN LA CASCARA:

El valor del empuje de un arco parabólico sometido a una carga uniformemente distribuida es:

$$H = \frac{\text{carga por metro} \times \text{luz}^2}{8 \times \text{flecha}}$$

Figura N° 21



$$H = H_c = H_t = \frac{q/2 \times (2b\sqrt{2})^2}{8 \times h_1}$$

q/2 = mitad de la carga por metro para cada parábola
L = 2b√2 = luz de las parábolas centrales
h1 = flecha de las parábolas centrales

$$H = \frac{q/2 \times (4b^2 \cdot 2)}{8 \times h_1}$$

$$H = \frac{q \times (b^2)}{2 \times h_1}$$

y siendo nuestro caso:

$$\frac{h_1}{b} = \frac{h}{a}$$

genéricamente:

$$H = \frac{q \times (b^2) \times a}{2 \times h \times b}$$

$$H = \frac{q \cdot a \cdot b}{2 \cdot h}$$

$$H = H_c = H_t = \frac{q \cdot x \cdot y}{2 \cdot z}$$

Una vez calculados los esfuerzos Hc, debemos verificar que no se sobrepasan las tensiones admisibles del material.

$$\sigma'_{b1} = \frac{H_c}{t \text{ (cm)} \times 100 \text{ cm}} < \sigma'_{b \text{ adm}}$$

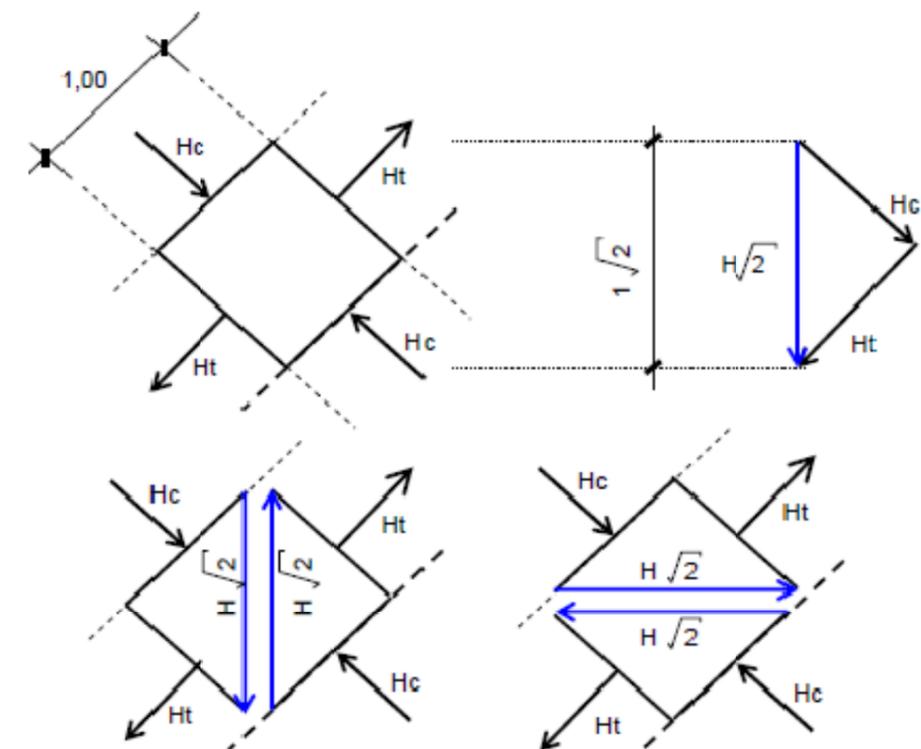
En la dirección de las parábolas de tracción, los esfuerzos deberán ser absorbidos mediante armaduras, cuya sección se calcula de la siguiente manera:

$$F_e \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{H_t \text{ (kg)}}{\sigma_{e \text{ adm}} \text{ (kg/cm}^2\text{)}}$$

En general, la cáscara del paraboloides no constituye un problema debido a que los pequeños espesores cumplen con las condiciones de equilibrio, no obstante conviene constructivamente darle espesores superiores a los 6 centímetros. Por el contrario, el principal problema está en los bordes.

ESFUERZOS INTERNOS DE CORTE:

Si nos referimos en particular a un cuadrado de un metro de lado ubicado en un lugar cualquiera de la superficie, pero con sus lados orientados en la dirección de las parábolas principales, su estado de sollicitación es el de la figura:



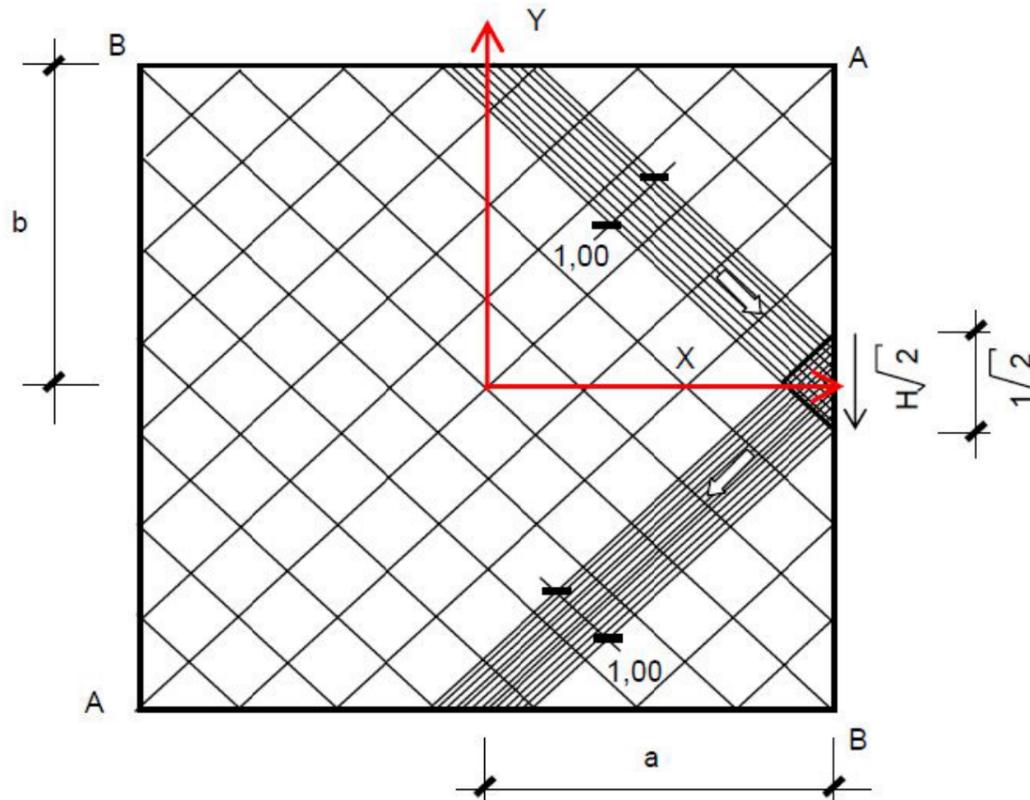
Esta forma de sollicitación se define en resistencia de materiales como corte puro, porque todas las secciones paralelas a los bordes del paraboloides hiperbólico, diagonales de los cuadrados unitarios, están sollicitadas al corte, es decir, las fuerzas normales son nulas. El valor del esfuerzo de corte es H√2, pero como se aplica en una longitud 1/√2, resulta que el valor unitario es H√2 / 1/√2 = H, es decir, idéntico valor del esfuerzo de corte al valor de tracción o compresión correspondiente a las parábolas principales. La misma situación se



produce en las zonas marginales donde las fajas acometen contra el borde. Esto de muestra que la cáscara transmite sus esfuerzos al borde mediante esfuerzos de corte, de valor H por unidad de longitud. Pero hay que tener en cuenta que el esfuerzo H que transmite al borde una determinada de parejas de fajas parabólicas, se suma al que transmite las parejas anteriores y de esta forma los esfuerzos se van acumulando en el elemento de borde de forma gradualmente creciente. Entre la cáscara y los nervios o vigas de borde existe un esfuerzo tangencial cuyo valor es H por metro de longitud y que no debe crear tensiones superiores a las admisibles por el material. Además se debe cumplir:

$$\tau' b_1 = \frac{H}{t \text{ (cm)} \times 100 \text{ cm}} < \tau' b_{adm}$$

El máximo valor de $\sum H$ producirá una compresión en la viga de borde cuyas tensiones no deben sobrepasar el máximo admitido por el material. Debe tenerse entonces una sección capaz de resistir la fuerza que le transmite la cáscara. Las vigas de borde no soportan, al menos teóricamente, más flexiones que las que provienen del peso propio, y actúan como una columna con compresión variable, creciente desde cero en el extremo A hasta llegar a un máximo en B. Los bordes constituyen un marco rígido en el cual se apoyan las cáscaras, transmitiendo compresiones o tracciones, y en el caso del hormigón armado las tracciones se absorben con el armado.



ESFUERZOS EN LOS BORDES Y REACCIONES DE APOYO:

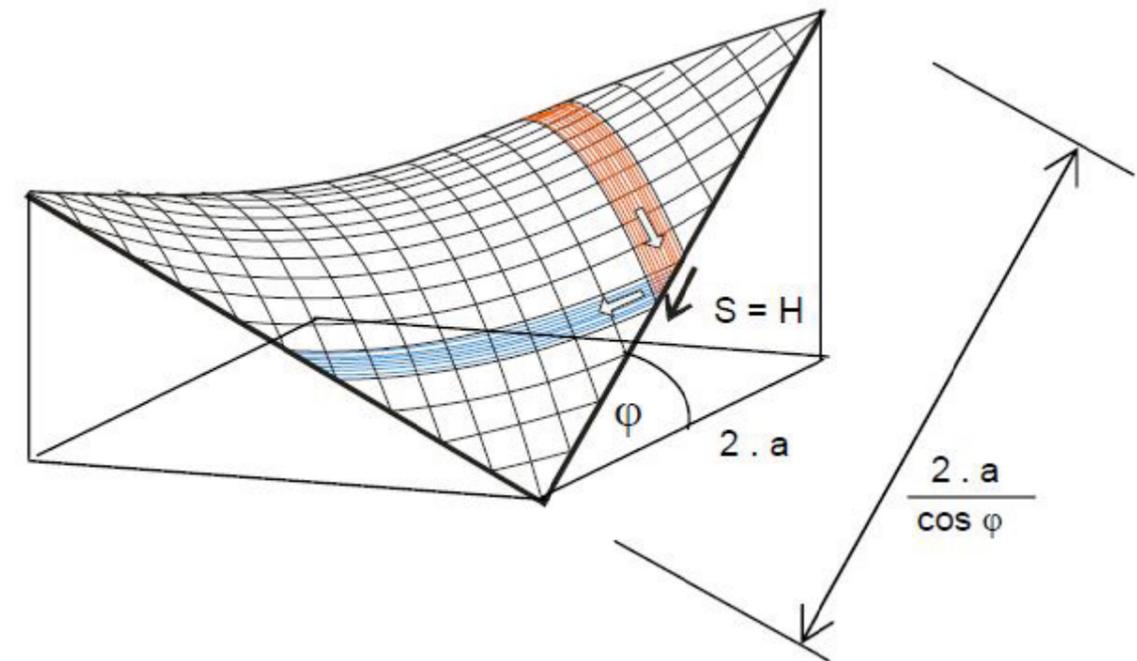
Considerando el caso simple de un paraboloides hiperbólico de planta cuadrada y con lado de magnitud $2^a = 2b$, tal y como se indica en la figura anterior, donde A-A son los puntos altos y B-B son los apoyos, sabemos que la superficie está formulada por dos familias de fajas parabólicas, cuyas parábolas principales están sometidas a esfuerzos internos de valor:

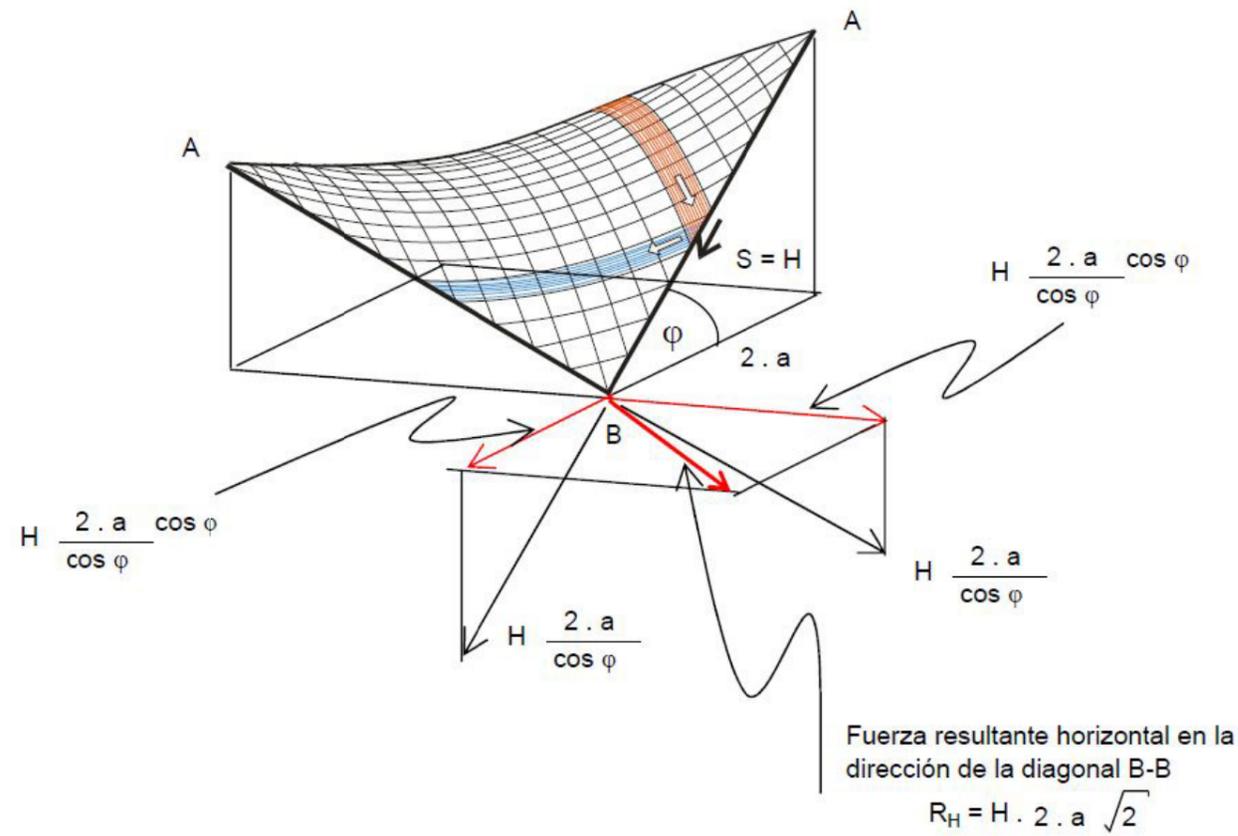
$$H = H_c = H_t = \frac{q \cdot a \cdot b}{2 \cdot h} = \frac{q \cdot a^2}{2 \cdot h}$$

Donde a y h son las coordenadas de uno de los vértices referido al sistema XYZ. En el borde, el esfuerzo vale H por unidad de longitud. Estos esfuerzos se van acumulando desde A hasta B, donde alcanzan el valor máximo:

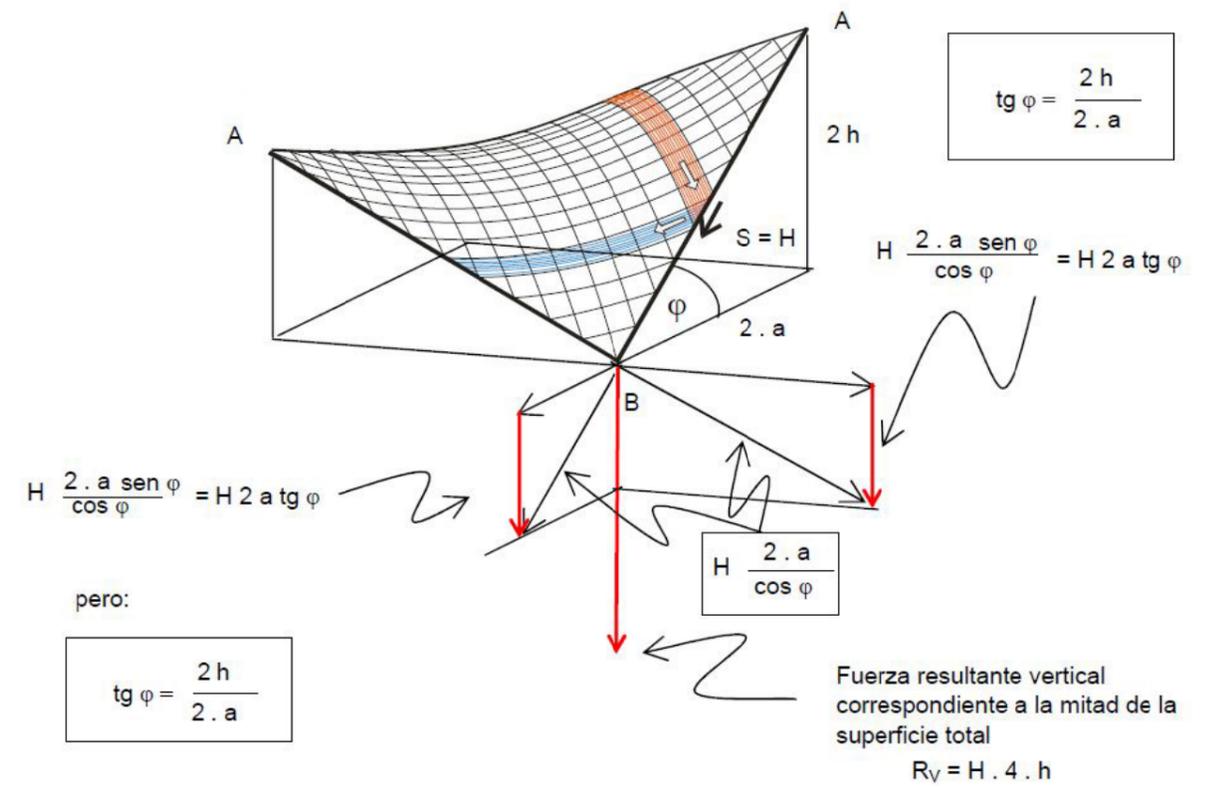
$$H \frac{2 \cdot a}{\cos \varphi}$$

Siendo $2 \cdot a / \cos \varphi$ la longitud del elemnto de borde.





La carga vertical total que transmiten los dos bordes que acometen a un apoyo común será:



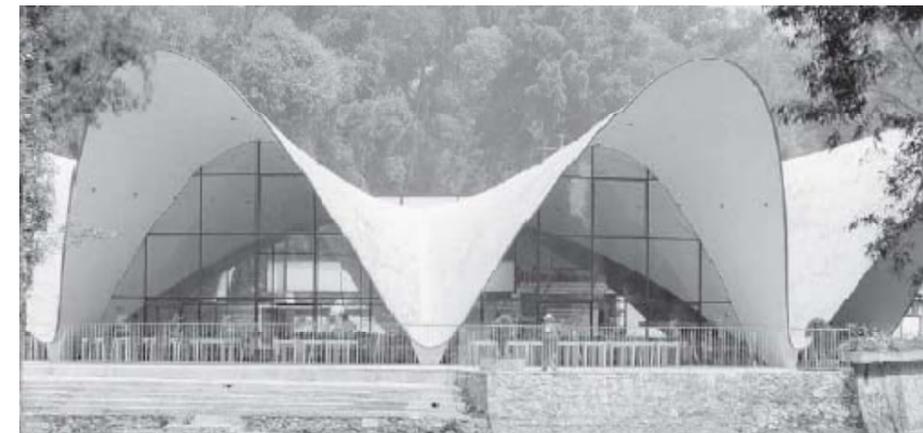
4.2. HIPOTESIS Y METODOS DE CÁLCULO.

En la construcción de los primeros cascarones, ante la complejidad del problema matemático que el intento del cálculo analítico planteaba, hay autores que abogaron por el empleo de pruebas sobre modelos reducidos. En realidad el modelo solo puede servirnos para comprobar aproximadamente si las condiciones de trabajo son las mismas. Lo que importa, generalmente, no son los esfuerzos en la lámina, que suelen tener valores insignificantes, sino las fuerzas que esta transmite a los apoyos o piezas de borde. Sin conocer, al menos, el orden de magnitud y la probable dirección de tales fuerzas no es posible dimensionar las piezas de borde o decidir se pueden ser suprimidas. Pero el tamaño, la disposición del armado y por consiguiente, las deformaciones de estas piezas influyen decisivamente en el reparto de esfuerzos en la lámina y en el comportamiento del conjunto estructural, por lo que, sin conocer aquellos datos, difícilmente podemos llegar a conclusiones que tengan alguna utilidad. Además, el cambio de escala, obliga a cargar el modelo con pesos que no son proporcionales a los de la estructura real, ni a las dificultades de interpretación de los resultados, por la imprecisión en la medida de las deformaciones y la incertidumbre entre la correspondencia entre estas y los esfuerzos.



El cálculo consiste en la determinación de los esfuerzos de membrana, lo que se lleva a cabo mediante un proceso en el que no interviene más que la Estática, sin necesidad de tomar en consideración propiedades elásticas de los materiales. Consiste tal proceso en el establecimiento de las condiciones de equilibrio, según tres ejes en el espacio, de un elemento diferencial de superficie en el que actúan fuerzas externas y esfuerzos internos aplicados en las caras del elemento. Se obtienen así un sistema de tres ecuaciones diferenciales. Es necesario resolver este sistema para cada forma de superficie y para cada caso de carga. Su solución da, en cada caso, los valores de los esfuerzos de membrana en cada punto, pero estos valores, al obtenerse mediante integrales, vienen afectados por constantes arbitrarias de integración; es decir, se obtienen leyes de variación de unos puntos a otros. A fin de determinar dichos valores, es necesario fijarlos en algunos puntos que, generalmente, corresponden a los bordes, por ser lugares en los que podemos fijar las fuerzas que las piezas de borde son capaces de resistir. Se trata, en definitiva, de un problema indeterminado del mismo tipo de los que estamos acostumbrados a trabajar en estructuras hiperestáticas. Es necesario en estas determinar previamente las reacciones de apoyo para poder estudiar los esfuerzos en el interior de la estructura

El corte que define el borde libre de la cubierta debe estar lo más alejado posible de las generatrices del Hypar. Cuanto más se acerque el ángulo a 45° mejor se repartirán los esfuerzos entre las generatrices de las dos direcciones X e Y. sin embargo, si nos aproximamos a una de las dos generatrices estamos haciendo que una dirección trabaje por encima de lo recomendable, mientras que la otra apenas colabora. Esto pone de manifiesto que solo puede existir un borde libre y un máximo de dos apoyados por paraboloides, para poder analizar las láminas por el procedimiento analítico expuesto. La introducción de más consideraciones de borde se convertirían en redundancias hiperestáticas que no pueden ser resueltas mediante las tres ecuaciones de la estática. Félix Candela solventa el problema del análisis optando por apoyar fragmentos de paraboloides entre sí, dando forma a una estructura global con apariencia de numerosos bordes libres. Como se observa en el restaurante de los Manantiales el arco de fachada supone el borde libre de un paraboloides hiperbólico, que al ser repetido alrededor de una planta circular, da la impresión de un enorme y único borde libre ondulándose sucesivamente.

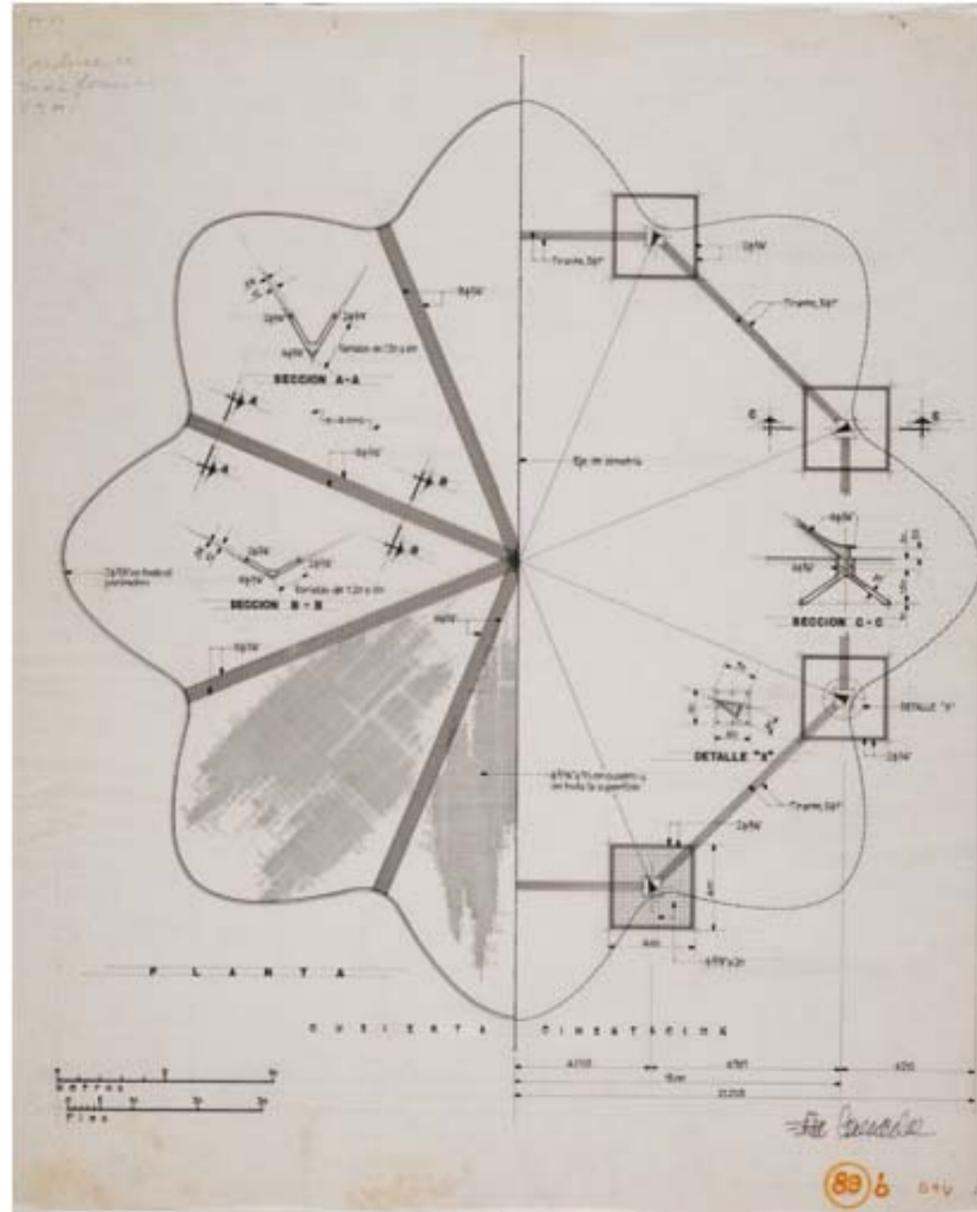


En resumen podemos decir que Candela utilizó un método analítico que permitió estudiar matemáticamente sus estructuras pero, por encima de todo, le sirvió para comprenderlas físicamente, significando el borde libre la culminación de su trabajo: Adecuación resistente y fuerte valor estético. Un hecho singular en este tipo de análisis es la disposición de los apoyos de la lámina. Al iniciar el planteamiento del sistema de ecuaciones del estado de membrana se ha mencionado que solamente se consideran los esfuerzos actuantes en el plano del elemento. Para que esto sea aplicable en las zonas del apoyo de la estructura, las reacciones deben actuar igualmente en el plano del elemento correspondiente. Si el elemento de apoyo comunica a la estructura más esfuerzos que los especificados nos encontramos con perturbaciones que se pueden ir transmitiendo por las generatrices a medida que nos alejamos del apoyo, y encontrar puntos afectados significativamente.

Más tarde aparecen herramientas que permitieron un análisis matemático de cualquier tipo de estructura, como los cada vez más sofisticados programas de elementos finitos.

En el caso del Restaurante Submarino, los profesores D. Carlos Lázaro y D. Alberto Domingo, utilizaron para calcular la estructura de la cubierta JCHYPAR el programa de cálculo SAP, según nos comenta Carlos Lázaro en la reunión que mantuvimos con él, y además nos explica las dos grandes diferencias entre las estructuras de Candela y las cubiertas JCHYPAR:

1. Candela utilizó empotramientos para los apoyos de los Hypars, mientras que en la cubierta JCHYPAR son apoyos articulados. Si nos fijamos en los apoyos, en su forma, materiales y diseño, vemos la influencia de un Ingeniero de Caminos en su diseño.



Plano de armado Restaurante de los Manantiales



Apoyos Restaurante de los Manantiales, Xochimilco



Apoyos Restaurante Submarino



Apoyos Restaurante Submarino

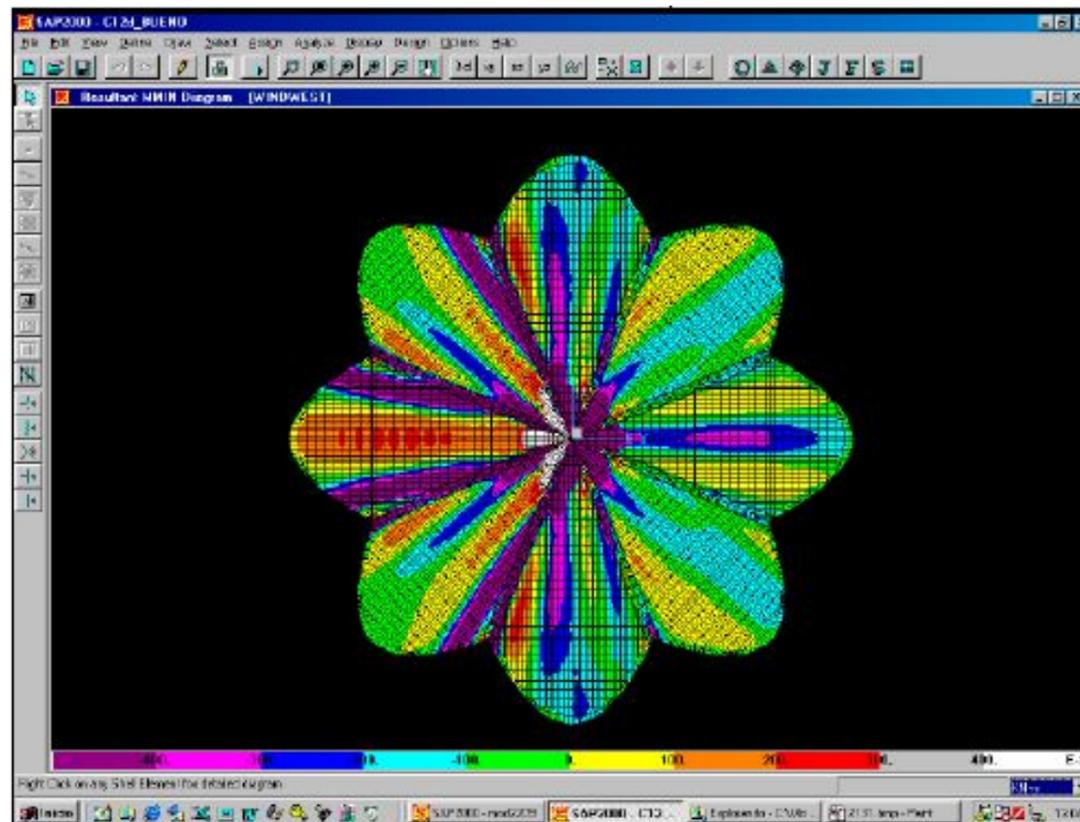
2. Candela no utilizó hipótesis de viento trabajando a peso propio, sin considerar las acciones del viento. Hoy en día es necesario cumplir las solicitaciones por viento que marca el documento básico de seguridad estructural del nuevo código técnico de la edificación.
3. La clave. Es el elemento que remata superiormente la estructura de la cubierta. Se diseña para poder pasar las armaduras de los nervios respetando las distancias de solapo establecidas en el cálculo y el recubrimiento mínimo de la armadura que marca la normativa.

La cubierta JCHYPAR está ejecutada con:

- Hormigón HA-30 (30 MPa).
- Acero B-500-S (500 MPa).
- 40 Kg/m² de Fibras Dramix ZP305z.

El por qué de utilizar el HRFA surge de:

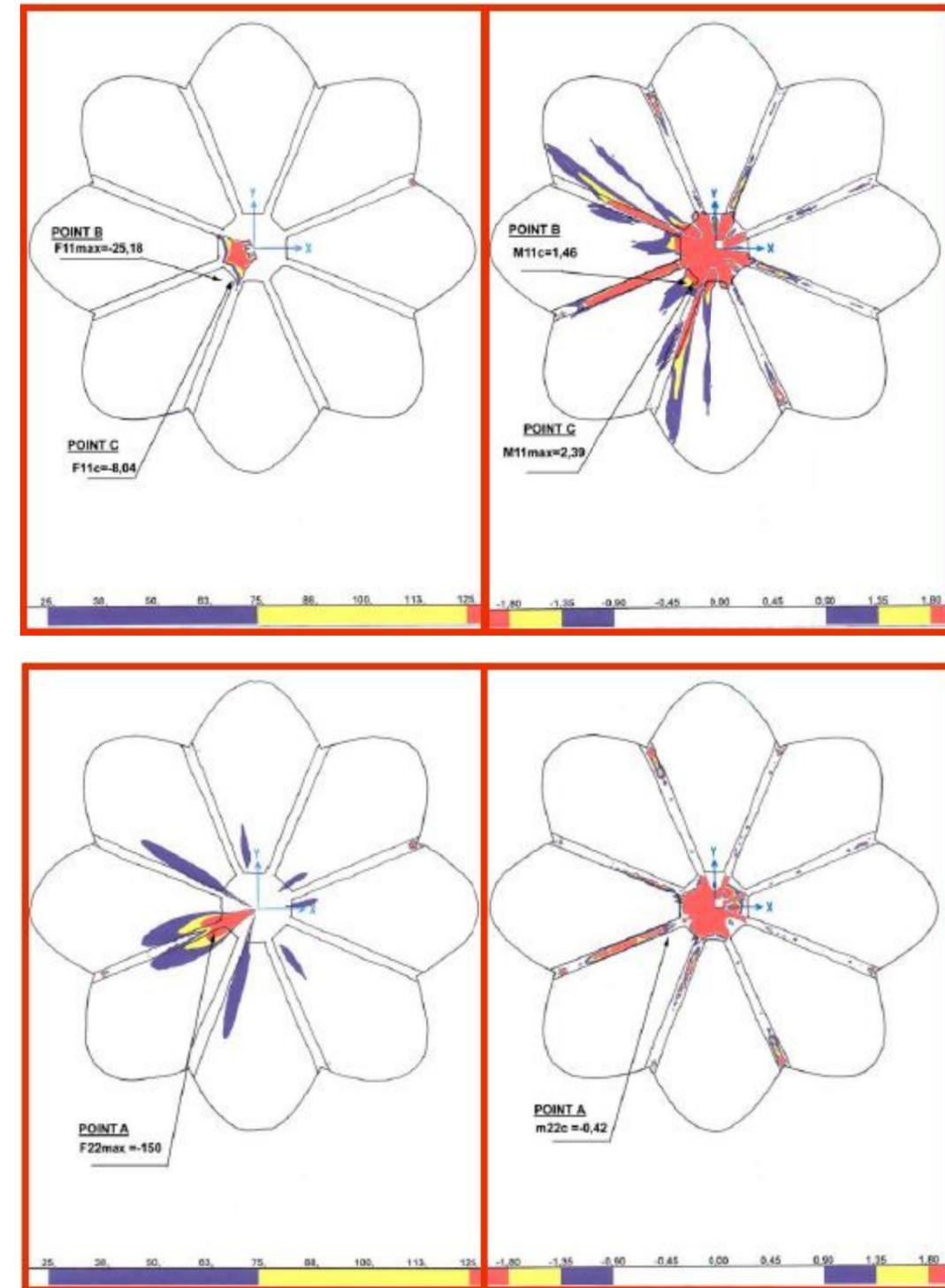
1. Cumplimiento de las comprobaciones de la normativa actual sobre resistencia, durabilidad y ligereza.
2. Aparecen esfuerzos de flexión al introducir los parámetros en el programa de cálculo de estructuras SAP.
3. El pequeño espesor de la lámina de cubrición de tan solo 6 centímetros.
4. Aumento de la durabilidad.
5. Reducción y control de las anchuras de las fisuras. Debemos de pensar que si se producen fisuras, al tener un espesor tan fino, las armaduras se verían afectadas inexorablemente.
6. Homogeneidad en la distribución de las fisuras.



Estructura sometida a esfuerzos de Viento (Programa SAP)

Los gráficos siguientes muestran lo que ocurre si sometemos la estructura a esfuerzos de viento. Cuando este empuja, debido a los empotramientos lóbulo-nervio, lóbulo-clave, nervio-

clave y nervio-apoyo, los lóbulos se deforman. Esto se representa con diferentes tonalidades en los gráficos, siendo las tonalidades en rojo las zonas donde se producen más deformaciones.



La conclusión que se obtiene es a pesar de tener una estructura que solo trabaja con esfuerzos de membrana (compresiones y tracciones), si la sometemos a esfuerzos de viento,

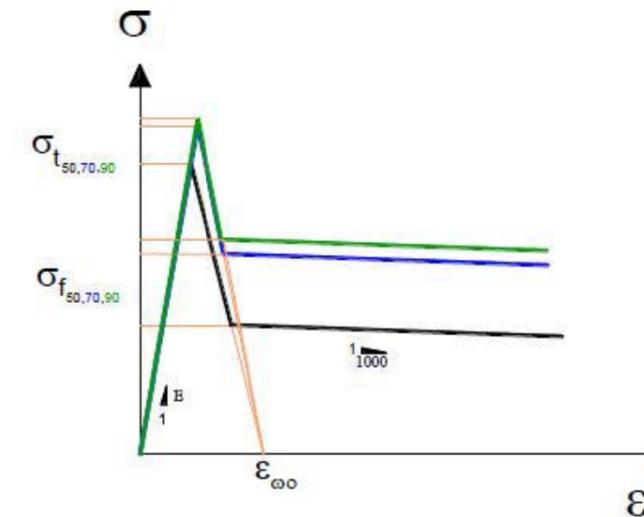
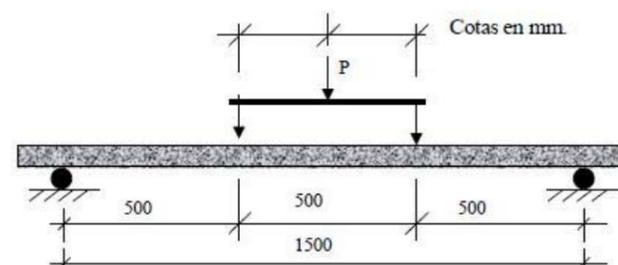
hipótesis que no barajaba Félix Candela, aparecen deformaciones. Esto es lo que les lleva a los autores del proyecto a conservar el armado, y a no sustituirlo totalmente por fibras.

Se elije un procedimiento de hormigonado a base de hormigón proyectado tras analizar:

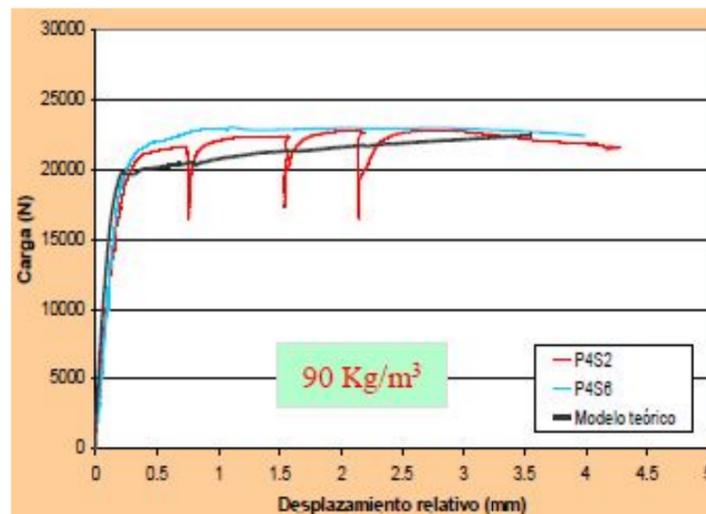
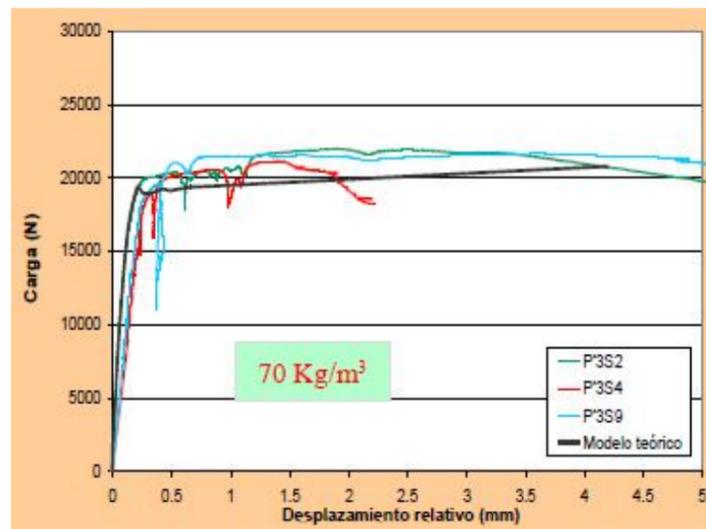
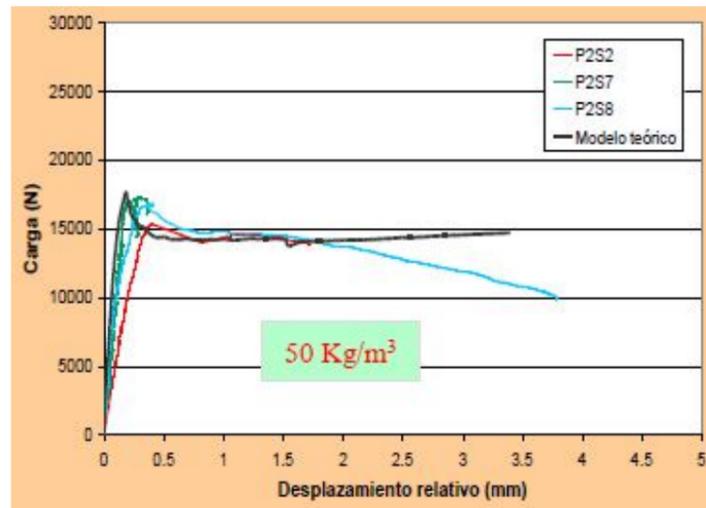
1. Los métodos convencionales de hormigonado, que producen los siguientes inconvenientes:
 - a. Elevado coste de la mano de obra.
 - b. Dificultad de organizar el proceso.
 - c. Dificultad en las condiciones de seguridad de los operarios.
2. El hormigón proyectado, que produce las siguientes ventajas:
 - a. Mano de obra limitada.
 - b. Empresas especializadas en la puesta en obra del hormigón (Prevalesa y Hormigones Proyectados)
 - c. Condiciones de seguridad controlables.
 - d. Facilidad de puesta en obra del hormigón porque se tiene experiencia en la construcción de túneles.

Se realizan ensayos previos de comportamiento para tres dosificaciones diferentes de hormigones con fibras. Las empresas Prevalesa, Hormigones Proyectados S.L, Asland y Dramix hicieron posible la construcción de un conjunto de láminas de 2 x 3 x 0,06 metros para estos ensayos. Dos tipos de láminas fueron ensayadas: láminas hormigonadas in situ y láminas realizadas con hormigón proyectado. Estas láminas fueron ensayadas a flexión hasta la rotura, dejando claro que el hormigón proyectado brindaba una mejor ejecución y un mejor comportamiento. Dichos ensayos se desarrollaron en el laboratorio de Ingeniería Civil de la universidad politécnica de Valencia. Los objetivos de los ensayos fueron dos: Calibrar un modelo analítico, y revisar y proponer un método de construcción adecuado y factible económicamente de acuerdo a los actuales estándares tecnológicos.

- e. Hormigón proyectado con una cantidad de fibras de 50 Kg/m³.
- f. Hormigón proyectado con una cantidad de fibras de 70 Kg/m³.
- g. Hormigón proyectado con una cantidad de fibras de 90 Kg/m³.
- h. Los resultados de los ensayos previos fueron, para tres dosificaciones y bajo tres condiciones de carga: Gráfica verde: Modelo con 90 Kg/m³ de fibra; Gráfica azul: Modelo con 70 Kg/m³ de fibras; Y Gráfica negra: Modelo con 50 Kg/m³ de fibras



Los resultados que se obtienen de los ensayos previos son:



Las conclusiones a las que llegamos después de analizar los resultados de los ensayos previos son:

1. A medida que añadimos más kilos de fibras de acero a la masa de hormigón, vemos como a partir de la zona de fluencia o cedencia, las curvas para 50, 70 y 90 Kg/m³ de fibras de acero, van adoptando un comportamiento cada vez más dúctil.
2. El hormigón con una cantidad de fibras de 90 Kg/m³ tiene un comportamiento dúctil según la línea azul del gráfico 3, con una curva de tensión deformación más parecida a la como rompe el acero que a la de rotura del hormigón.

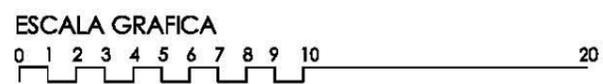
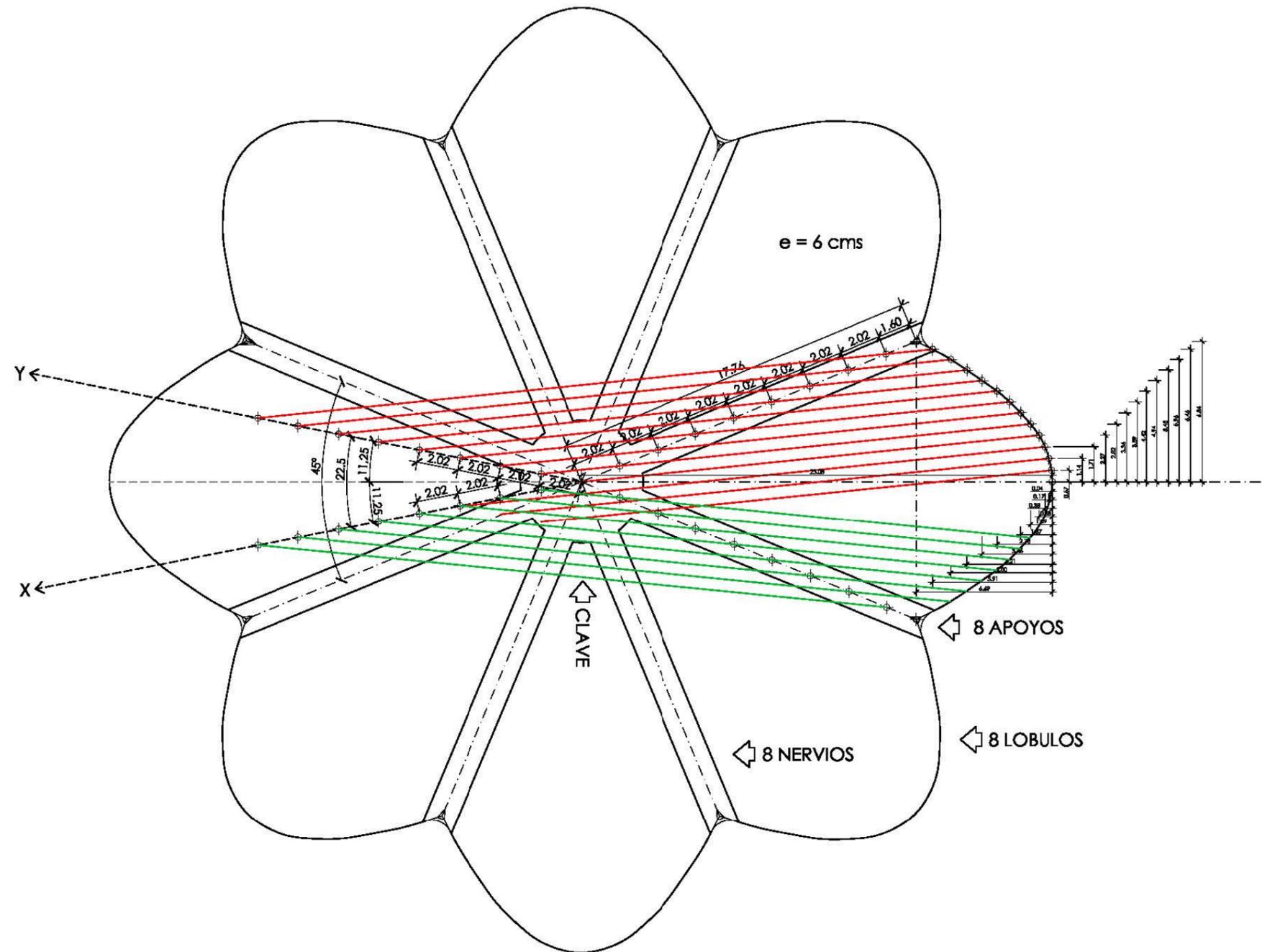
Pese a estos resultados de los ensayos, y teniendo en cuenta los resultados de someter la estructura a los esfuerzos de viento, los técnicos proyectistas de la cubierta JCHYPAR, que habían planteado la posibilidad de realizar la estructura de dicha cubierta sin el empleo de acero, empleando únicamente hormigón con fibras, llegan a la conclusión de no sustituir totalmente el acero estructural, debido a que solo tenían experiencia en la técnica de hormigón proyectado con fibras en la construcción de túneles, y no en la construcción de láminas estructurales de pequeño espesor.

Optan por disminuir a 40 Kg/m³ la cantidad de fibras de acero y conservar la armadura pasiva en su totalidad. La decisión de disminuir la cantidad de fibras de acero también tiene otras dos justificaciones:

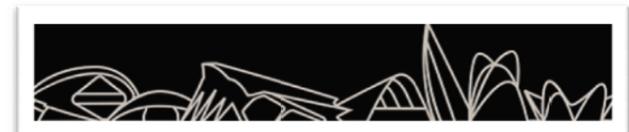
- Disminuir el peso propio de la cubierta.
- Disminuir el problema de oxidación que presentan las fibras de acero.



Aun así, el Profesor D. Carlos Lázaro piensa que si que se puede eliminar totalmente el acero estructural aunque en los apoyos y nervios existan esfuerzos que lo impidan. Las futuras líneas de investigación irán encaminadas en la eliminación parcial o total del acero estructural y hacia modelos constitutivos específicos de hormigón reforzado con fibras.



PROYECTO FINAL DE GRADO SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES			
ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE		PLANO DE ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA	
PLANO 9	CURSO 2010-11	ESCALA EN METROS	ETSGE
			UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA



CONTROL DE CALIDAD, MATERIALES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD.			
DEFINICION	DESIGNACION	NIVEL DE CONTROL	COEF. SEGURIDAD
ARMADURAS	B 500 S	INTENSO	$\gamma_s=1.10$
HORMIGON	H-300	INTENSO	$\gamma_c=1.50$
EJECUCION		INTENSO	$\gamma_f=1.50$

* Recubrimiento en la lámina de 20 mm y en los nervios 30 mm.

NOTA 1.- CARACTERISTICAS DEL HORMIGON

RESISTENCIA CARACTERISTICA	$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
RES. MEDIA RESIDUAL A TRACCIÓN	$f_{ctm,eq,150} = 3,50 \text{ N/mm}^2$
RES. CARACTERISTICA RESIDUAL A TRACCIÓN	$f_{ctk,eq,150} = 2,40 \text{ N/mm}^2$

Se le agregará al hormigón fibras de acero inoxidable ZP 30/40 (MIDEGASA), con una dosificación de 50 kg/m³ de hormigón que permita garantizar las resistencias requeridas

Características de las fibras:

- * Acero inoxidable
- * Longitud 30 mm
- * Diametro 0,4 mm

NOTA 2.- DOSIFICACIÓN RECOMENDADA DEL HORMIGON

CEMENTO BLII42,5	400 Kg/m ³
RELACIÓN A/C	0,40 - 0,45
ARENA (Huso EHE) 60-70% s/áridos	1000-1200 Kg/m ³
GRAVILLA 5-10 30-40% s/áridos	800-600 Kg/m ³

* Antes de la ejecución de la obra se llevaran a cabo los ensayos indicados en la memoria de cálculo

NOTA 4.- ENCOFRADO

El encofrado de la cubierta se realizará con tabla machihembrada cuyas direcciones seguirán las de las rectas generatrices al paraboloides hiperbólico

NOTA 3.- LONGITUD DE SOLAPO Y EMPALME

DIAMETRO	longitud de anclaje	longitud de solapo(*)
Ø6	25 cm	40 cm
Ø8	30 cm	55 cm
Ø10	40 cm	75 cm
Ø12	45 cm	90 cm
Ø16	60 cm	120 cm

* Se consideran todas las barras en posición II y las posiciones de solapo en los nervios son alternas según plano de planta

NOTA 5.- REVESTIMIENTO DE LA CUBIERTA

Al mes de la puesta en obra del hormigón, y no más tarde, se dotará a las caras de la cubierta en contacto con el exterior, de 3 capas de revestimiento de resina epoxi tipo COLMASOL o similar, con una dotación de 0.25 Kg/m² por capa. El tiempo de secado de las capas no será inferior a 24 horas, dependiendo del acabado final de la cubierta,

PROYECTO FINAL DE GRADO SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES

ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE

PLANO DE ARMADO DE CUBIERTA 1

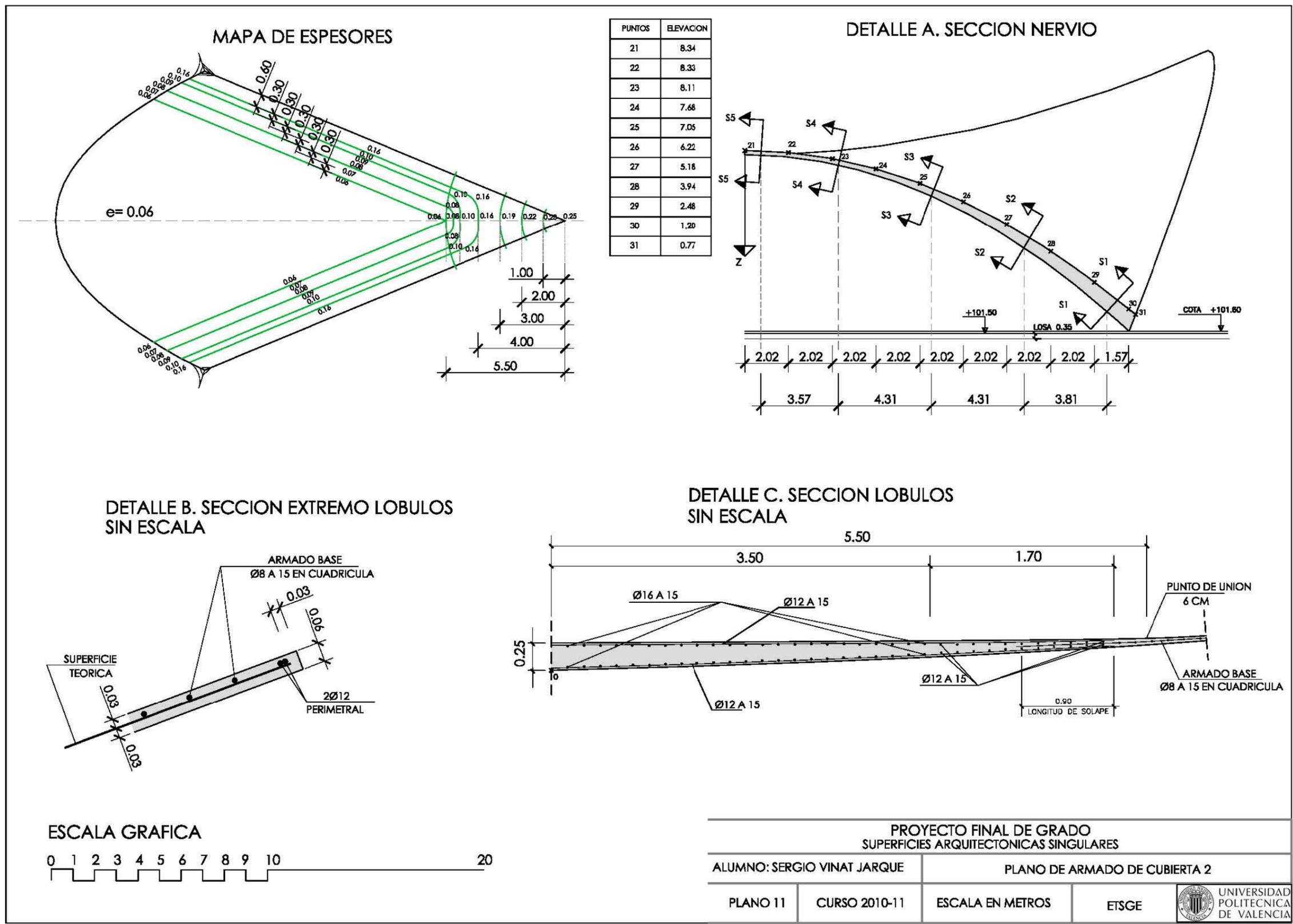
PLANO 10

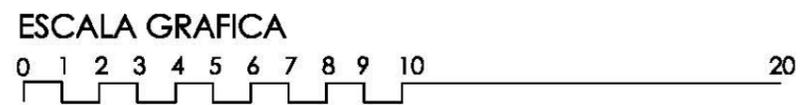
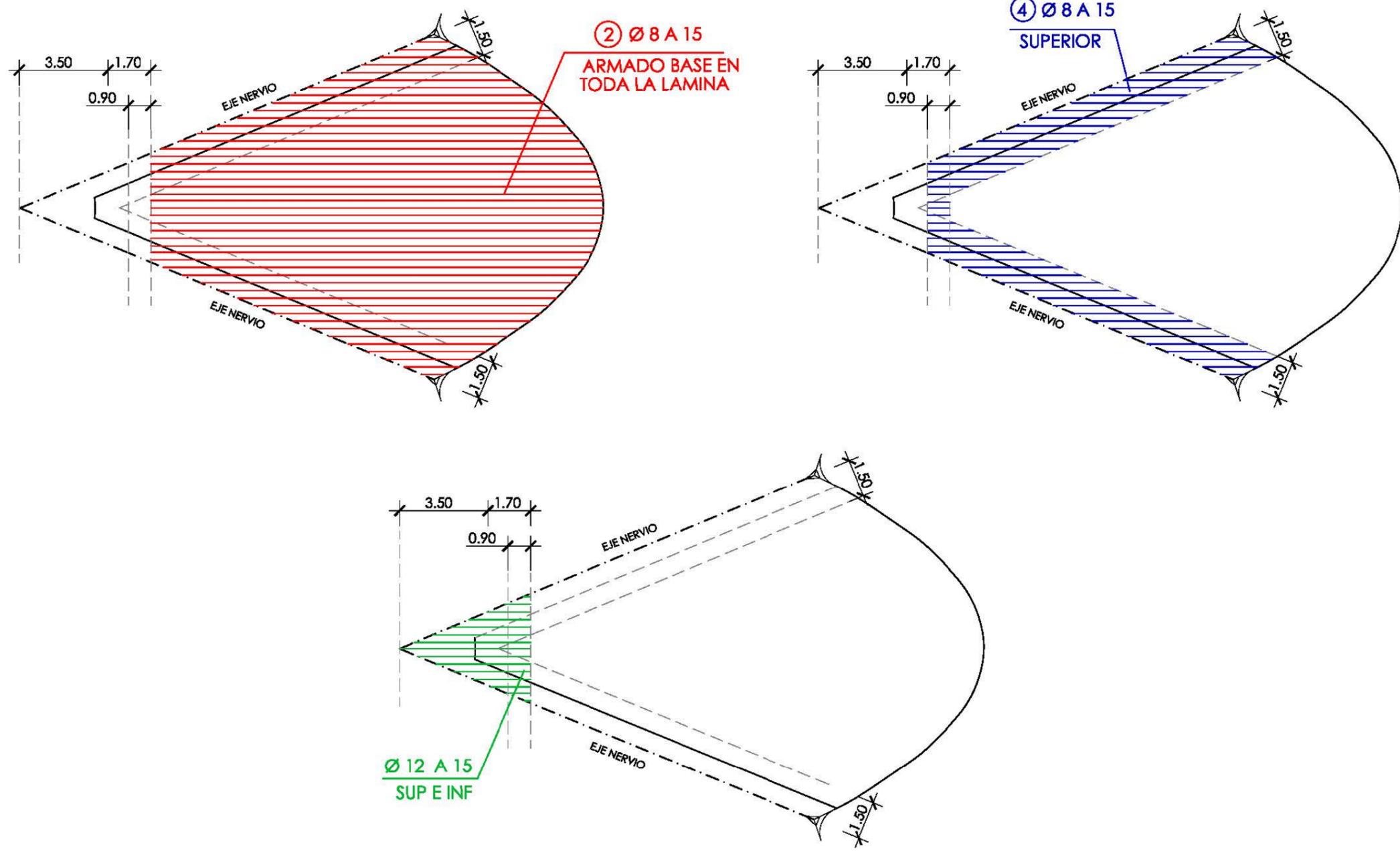
CURSO 2010-11

ESCALA EN METROS

ETSGE

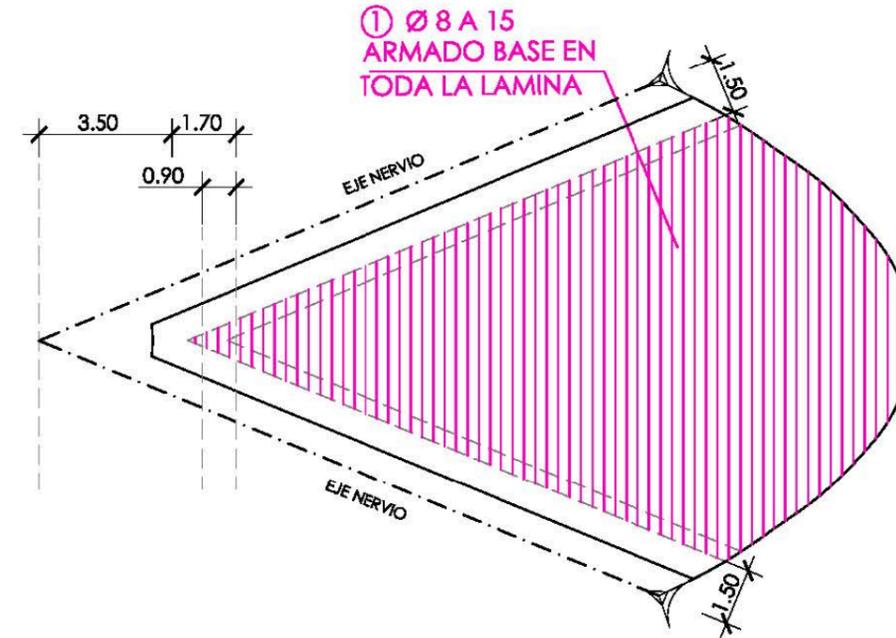
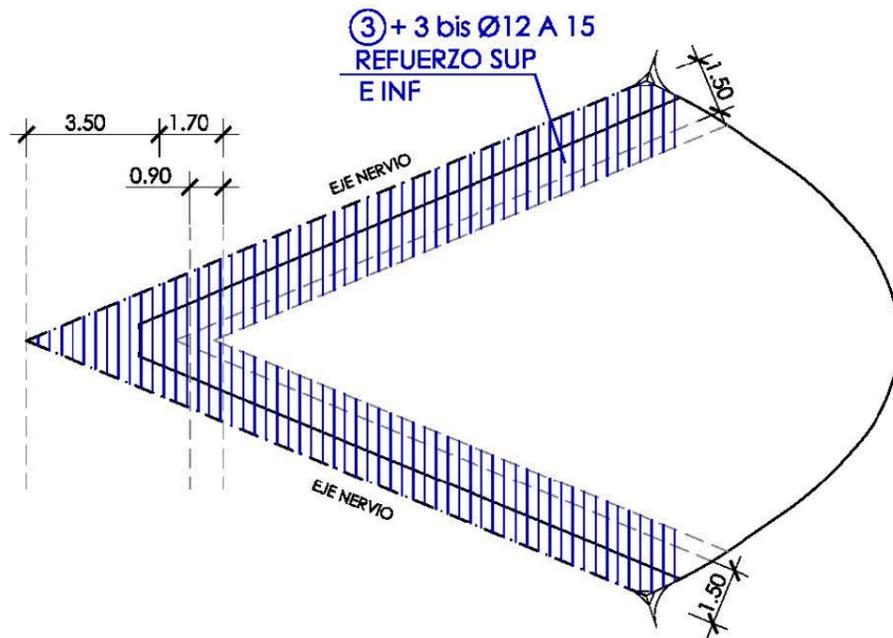
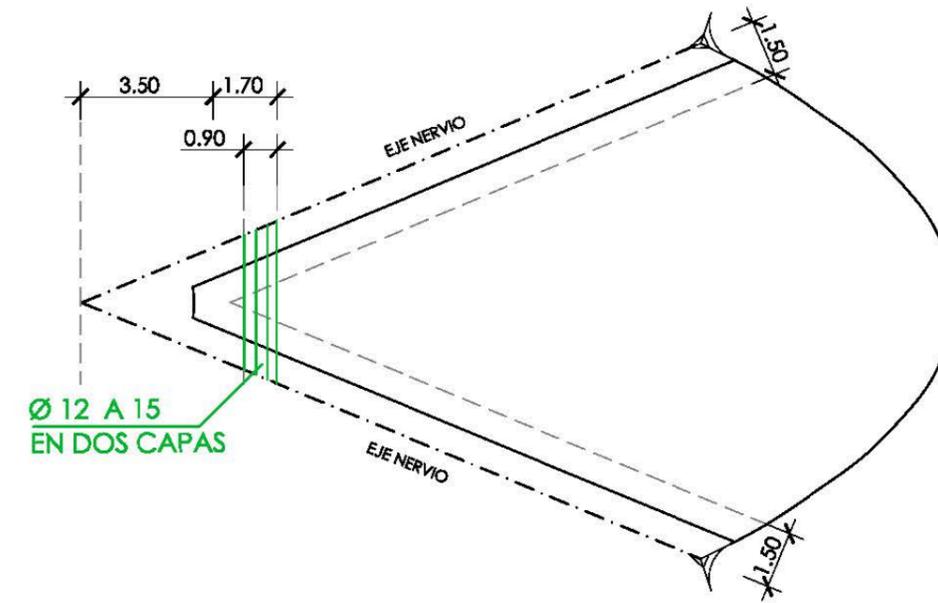
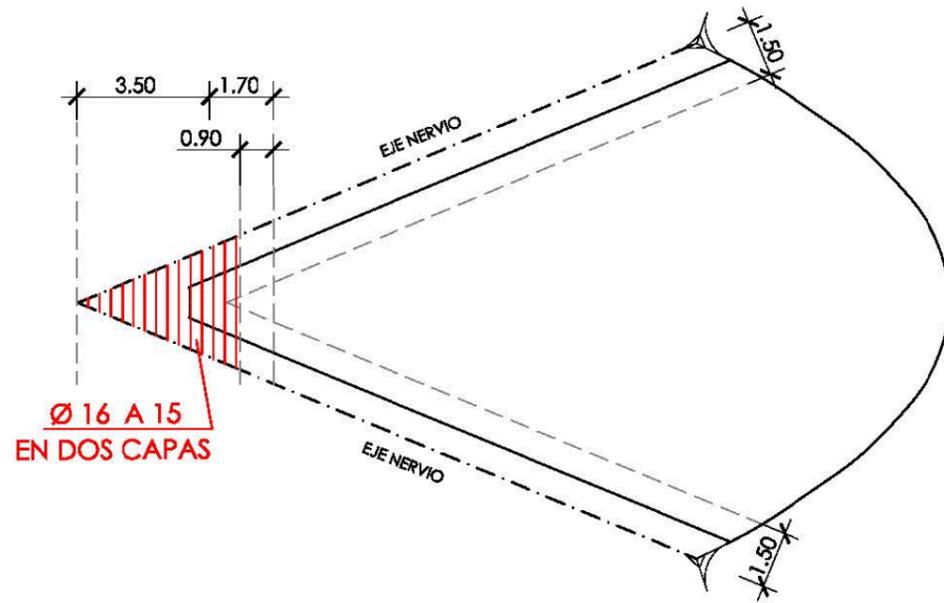




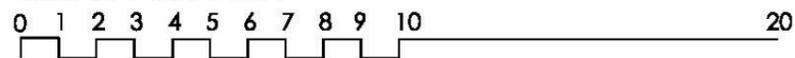


PROYECTO FINAL DE GRADO SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES			
ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE		PLANO DE ARMADO DE CUBIERTA 3	
PLANO 12	CURSO 2010-11	ESCALA EN METROS	ETSGE
			 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA





ESCALA GRAFICA



PROYECTO FINAL DE GRADO
SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES

ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE

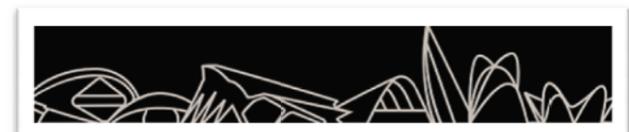
PLANO DE ARMADO DE CUBIERTA 4

PLANO 13

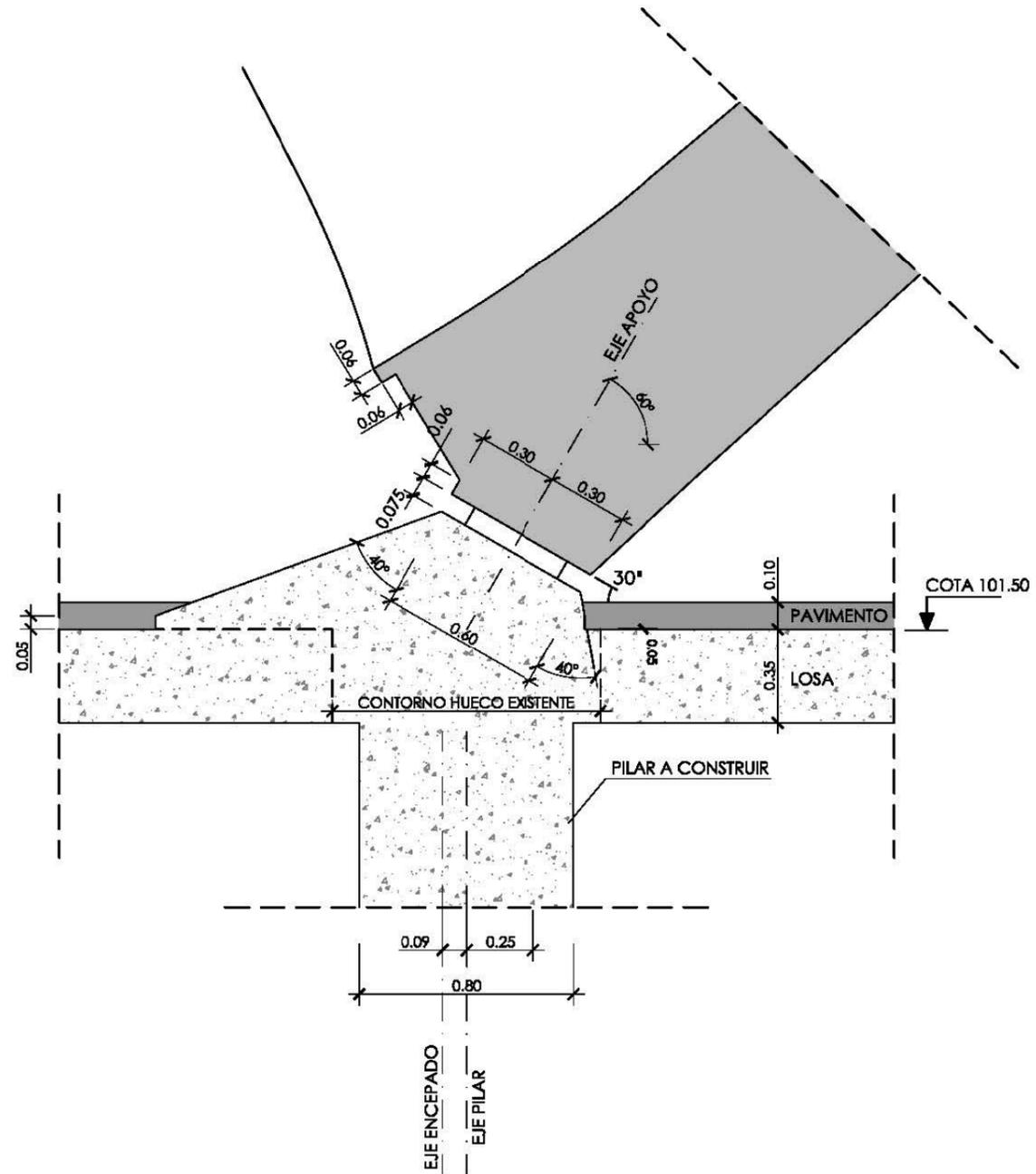
CURSO 2010-11

ESCALA EN METROS

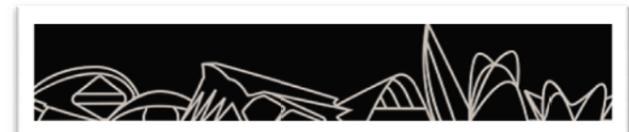
ETSGE



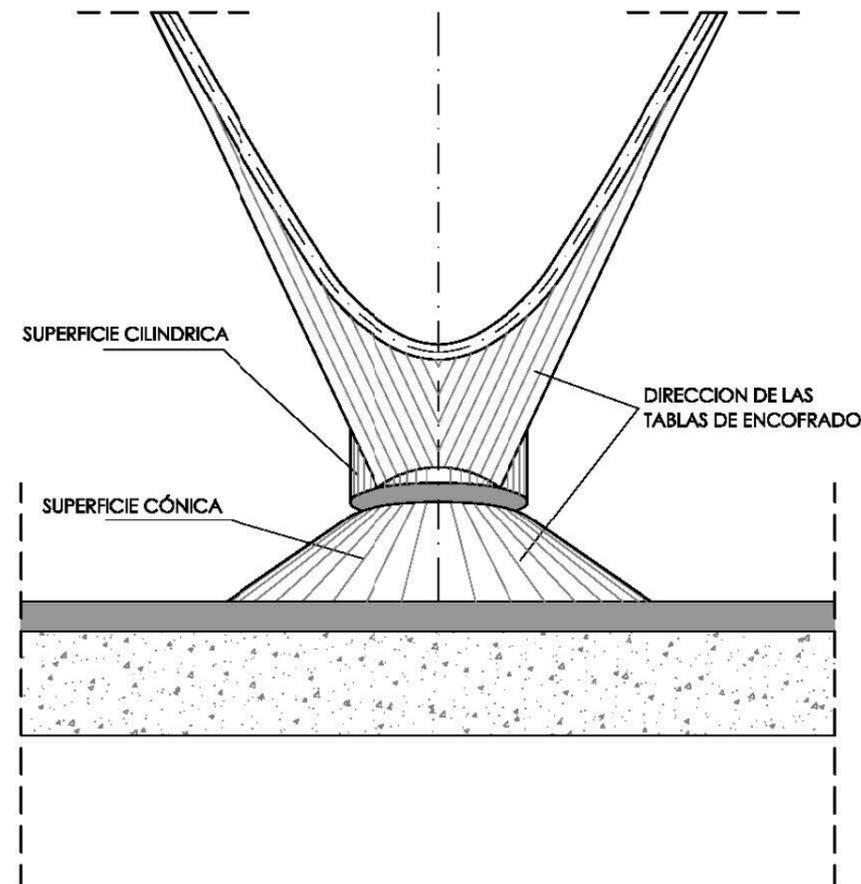
SECCION APOYO



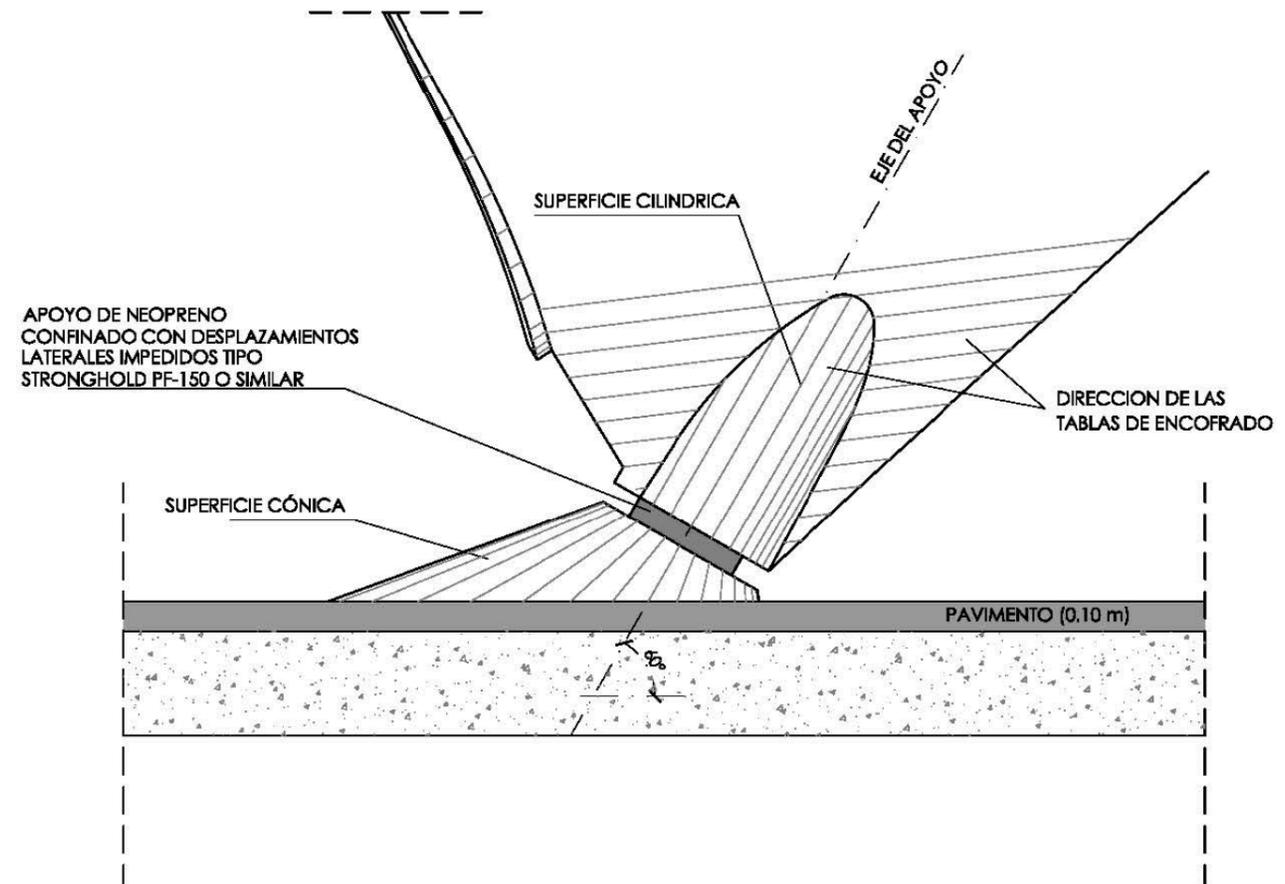
PROYECTO FINAL DE GRADO SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES			
ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE		PLANO DE DETALLE DE APOYO 1	
PLANO 14	CURSO 2010-11	ESCALA 1:20	ETSGE  UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA



ALZADO FRONTAL



ALZADO LATERAL



PROYECTO FINAL DE GRADO
SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES

ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE

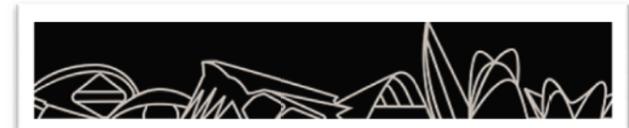
PLANO DE DETALLE DE APOYO 2

PLANO 15

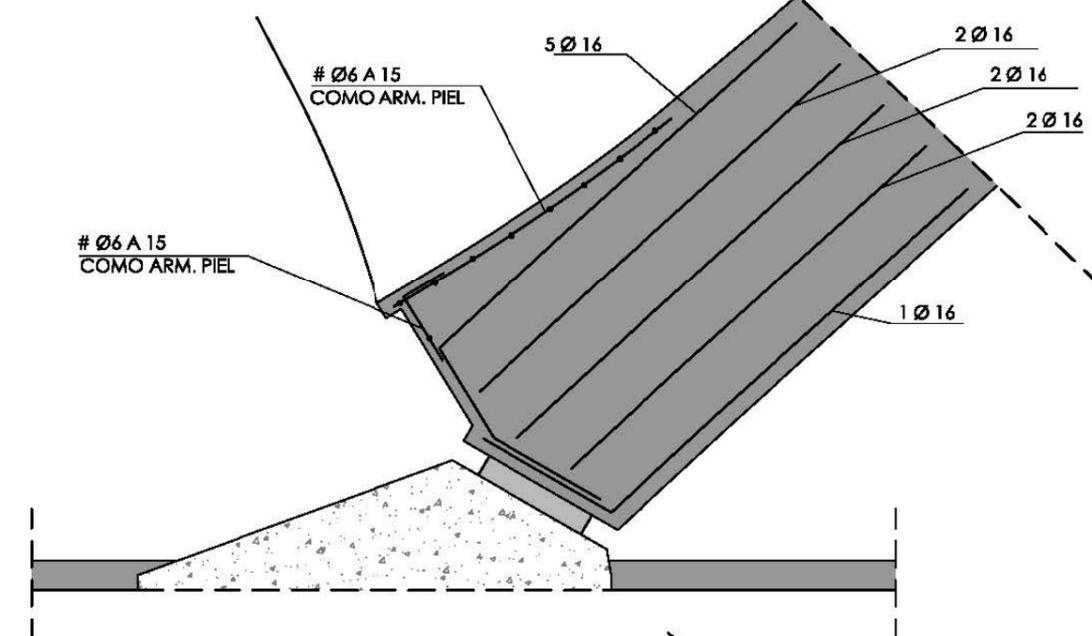
CURSO 2010-11

ESCALA 1:20

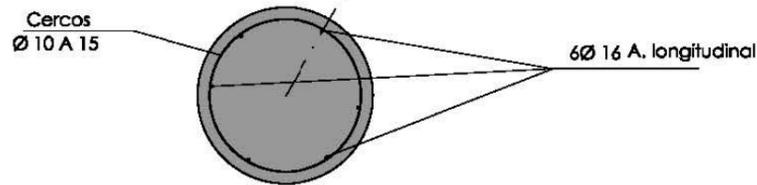
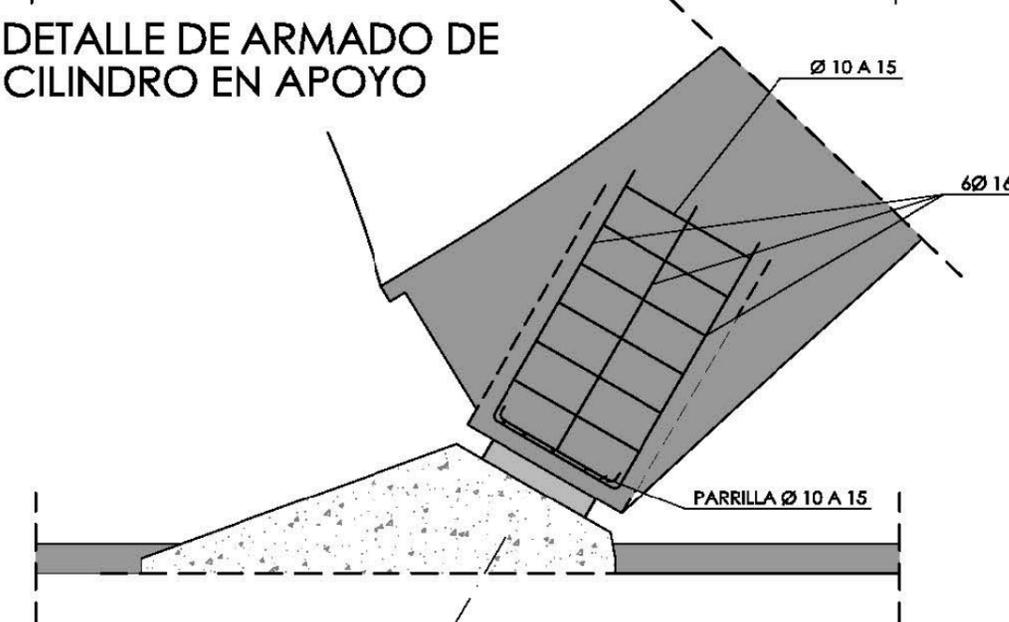
ETSGE



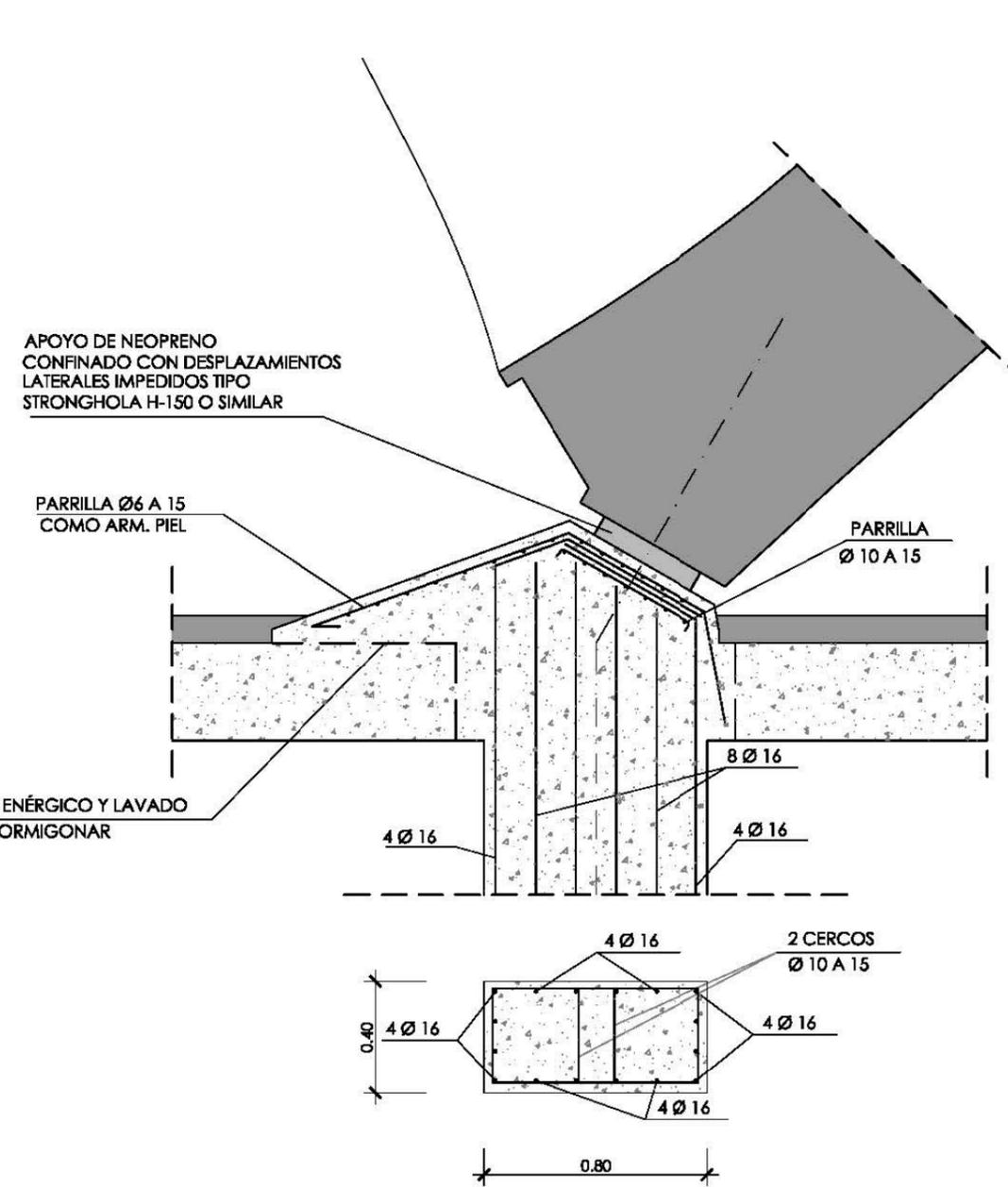
DETALLE DE ARMADO DE NERVIO EN APOYO



DETALLE DE ARMADO DE CILINDRO EN APOYO



DETALLE DE ARMADO DE PILAR Y MACIZO DE DE ASIENTO

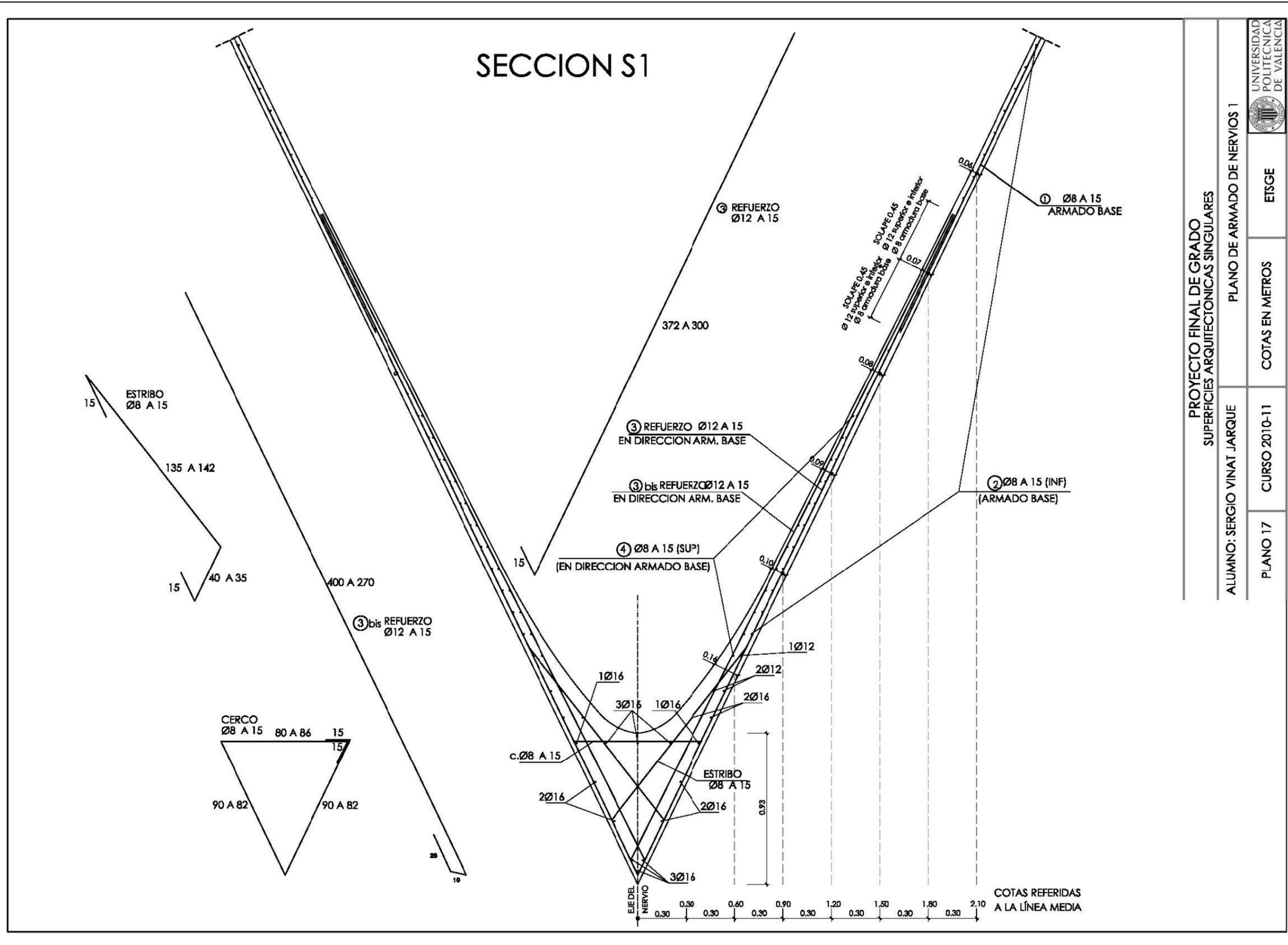


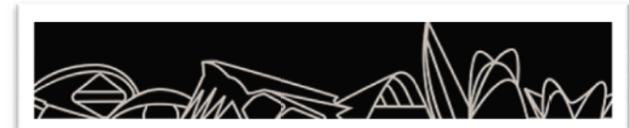
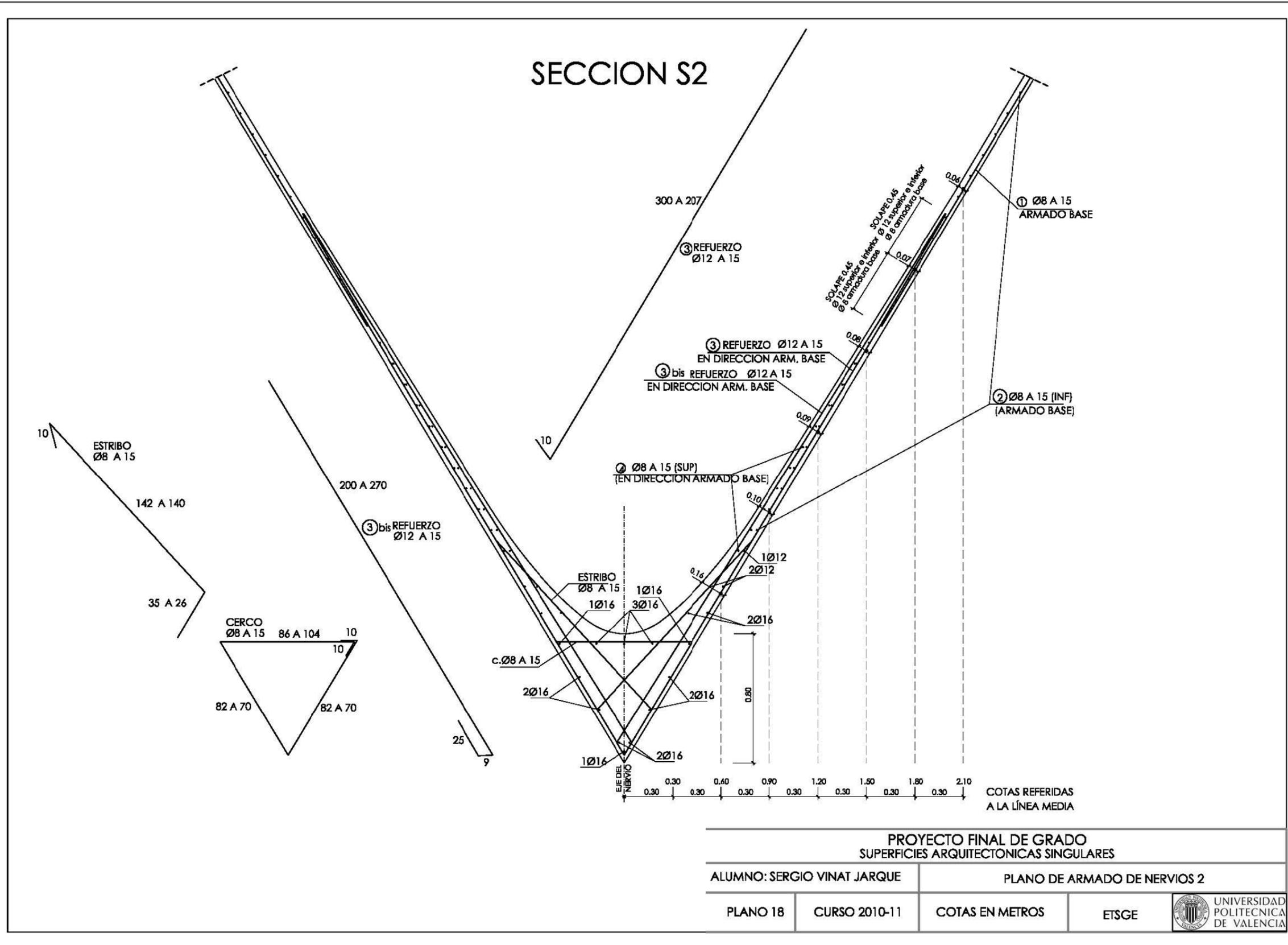
PROYECTO FINAL DE GRADO
SUPERFICIES ARQUITECTONICAS SINGULARES

ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE PLANO DE DETALLE DE APOYO 3

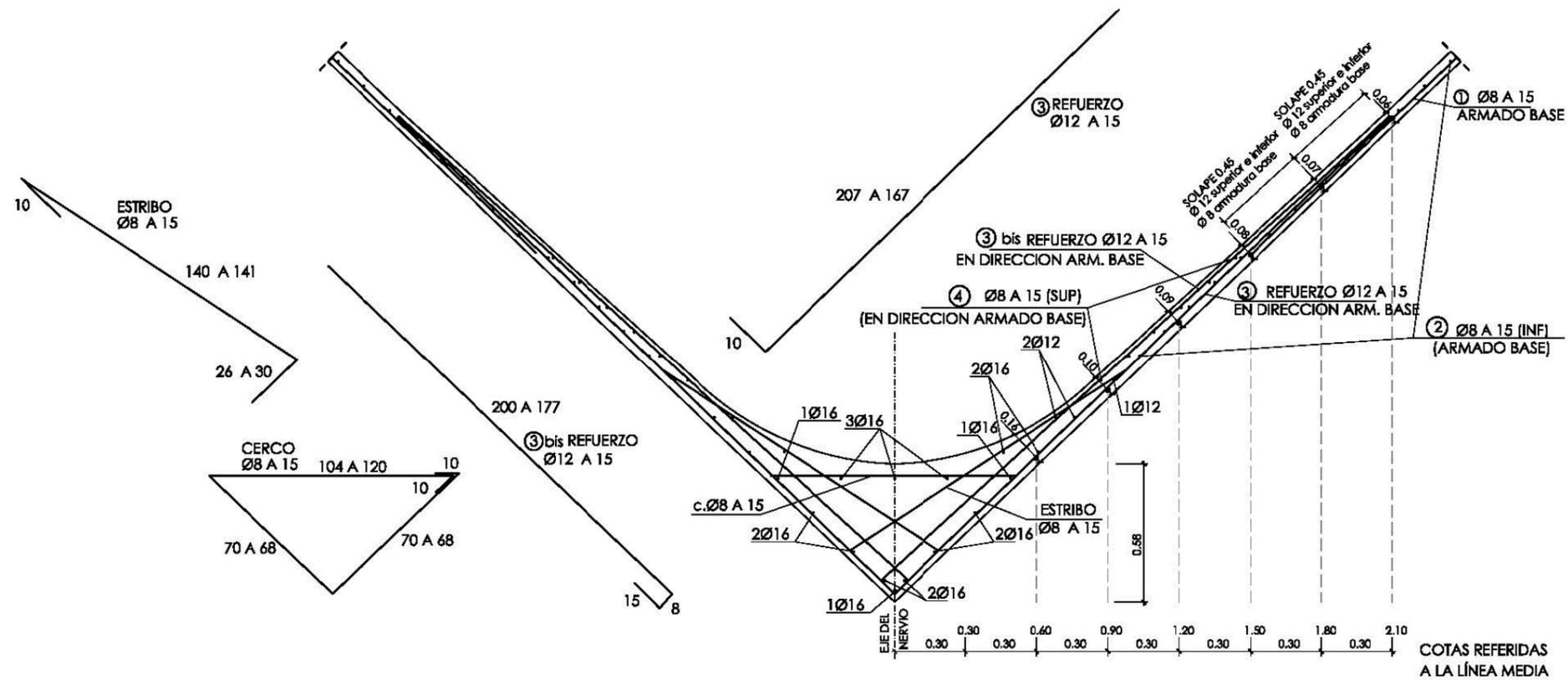
PLANO 16	CURSO 2010-11	ESCALA 1:20	ETSGE	
----------	---------------	-------------	-------	---





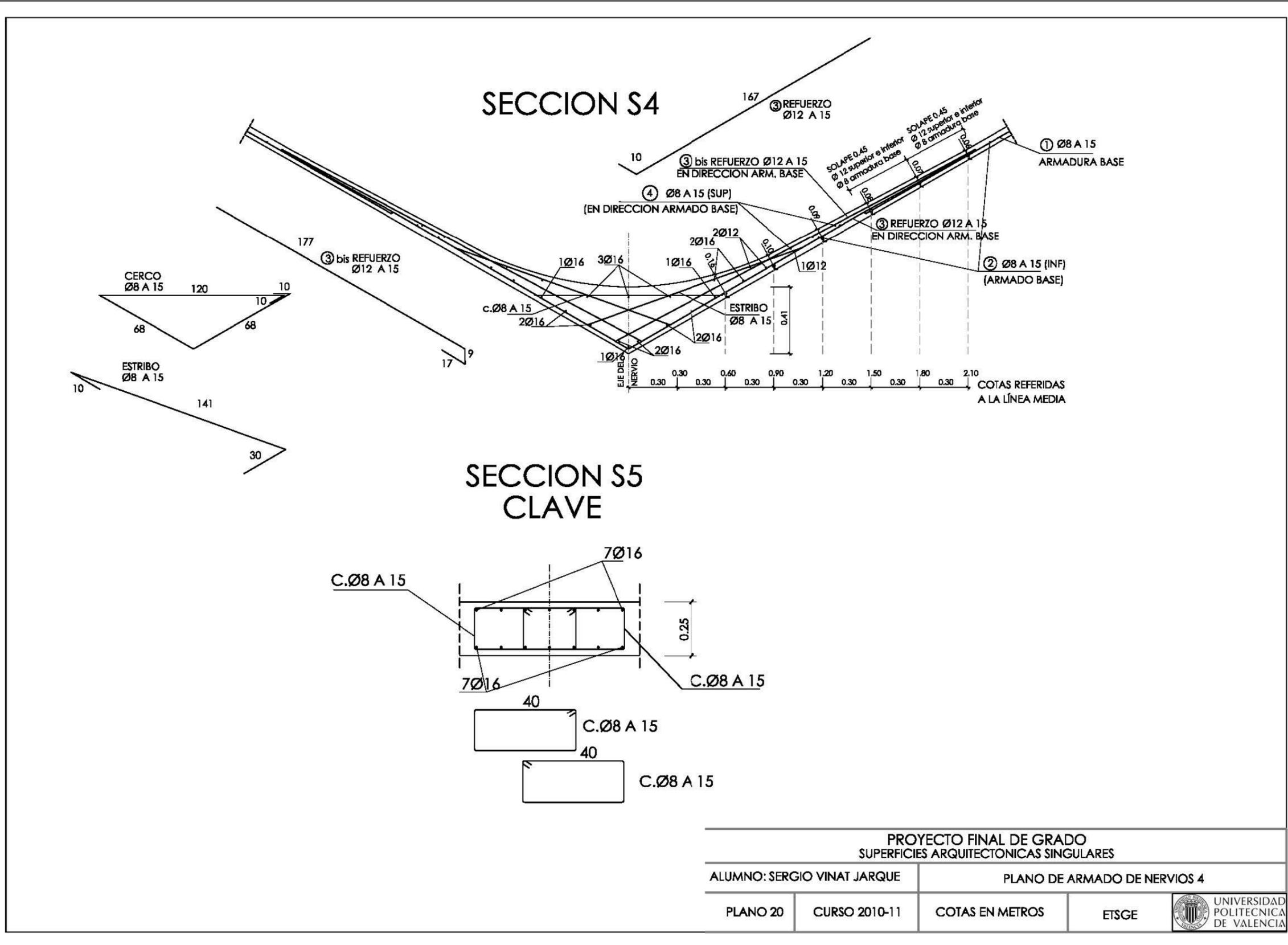


SECCION S3



PROYECTO FINAL DE GRADO SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES			
ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE		PLANO DE ARMADO DE NERVIOS 3	
PLANO 19	CURSO 2010-11	COTAS EN METROS	ETSGE
			 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

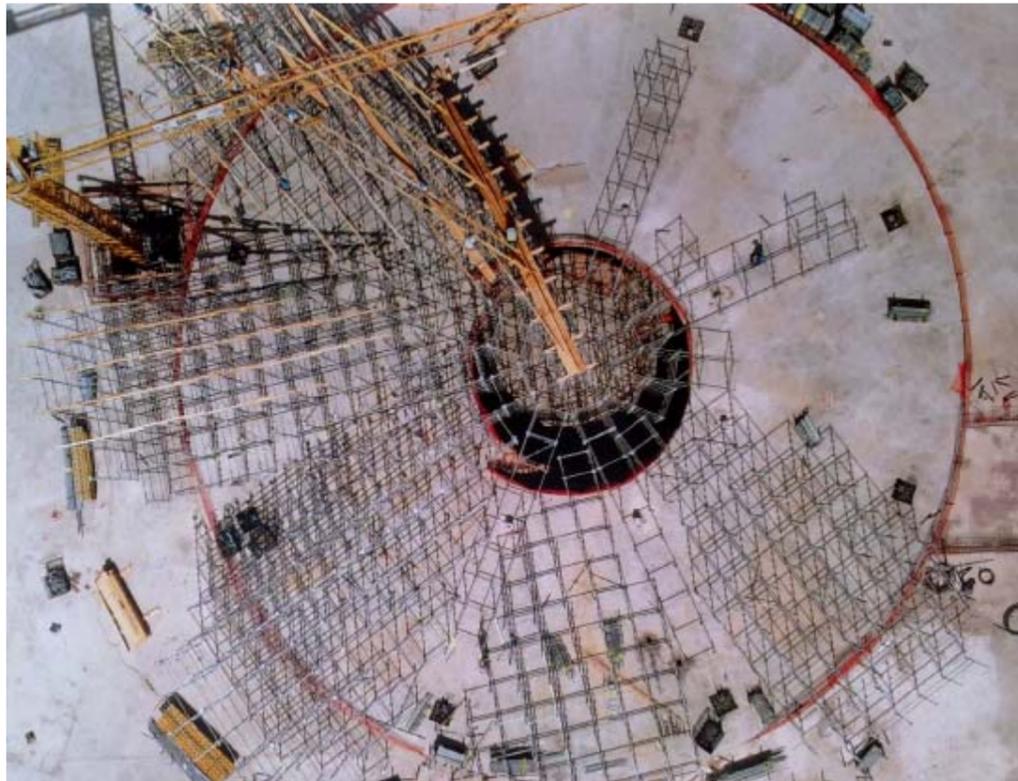




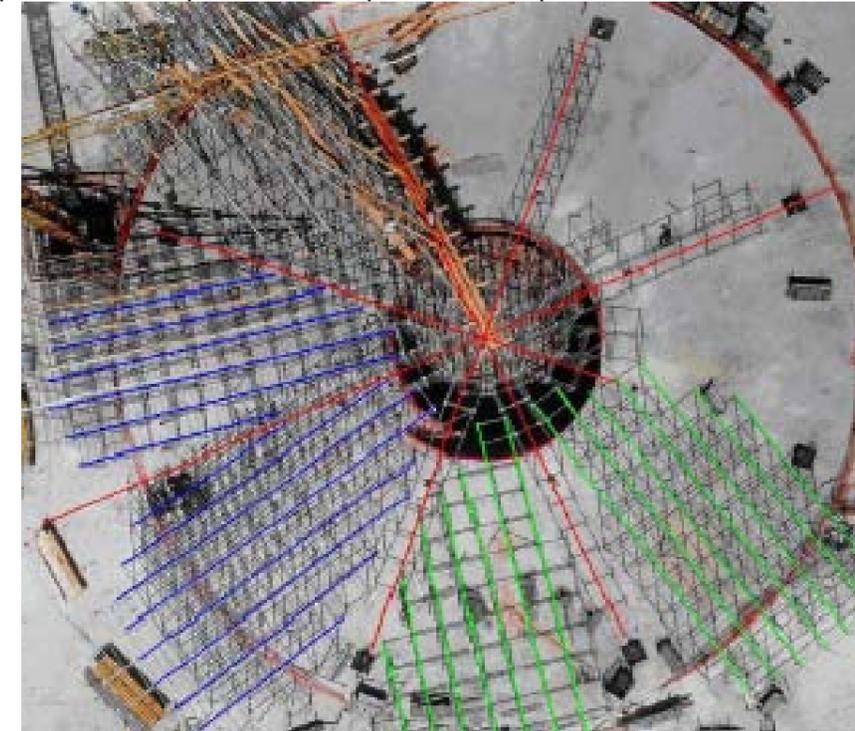
5.1. ANALISIS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO.

5.1.1. LA CIMBRA.

Para soportar el encofrado de madera de la lámina de hormigón armado con fibras se colocaron torres de cimbrado y vigas de madera en las direcciones de los ejes de los paraboloides. Las torres estaban formadas por módulos de estructuras tubulares de 1,5 x 1,5 x 1,5 m, acoplados y agrupados unos sobre otros para formar la estructura matriz de la cimbra y generando una estructura ortogonal tal y como se muestra en el plano nº 21. Cada torre termina con un sistema de husillos en su parte superior para asegurar y nivelar el encofrado. La elevación de cada husillo fue ajustada considerando las coordenadas de posición y la geometría de la lámina.

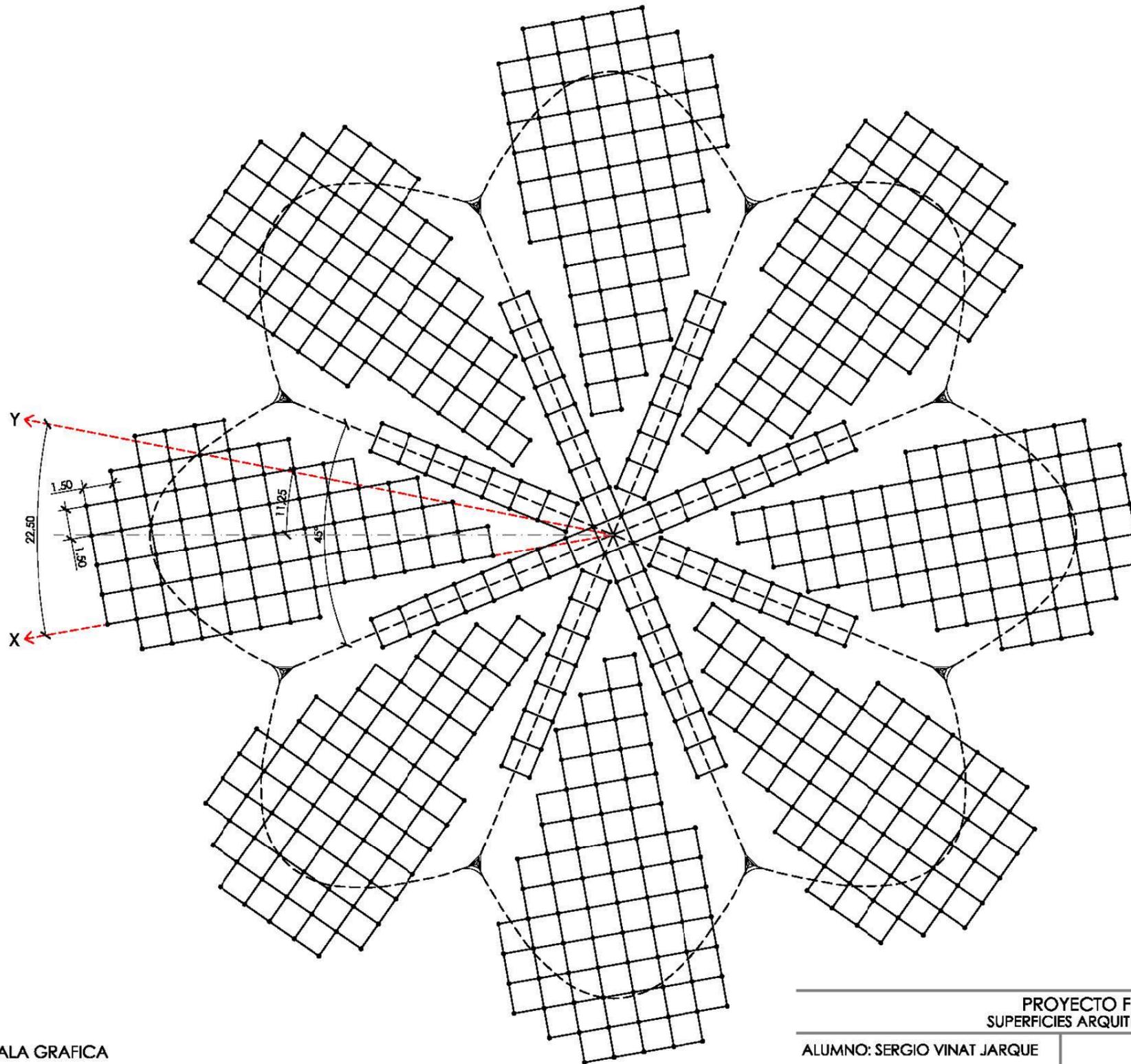


Las estructuras de los lóbulos contiguos son simétricas respecto al eje del nervio que los separa. De esta forma se consiguió que la dirección de las torres coincidiese con la dirección de las generatrices del paraboloide hiperbólico, lo que facilitó el proceso de construcción del encofrado.

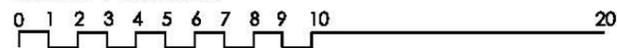


Las Torres fueron dispuestas en dos grupos:

- El primer grupo sostenía el encofrado de los nervios radiales y consistía en torres localizadas en círculos concéntricos bajo los nervios de la lámina. Este encofrado de los nervios fue el único elemento de la estructura portante que tiene forma curva, todos los demás elementos eran rectos.
- El segundo grupo sostenía el encofrado de los lóbulos de la lámina. Consistían en torres localizadas a lo largo del eje X o Y en lóbulos de paraboloides hiperbólicos alternos. Simétricos dos a dos con respecto a cada eje de nervio.



ESCALA GRAFICA



PROYECTO FINAL DE GRADO
SUPERFICIES ARQUITECTONICAS SINGULARES

ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE

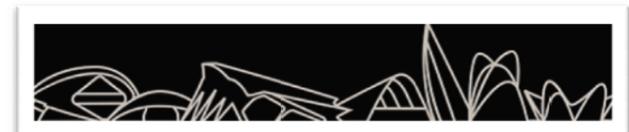
PLANO DE REPLANTEO DE CIMBRA 1

PLANO 21

CURSO 2010-11

ESCALA: 1/200

ETSGE



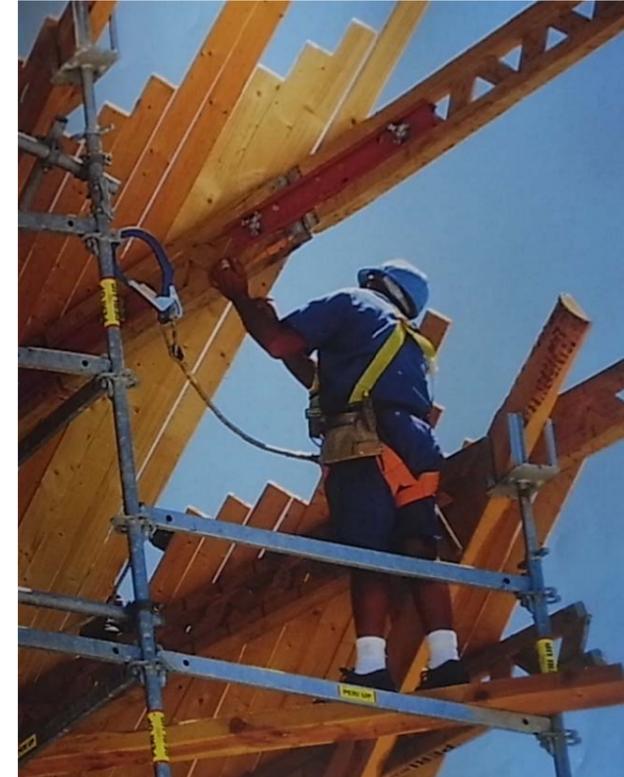
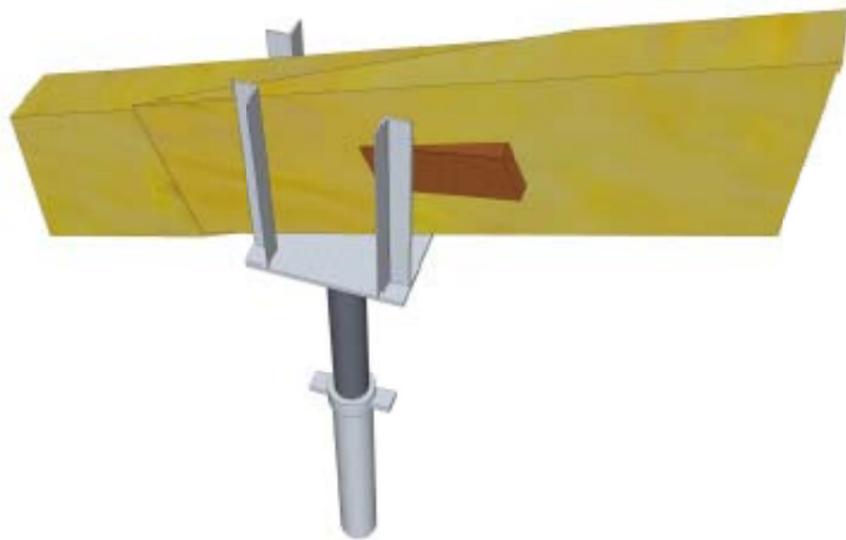
5.1.2. EL ENCOFRADO.

Según la información facilitada por el profesor D. Carlos Lázaro, el encofrado fue realizado con madera de pino. Su ejecución consistió en la creación de una superficie de madera colocada sobre dos familias de vigas de madera:

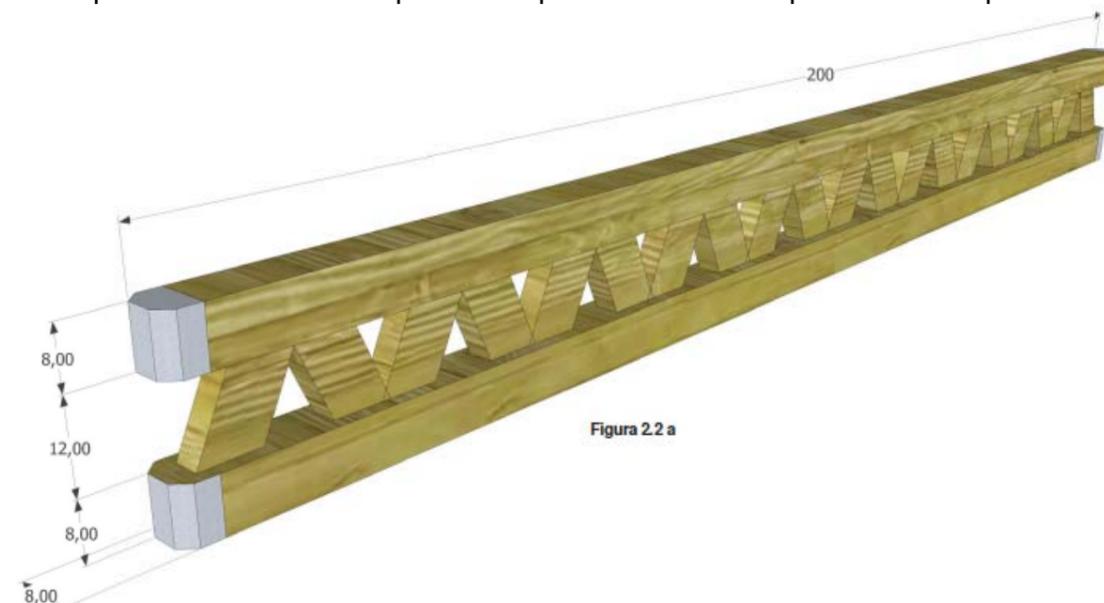
- La Primera familia de vigas se colocó siguiendo la dirección de las generatrices del paraboloides hiperbólico con respecto a al eje X (o Y en lóbulos alternos), es decir de forma paralela. Se ajustaron usando husillos en las torres de cimbrado.



Las vigas estaban apoyadas en 3 puntos como se muestra en el esquema y fijadas mediante cuñas de madera. Estas tablas eran de 4m de longitud por 20 cm de canto y 8cm de espesor.



- La segunda familia estaba formada por vigas de madera en celosía, colocadas sobre las anteriores siguiendo la dirección opuesta a las primeras y según el eje Y (o X) en lóbulos alternos. Sus dimensiones eran de 2m por 8 cm de espesor y 20 cm de canto, tal y como se muestra en la figura 2.2.a. Estas piezas estaban rematadas en su parte exterior por chapas metálicas que tenían una función protectora para evitar roturas por exceso de presión.



Para la colocación de todas las vigas de madera se necesitaron un mes y medio.

El apoyo de las dos familias de vigas se hacía mediante cuñas de madera fijadas a ambos elementos mediante clavos.



La forma de unir las vigas de celosía era mediante pletinas con forma de perfil UPN 120 y unidas mediante tornillería especial como se muestra en la figura 2.2.b.

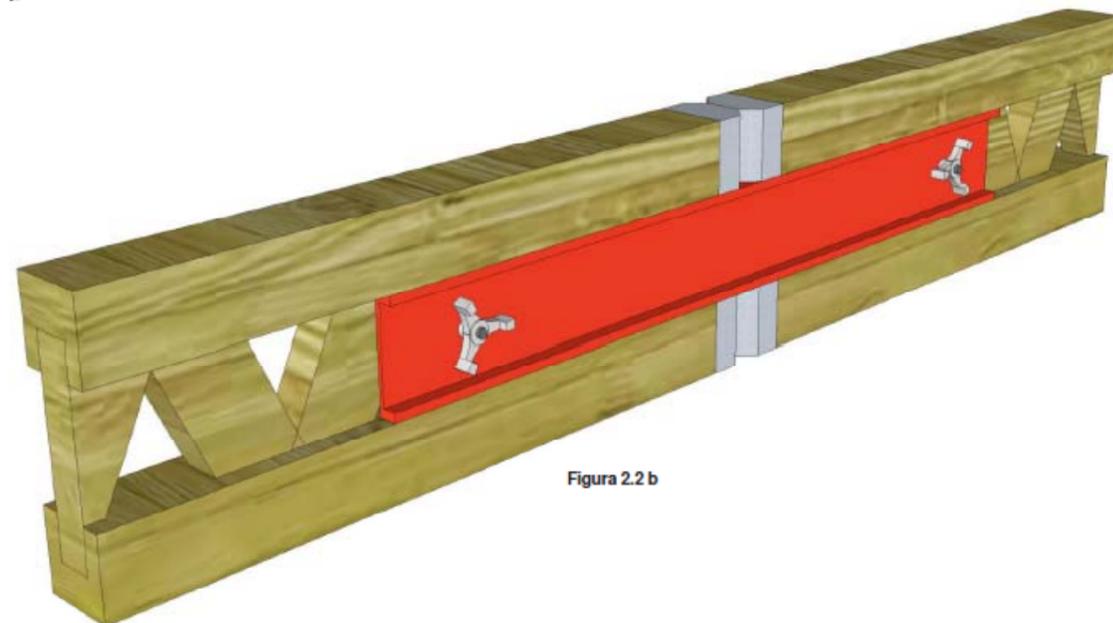


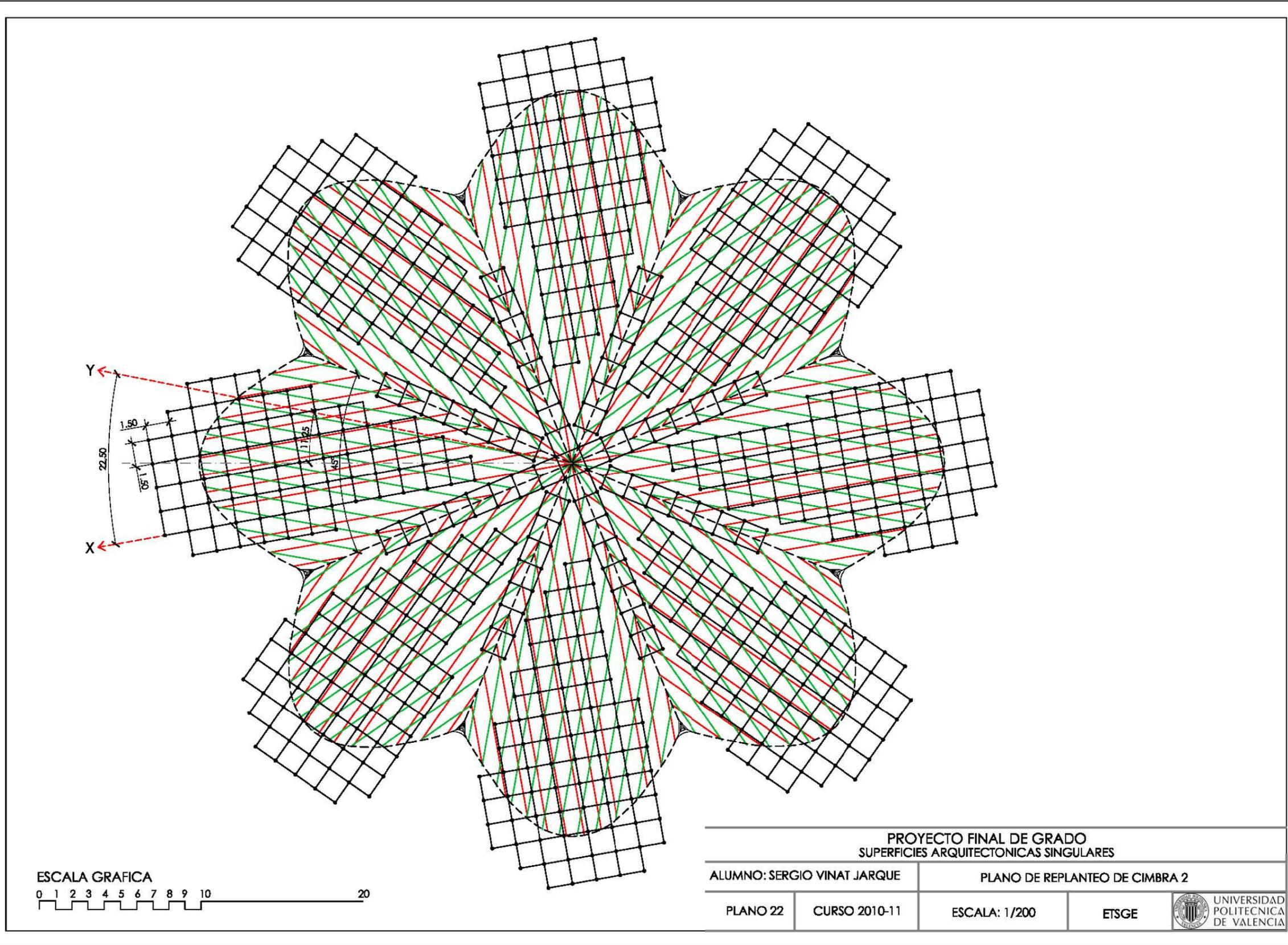
Figura 2.2 b

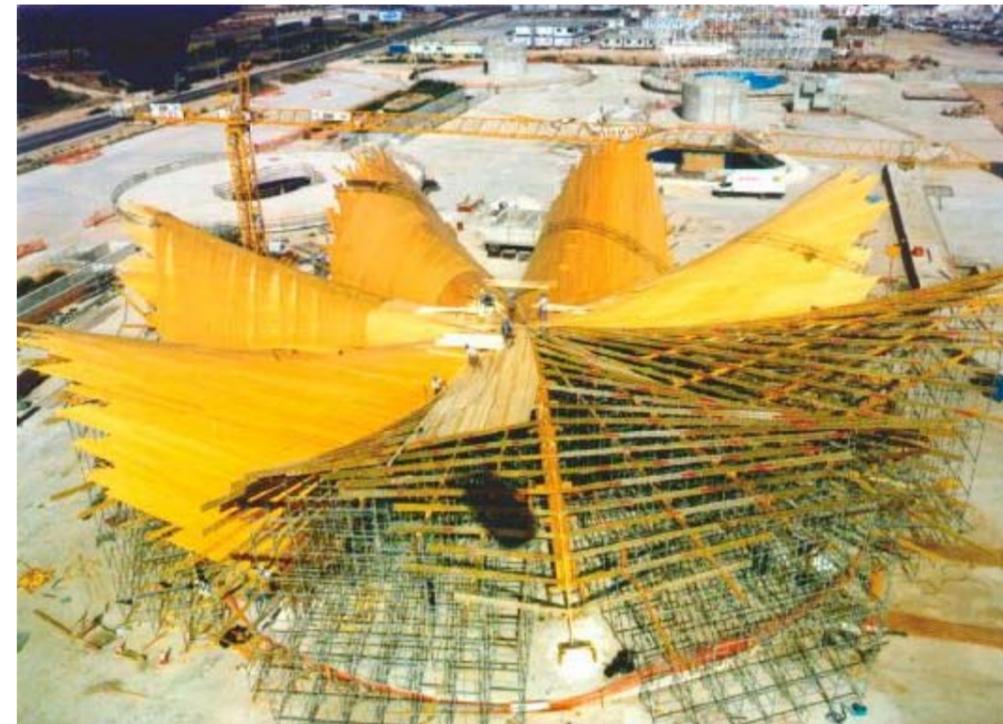
El replanteo de las generatrices se hizo vía topográfica, de forma muy sencilla como se muestra en el plano 22. Ya que dichas tablas siguen las direcciones de las generatrices rectas. Una tabla y su simétrica, correspondiente al lóbulo contiguo, coinciden en el mismo punto del eje del nervio, lo que hace muy cómodo el replanteo y la construcción del encofrado. Para darle la forma al nervio en el intradós de la lámina se colocaron tabloncillos anchos de madera en forma de parábola, y sobre estos un tablón entre las vigas de celosía, siendo el resultado final el de la fotografía de la derecha.



El único problema fue que al usar tablas de madera rectangulares para rematar el encofrado, se produjo una acumulación de desfases debido al espesor de estas. Estos desfases hicieron que se tuviese que replantear una nueva generatriz más alejada y reajustar el encofrado, y esta es la razón de que aparezcan huecos entre las maderas durante la fase de construcción y cambios de dirección de las maderas que se observan en la superficie final hormigonada.



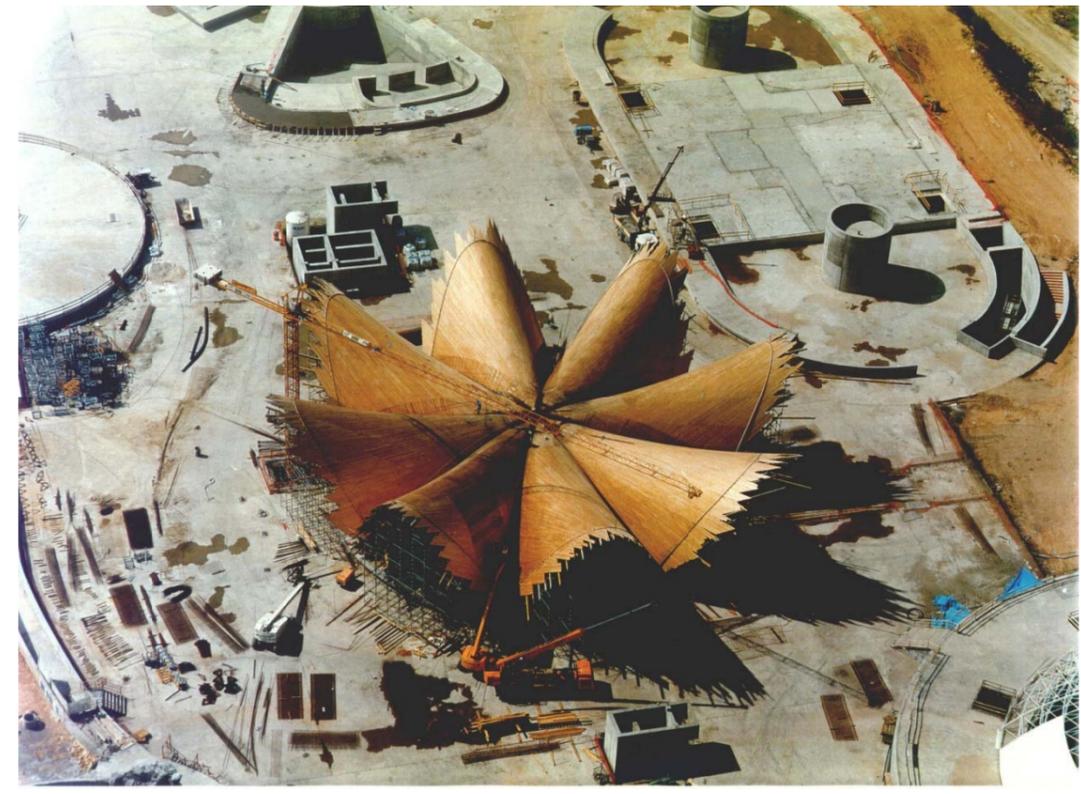




La superficie final del encofrado se resolvió con tablonés de madera de pino de dimensiones de 2m de longitud y 8,5cm de anchura. Su colocación comenzó el 19 de Junio del 2000, comenzando desde la parte más alta del eje hacia el nervio y realizando dos lóbulos contiguos al mismo tiempo, tal y como se muestra en la fotografía. La longitud de las tablas de madera variaba debido a que las vigas de madera se cruzaban en el espacio y los encofradores las iban cortando a medida in situ, ajustando su dimensión a pie de obra. Es decir, la dimensión de los tablonés vino definida por los puntos de corte de las líneas generatrices, y de este modo donde acababa un tablón comenzaba el contiguo.

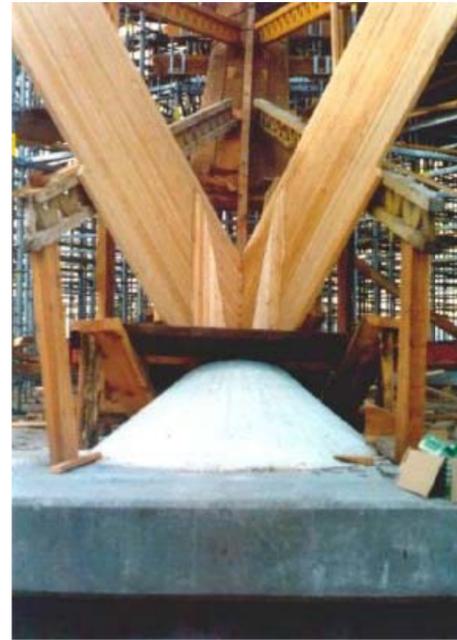
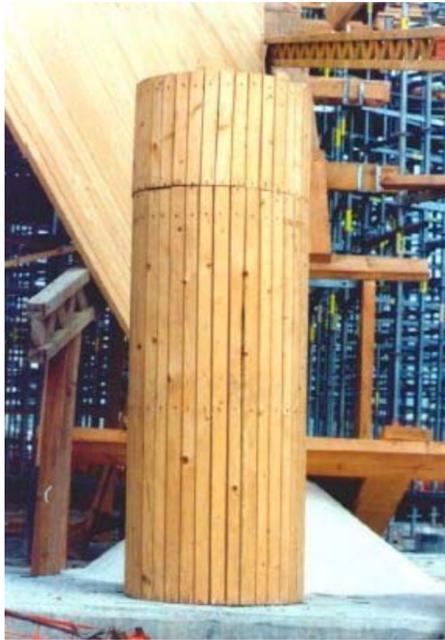


Para realizar el encofrado completo de los dos primeros lóbulos se emplearon 15 días, y después este rendimiento fue mejorándose, completando el encofrado en su totalidad en un mes y medio. La madera se protegió utilizando esteras humedecidas con aspersores de agua.



5.1.3. EL ENCOFRADO DE LOS APOYOS.

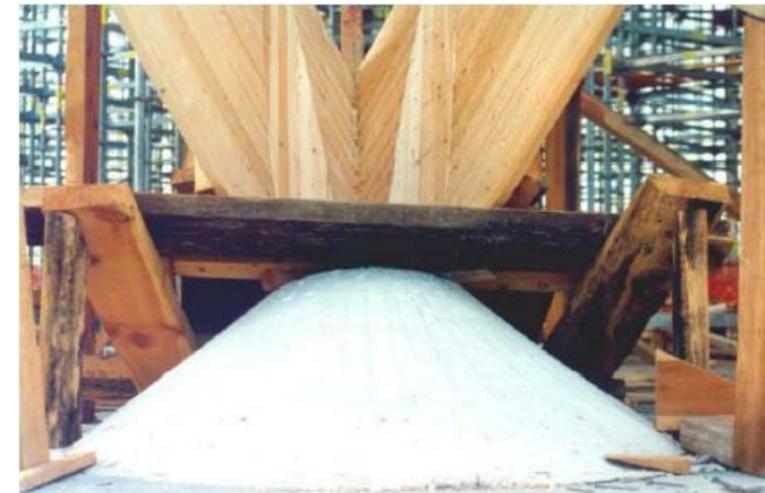
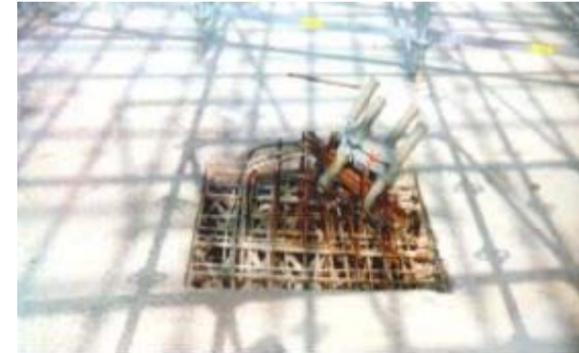
El punto de encuentro del encofrado de lóbulos y nervios con el apoyo fue resuelto con la construcción de un encofrado in situ, ya que la superficie resultante proviene de las intersecciones de los paraboloides contiguos con un cilindro.

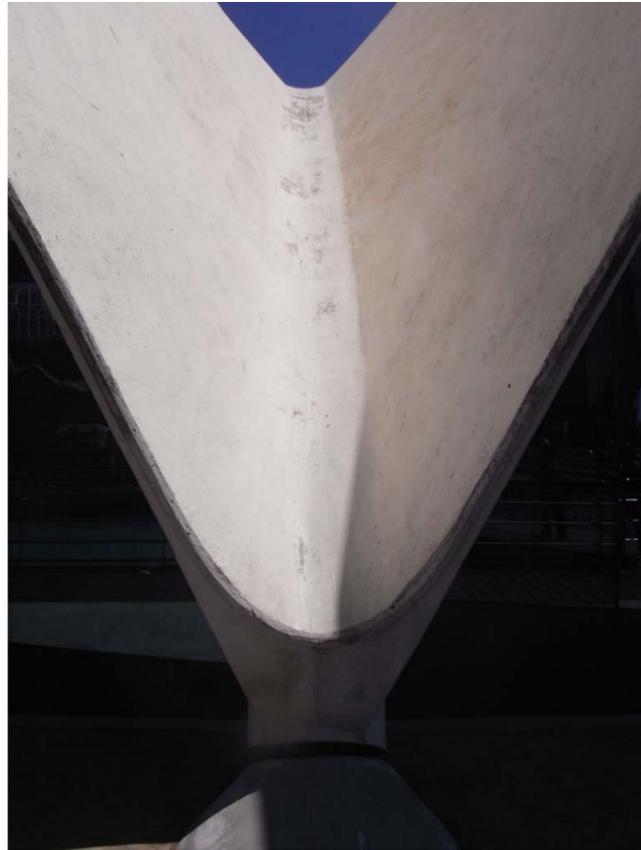


El encofrado completo del cilindro fue ejecutado en una primera fase, colocándolo, posteriormente, sobre el cimbrado. Al mismo tiempo, la madera del cilindro y del encofrado fueron recortados para encajar sin problemas. Después de finalizar uno de los dos primeros lóbulos, se realizó una plantilla para construir el resto de uniones entre el encofrado y el apoyo.



La estructura está apoyada en 8 puntos. Cada punto fue considerado en el modelo de elementos finitos como una articulación, con restricciones de desplazamiento en todas las direcciones laterales y permitiendo la rotación libre. Esta articulación fue ejecutada usando un apoyo elastomérico tipo "Stronghold H-150", fijándolo sobre una base de hormigón de pendiente tronco cónica.



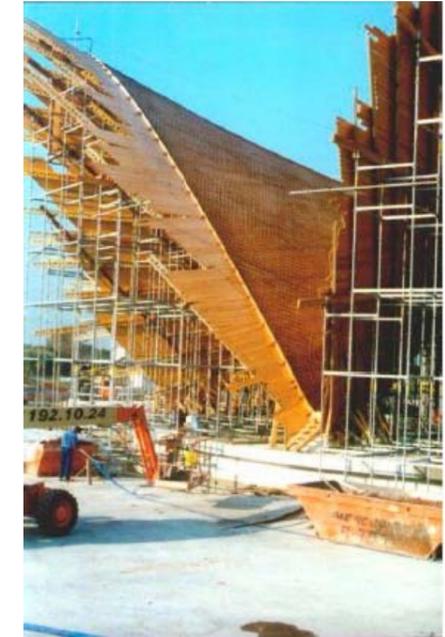


5.1.4. EL ARMADO DE LA CUBIERTA.

En Agosto del 2000 se empezó la colocación del armado. La armadura principal de los nervios se realizó a pie de obra, elevándolo y colocándolo en cada nervio posteriormente, alcanzándose un rendimiento de una semana por nervio. El proceso de instalación y colocación de nervios fue de uno a uno. Además se colocaron refuerzos en los nervios mediante armadura de montaje para reforzarlos durante el proceso de izado y colocación.



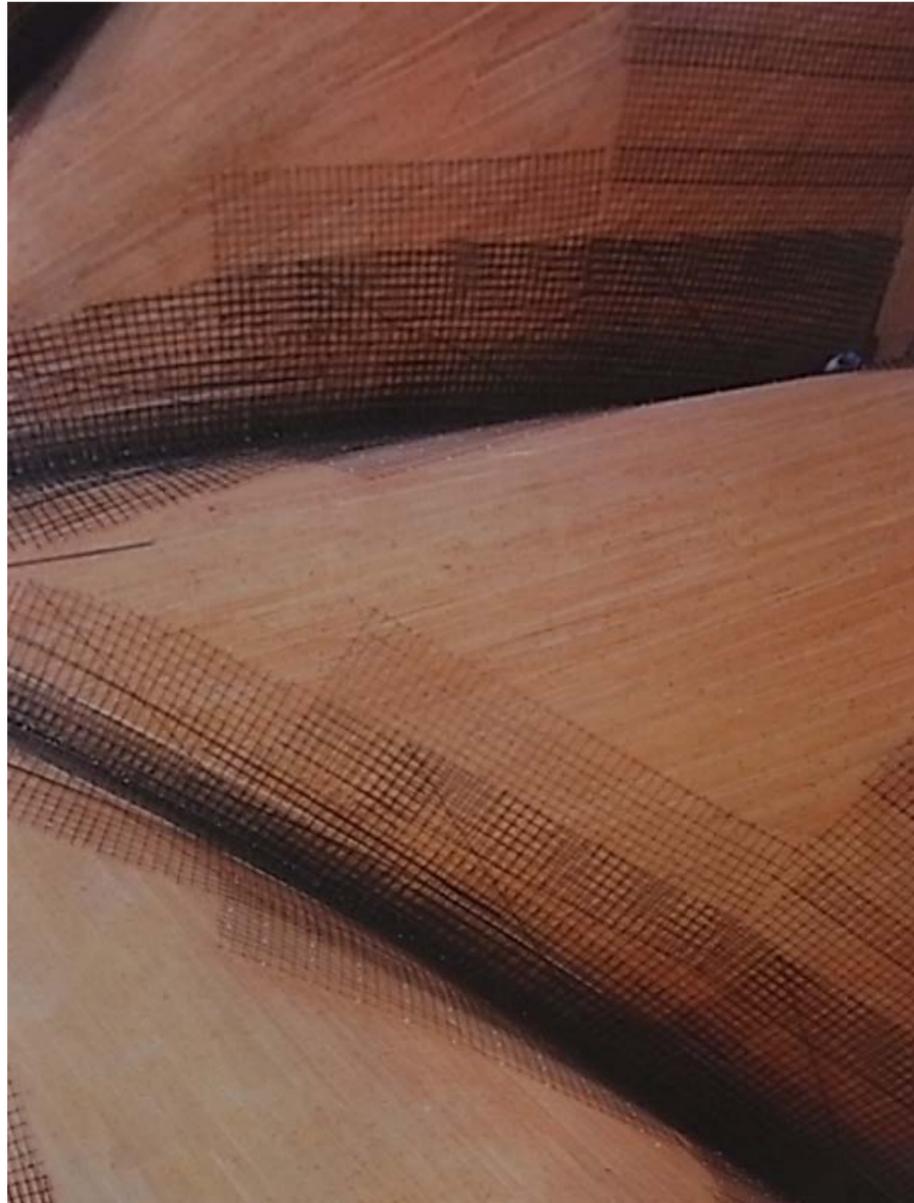
Los lóbulos se armaron con malla de 15 x 15 cm realizada con barras de diámetro 8 mm electrosoldadas.



En los encuentros de los lóbulos con los nervios y el de los lóbulos con la clave se aumentó la cuantía de armado, pero el resto de la lámina tan solo se armó con la malla anteriormente definida.



El montaje de la armadura de toda la lámina se realizó aproximadamente en un mes. Durante el montaje se produjo un error en la colocación de la malla, teniendo que desmontarla y volverla a colocar. Se tardó nuevamente 15 días en montar nuevamente toda la malla y los refuerzos, lo cual se tradujo en una mejora del rendimiento debido a la experiencia adquirida en el primer montaje de la misma.



5.1.5. EL PROCESO DE HORMIGONADO.

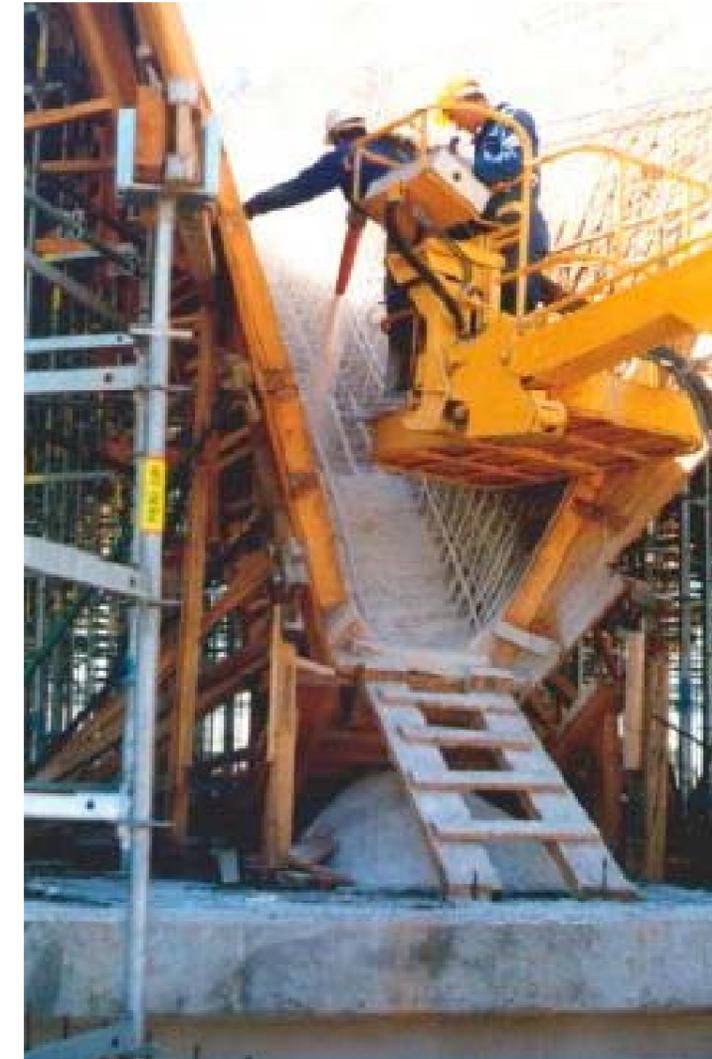
La puesta en obra del hormigón comenzó en Septiembre del 2000. El proceso fue llevado a cabo por proyección de hormigón por vía seca, y la empresa encargada de realizarla fue Hormigones proyectados S.L. La maquinaria, herramientas y materiales (cemento, fibras, áridos y aditivos) fueron preparados a pie de obra. La puesta en obra se llevo a cabo mediante cesta colgada de la grúa torre y mediante máquina elevadora tipo Manitu.

El proceso a seguir fue el siguiente:

Primero se hormigonó la clave de la cubierta para lograr una junta uniforme en dicha zona. Recordar que la clave surge como solución al problema que se encuentran en la zona superior de la lámina para poder cruzar la armadura de los ocho nervios y respetar los recubrimientos mínimos. Su espesor final fue de 25cm. La clave se encofró con maderas tal y como se muestra en la figura y se protegieron los lóbulos y los nervios con plásticos.



Una vez hormigonada la clave se procedió al hormigonado de los nervios. Se utilizaban plásticos para proteger las calles o fajas de los lóbulos e impedir que cayesen en esas zonas partículas de la proyección vía seca del HRFA.



Una vez hormigonados los nervios se procedió al hormigonado de los lóbulos. Estos se realizaron dividiendo cada lóbulo en partes o calles (o fajas), para que las juntas de hormigonado coincidiesen con las generatrices. Se colocaron maestras sobre el armado con la forma de la curva de cada calle o faja para poder hormigonar a nivel y tener el espesor de 6cms. Decir que las juntas que más se ven son entre el nervio-lóbulo. Las calle ejecutada se protegía con plásticos cuando se ejecutaba la calle superior, para impedir que la caída de partículas. De este modo se realizaron por fases cada uno de los lóbulos de la lámina.



Fueron necesarias 75 horas seguidas de forma ininterrumpida para terminar el primer lóbulo. La experiencia adquirida en el hormigonado del primer lóbulo hizo mejorar sustancialmente el proceso de hormigonado del resto de lóbulos. El proceso de hormigonado concluyó dotando de forma cóncava a los nervios de la cubierta, de este modo el hormigonado finalizó de forma completa el 19/11/2000.

El porcentaje de rechazo en la proyección de hormigonado fue alrededor del 15% en las zonas bajas de la cubierta, reduciéndose a medida que iban ejecutándose las calles hacia arriba, llegando a ser prácticamente nulo en el eje superior de los lóbulos.





Se colocaron aspersores sobre la lámina hormigonada para realizar el curado.

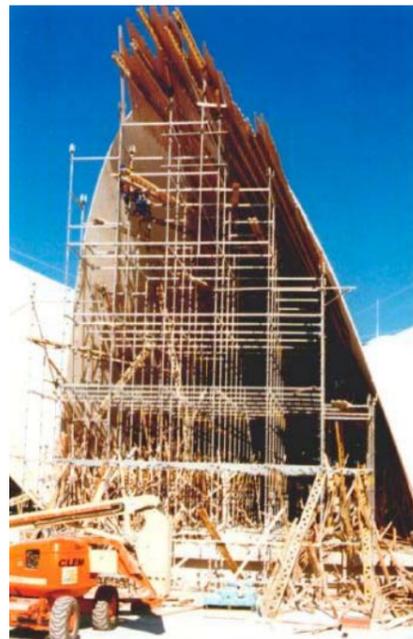


5.1.6. EL PROCESO DE DESENCOFRADO.

Según la información facilitada por el profesor D. Carlos Lázaro, el descimbrado y desencofrado de la cubierta se realizó siguiendo un esquema estudiado para proceder con las comprobaciones oportunas de descenso de la lámina en puntos prefijados, tal y como se muestra en el plano 25.

El orden de desencofrado fue el siguiente:

1. Se procedió al descimbrado de los lóbulos, dejando apeados los nervios de la estructura, de la siguiente forma: Se hacía un lóbulo y después su opuesto. Lo que se pretendía con esto es que no entrase en carga un nervio y su opuesto no, es decir, si se hubiesen descimbrado un lóbulo y su adyacente, el nervio entre ambos hubiese entrado en carga, y su opuesto no. Para evitar la asimetría se descimbraron los lóbulos con sus opuestos inmediatamente después, tal y como se muestra en el plano 23.

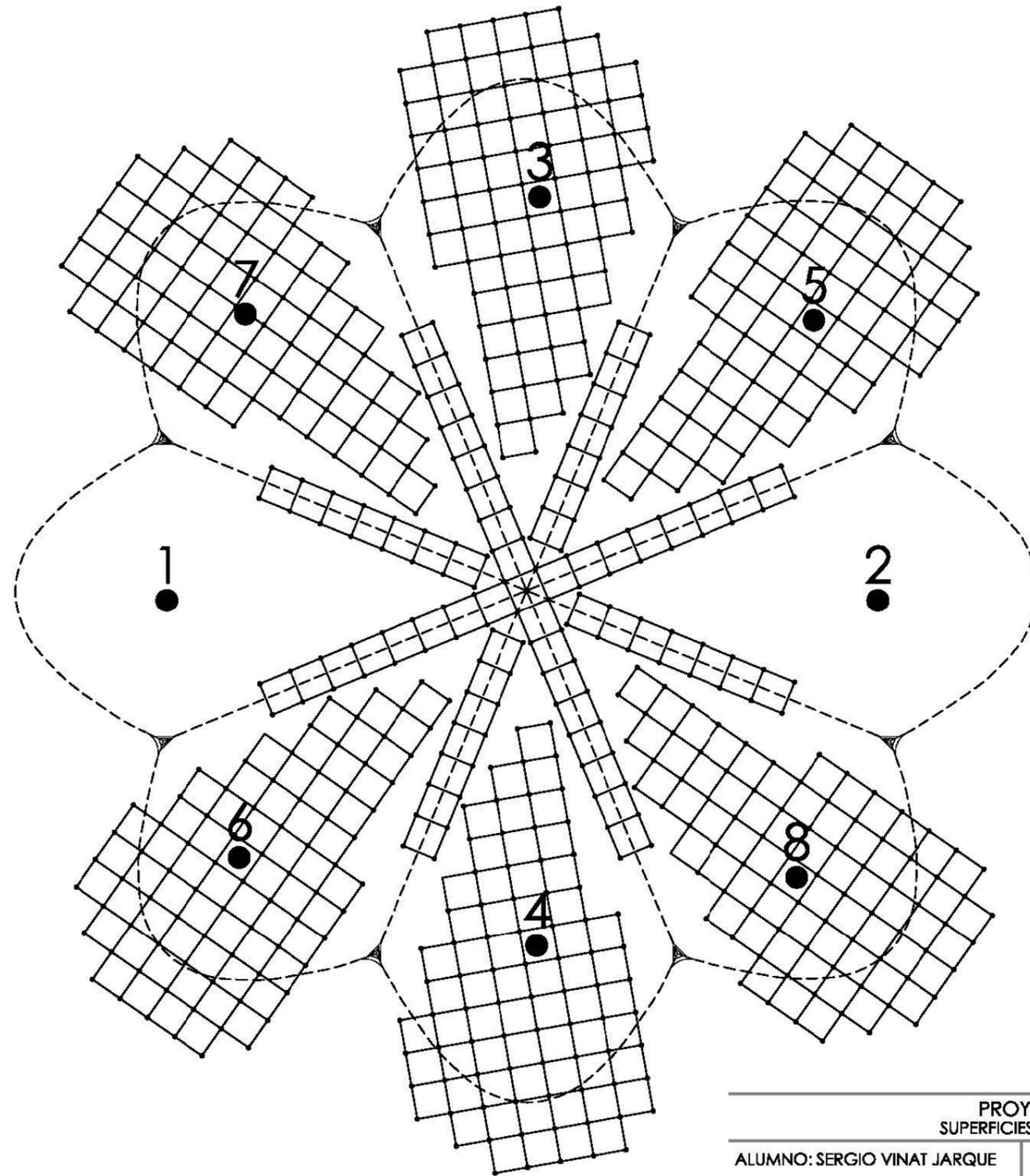


De esta forma se descimbraron los lóbulos, obteniendo las deformaciones de los puntos representados en el plano 25. Estas deformaciones fueron prácticamente nulas.

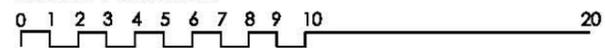
2. Se procedió con el descimbrado de los nervios desde el centro de la lámina hacia el exterior, tal y como se muestra en el plano 24, y las deformaciones obtenidas en los puntos representados en el plano 25 fueron prácticamente nulas, al igual que las deformaciones obtenidas en los lóbulos. Estas deformaciones nulas coincidieron con los resultados obtenidos en el modelo numérico usado en el cálculo de la estructura.







ESCALA GRAFICA



PROYECTO FINAL DE GRADO
SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES

ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE

PLANO DE DESCIMBRADO DE LOBULOS 1

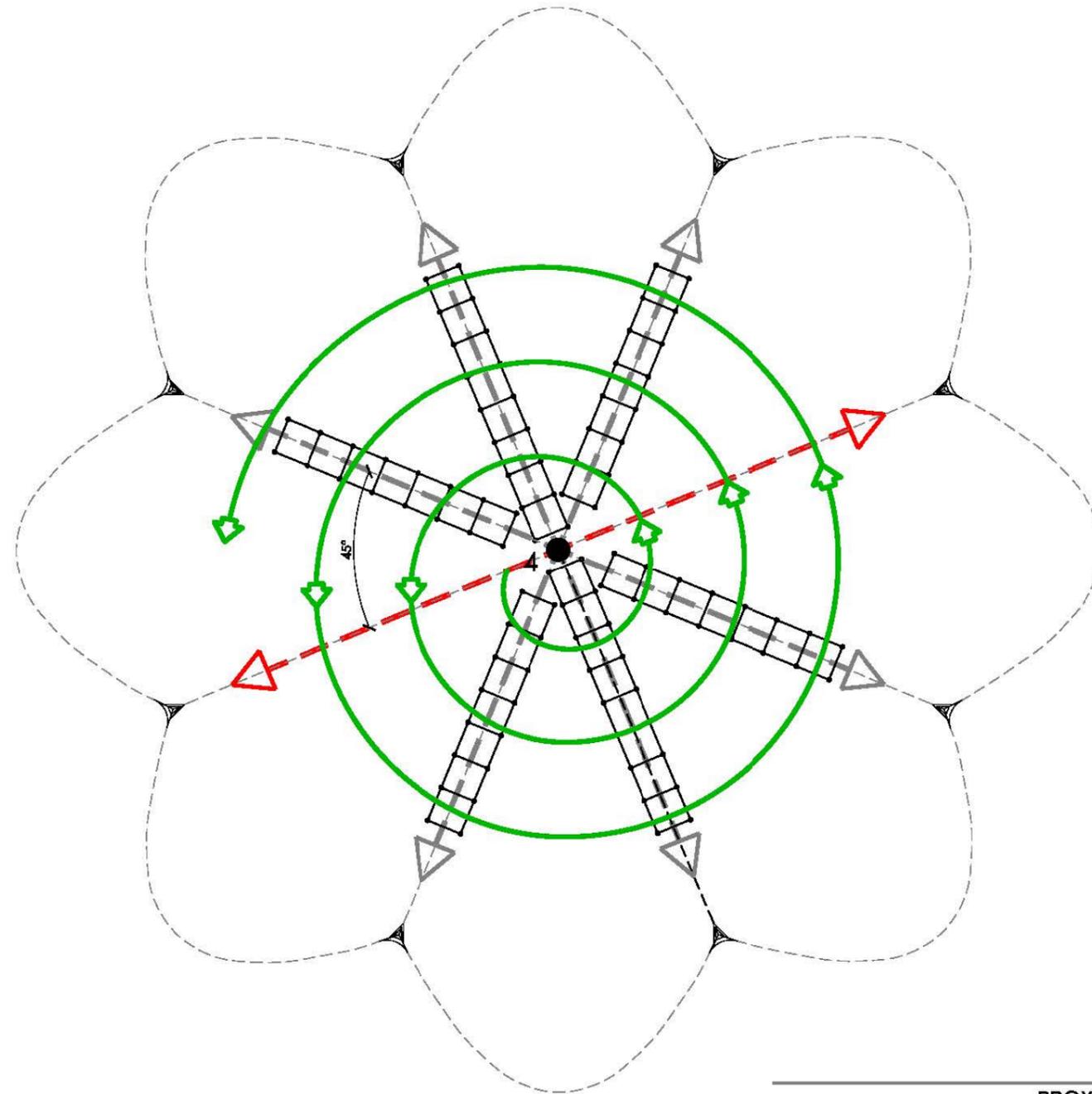
PLANO 23

CURSO 2010-11

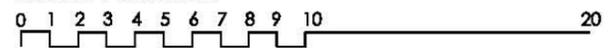
ESCALA: 1/200

ETSGE





ESCALA GRAFICA



PROYECTO FINAL DE GRADO
SUPERFICIES ARQUITECTONICAS SINGULARES

ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE

PLANO DE DESCIMBRADO DE NERVIOS

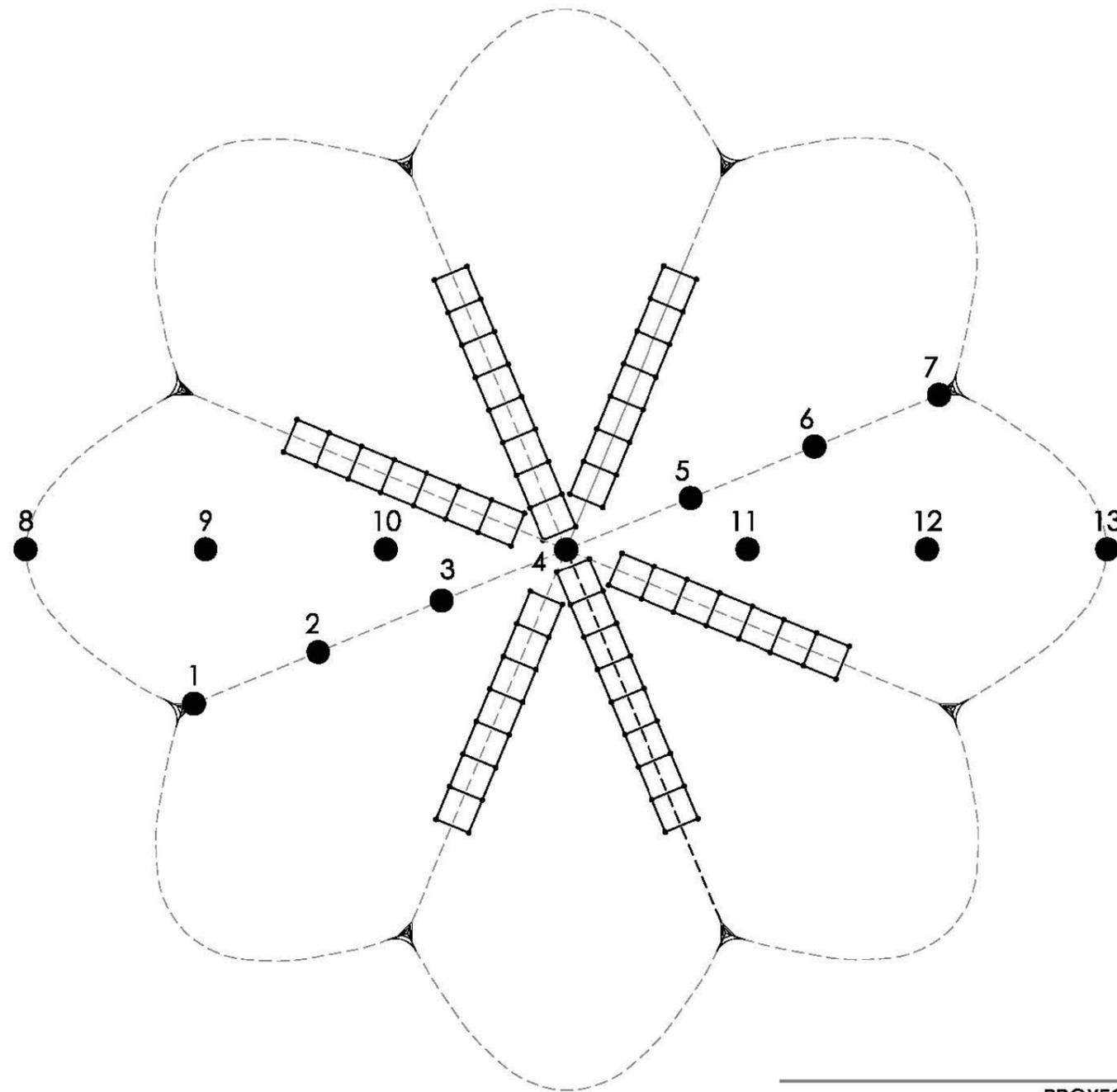
PLANO 24

CURSO 2010-11

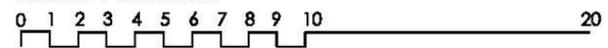
ESCALA: 1/200

ETSGE





ESCALA GRAFICA



PROYECTO FINAL DE GRADO
SUPERFICIES ARQUITECTONICAS SINGULARES

ALUMNO: SERGIO VINAT JARQUE

PLANO DE PUNTOS MEDICION DE DEFORMACIONES

PLANO 25

CURSO 2010-11

ESCALA: 1/200

ETSGE

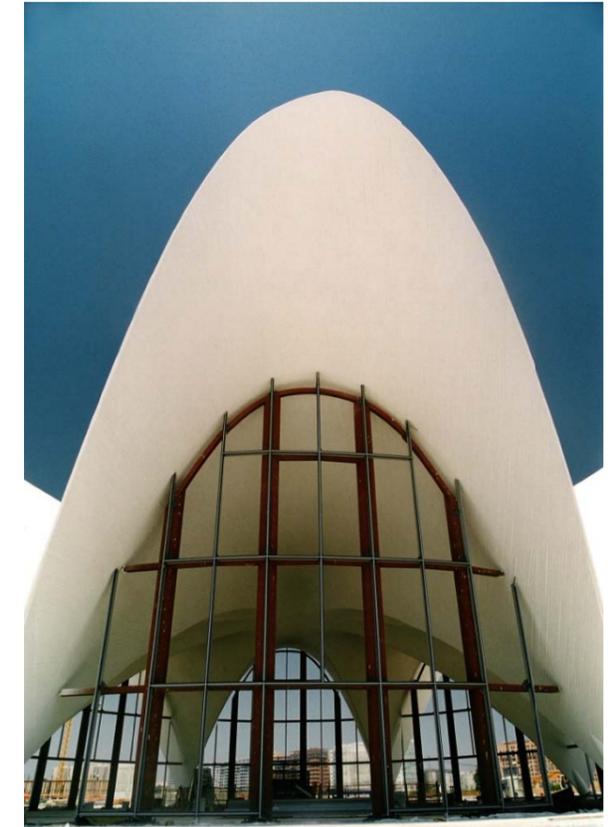


5.1.7. ACABADOS.

La lámina de HRFA quedó acabada con la aplicación sobre el extradós de la cubierta de tres capas de resinas epoxi sobre una malla de fibra de vidrio. Es una medida para evitar que debido al ataque de los agentes climatológicos, se produzcan grietas, y más tarde fisuras, que puedan afectar al armado de la cubierta debido a su pequeño espesor.



El Alzado del Restaurante submarino queda finalizado con la construcción de un muro cortina de planta circular y volumen cilíndrico. Su ejecución se muestra en las siguientes fotografías donde se puede apreciar que los pilares están diseñados y calculados para aguantar el muro cortina por acciones del viento. Se observa como los pilares no llegan a conectar con la estructura de la cubierta.



6. CONCLUSION.

El trabajo realizado ha consistido en la búsqueda y recopilación de información referente a las estructuras laminares regladas y alabeadas de doble curvatura o anticlásticas, conocidas como paraboloides hiperbólicos o hypars.

Ha sido posible realizarlo gracias a una labor de búsqueda de información procedente de diferentes fuentes bibliográficas, artículos de revistas especializadas e información que me ha sido facilitada por parte de los redactores del proyecto y de las empresas constructoras, y la posterior labor de la organización y estructuración de dicha información.

Ante todo, me gustaría mostrar mis agradecimientos, en primer lugar, al Profesor D. Carlos Lázaro, del departamento de mecánica de los medios continuos, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia, por haber tenido la amabilidad de facilitarme parte de la información aquí expuesta y de haber podido reunirme personalmente con él.

A D. Javier Ruipérez, de la empresa FCC, Fomento de Construcciones y Contratas, por facilitarme la información gráfica y escrita con la que he podido plasmar con imágenes el desarrollo de la ejecución de la cubierta y de los detalles constructivos más significativos.

Gracias a este trabajo he podido conocer y desarrollar los conocimientos sobre:

- D. Félix Candela Outeriño.
- El paraboloides hiperbólico, cómo se genera, sus propiedades y su replanteo en el espacio.
- Las propiedades mecánicas y los tipos de esfuerzos que encontramos cuando utilizamos dicha superficie.
- El proceso constructivo necesario para llevarlas a cabo, tanto en el pasado como en la actualidad.

Entre las ideas más significativas cabe destacar:

- Los paraboloides hiperbólicos permiten desarrollar estructuras resistentes por forma si las secciones de la lámina o cascarón y el peso propio son las adecuadas.
- Los esfuerzos de membrana son los que encontramos si analizamos dichas estructuras.
- Los Hypars permiten la generación de espacios de grandes luces con un número mínimo de apoyos y un espesor de lámina mínimo.
- Para secciones mínimas de la lámina, de 4 a 6 centímetros, se hace necesaria la colocación de armadura pasiva, para poder absorber los esfuerzos de flexión y momento que se generan en la intersección de nervios- lóbulos y nervios- apoyos. Este es el principal problema que se encontraron los constructores de los primeros cascarones.

- Que en la actualidad se plantea la posibilidad de eliminar la armadura pasiva en la construcción de cascarones de espesores mínimos utilizando hormigón reforzado con fibras y apoyos que permitan la rotación.
- Que en la cubierta JCHYPAR se ha decidido conservar la armadura pasiva solamente debido a la falta de experiencia en la construcción de cascarones de espesor mínimo. Pese a que al someter, con el programa de cálculo SAP, la estructura a esfuerzos de viento para cumplir con la normativa actual, y mostrar esta la existencia de deformaciones y esfuerzos de flexión en las uniones lóbulo-nervio y nervio-apoyo, el autor del proyecto, D. Carlos Lázaro, plantea una línea de investigación futura encaminada a la eliminación total de la armadura pasiva.
- La utilización de hormigón reforzado con fibras es una de las ventajas que tenemos en la actualidad para la construcción de cascarones de espesor mínimo, cuya ventaja, además de dar la posibilidad de eliminar la armadura pasiva, es la de evitar la oxidación de el armado debido al pequeños espesor de la lámina y al mínimo recubrimiento de esta.
- El empleo de hormigón proyectado está justificado por la obtención de unos mejores resultados de rotura a flexión en laboratorio, de este, frente al hormigonado convencional.



7. BIBLIOGRAFIA.

1. IVAM, Institut Valencià d'art modern: Felix Candela 1910-2010, Sociedad Estatal de Conmemoraciones Culturales, Madrid, 2010.
2. COLIN FABER: Las estructuras de Candela, Compañía Editorial Continental, Méjico, 1981.
3. CANDELA OUTERIÑO, F: Arquitectura transformable, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Sevilla, 1993.
4. CANDELA OUTERIÑO, F: En defensa del formalismo y otros escritos, Xarait, Bilbao, 1985.
5. ROLAND CONRAD: Frei Otto, Gustavo Gili, Barcelona, 1973.
6. CIVIS PROJECT MANAGEMENT: Parque Oceanográfico Universal de Valencia, Civis Project Management, Valencia, 2003.
7. CAC: Ciutat de les arts y les ciències, Ciudad de las Artes y las Ciencias, Valencia, 2006.
8. CANDELA OUTERIÑO, F: Félix Candela, Toto, Tokio, 1995.
9. CARLOS FERNANDEZ CASADO S.A.: « Parque Oceanográfico Universal, Valencia», *Informes de la Construcción, Vol. 52 nº 469-470. Septiembre-Octubre/Noviembre-Diciembre, 2000.*
10. CALATRAVA VALLS, S.: « L'Hemisfèric: Una ventana al mundo», *Informes de la Construcción, Vol. 52 nº 469-470. Septiembre-Octubre/Noviembre-Diciembre, 2000.*
11. CALATRAVA VALLS, S.: « Museo de las ciencias. Centro y Foro Internacional de las Ciencias», *Informes de la Construcción, Vol. 52 nº 469-470. Septiembre-Octubre/Noviembre-Diciembre, 2000.*
12. CALATRAVA VALLS, S.: « El Palacio de las Artes. Campus de las Artes Escénicas », *Informes de la Construcción, Vol. 52 nº 469-470. Septiembre-Octubre/Noviembre-Diciembre, 2000.*
13. DOMINGO CABO, A; LAZARO, C.; SERNA ROS, P.: « Construcción de la JCHYPAR, una lámina delgada de hormigón reforzado con fibras de acero, en el Oceanográfico de Valencia », *Hormigón y Acero, nums 228-229, 2º y 3º trimestre, 2003.*
14. DOMINGO CABO, A; LAZARO, C; SERNA ROS, P.: « Desing of a thin Shell steel fibre reinforced concrete hypar roof », *Universidad Politécnica de Valencia, 2003.*
15. DOMINGO CABO, A; LAZARO, C.: « La cubierta de L'Oceanogràfic de la Ciudad de las Artes y las Ciències », *Jornada IECA Expresión del Hormigón Alicante 2006.*
16. SASHKOV ANGELOV, A.: « Superficies regladas en la arquitectura. Análisis constructivo. », *PFC, 2009.*
17. MAYDANA, A.: « Paraboloides Hiperbólicas », *Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2008.*
18. SANZ BALDUZ, L.J.: « El Borde Libre y Félix Candela », *Revista de Obras Públicas, nº 3383, Enero, 1999.*
19. IGNACIO DEL CUETO RUIZ FUNES, J.: « Félix Candela, el mago de los cascarones de concreto », *Revista Internacional de Arquitectura, num. 2, Méjico, 1997.*
20. DUQUE, C.: « Félix Candela, La conquista de la esbeltez », *Abril, 2010.*
21. ANDRES MARTIN, F.J; FADON SALAZAR, F.: « Análisis Gráfico de las obras emblemáticas de Félix Candela », *XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.*
22. BASTERRA OTERO, A; CHAMIZO DE LA CONCHA, A; GUTIERREZ GOMEZ, E.: « Félix Candela y el borde libre. El caso de la Capilla de Palmira en Cuernavaca », *Revista Bitácora Arquitectura, nº 5 mayo-Septiembre, 2001.*
23. CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS.: « L'Oceanogràfic », *Dossier de comunicació.*
24. IBAÑEZ TORRES, R.: « El Vientre de un Arquitecto. La búsqueda de la forma. », *Publicación Un paseo por la geometría 2004/04.*

