

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

(ETSA)

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

(MAAPUD)

MASTER DE ARQUITECTURA AVANZADA EN TECNOLOGIA URBANISMO Y DISEÑO

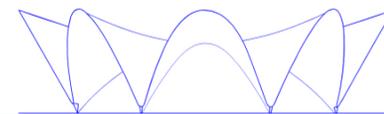
**ANALISIS DE LA CUBIERTA JHYPAR DEL RESTAURANTE SUBMARINO DEL
OCEANOGRAFICO DE VALENCIA.**

Proyecto Final de Máster 2013/2014

ARC: Ronalkin Manuel Espinal Rosario

Tutor:

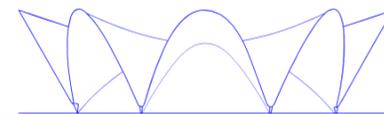
Adolfo Alonso Dura



Guía de contenidos

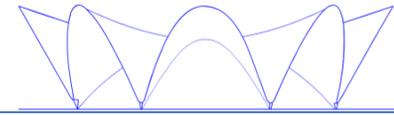
1. Índice

1.1. Introducción	03
1.2. Objetivos	04
1.3. Datos generales del oceanográfico	06
1.4. Restaurante submarino	07
1.5. Imágenes del parque oceanográfico	08
1.6. Reseña de la vida y obra de Félix Candela	11
2. Formas geométricas	13
2.1. Estructuras laminares	14
2.2. Evolución de las obras de Félix Candela	15
2.3. Generación de la superficie	18
2.4. Características estructurales y mecánicas de las laminas	21
2.5. El paraboloides hiperbólico o Hypar	23
2.6. Geometría de la cubierta	25
2.7. Materiales	28
2.8. Fibras metálicas	31
3. Documentación grafica	36
3.1. Planta arquitectónica	37
3.2. Alzados y Dimensionado	39



Guía de contenidos

4. Análisis Estructural	45
4.1. Hipótesis y método de calculo	46
4.2. Modelo de calculo (architrave)	48
4.3. Planta estructural	55
4.4. Sección estructural	57
5. Análisis constructivo	62
5.1. La cimbra	63
5.2. El encofrado	65
5.3. El encofrado de la cubierta	67
5.4. Encofrado de los apoyos	68
5.4. El armado de la cubierta	71
5.5. El proceso de hormigonado	72
5.6. Desencofrado de la cubierta	73
5.7. Acabados	78
6. CONCLUSION	80
7. MEMORIA GRAFICA.	82
8. BIBLIOGRAFIA	85
9. ANEXO.	87



1. 1. Introducción:

Parque Oceanográfico de Valencia

El parque oceanográfico de Valencia, es un complejo arquitectónico destinado al ocio y a la educación donde se representan los diferentes hábitats y especies marítimas. Este espacio forma parte de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de la ciudad de Valencia. La magnitud de este parque ocupa una superficie de unos 80.000 m² aproximadamente.

Es reconocido como el parque más grande de la unión europea. Su arquitectura se debe a los diseños y obras realizadas por el arquitecto Félix Candela. Los trabajos de ejecución y diseño estructural de las cubiertas del parque fueron realizados por los ingenieros Alberto Domingo y Fernando Sánchez.

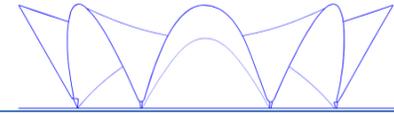


1.1. Cascara de la cubierta



1.2. Entrada exterior del restaurante submarino

Parque oceanográfico universal, valencia, Carlos Fernández casado, Félix Candela, informe de la construcción, ISSN 0020-0883, vol. 52, EN BLANCO II. Segundo congreso de la arquitectura blanca. Biblioteca tc.



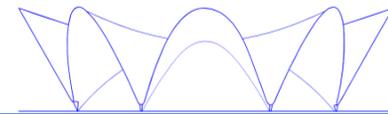
1.2. Objetivos:

Objetivo General:

El objetivo principal de este trabajo es analizar la cubierta hiperbólica del restaurante submarino de valencia, haciendo un enfoque en la evolución de la geometría y materiales en que se compone. En el cual se describirán las características morfológicas en que está compuesta y de cómo esta ha surgido. Estudiando algunos aspectos fundamentales del cálculo estructural se dará comienzo a la descripción del diseño inicial hasta la modelización de la cubierta. A partir de la modelización y el cálculo de solicitaciones se realizaran las comprobaciones pertinentes de la misma.

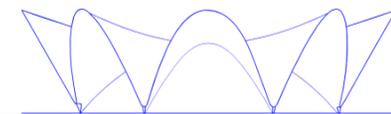
Objetivos Específicos:

1. Realizar una reseña introductoria del proyecto en general.
2. Describir el desarrollo de la forma y las propiedades que esta presenta.
3. Documentar una presentación grafica del proyecto.
4. Modelización del comportamiento de la cubierta mediante el uso del software (Architrave) basado en el cálculo de elementos finitos.
5. Determinar las acciones sísmicas y de viento a que pueda estar sometida la cubierta.
6. Analizar los resultados que el programa proporcione y que esperamos en determinar.
7. Diagnosticar los resultados como conclusión estimada del trabajo.



Vista informativa del conjunto de hábitats que conforma el parque





1.3. Datos generales del oceanográfico

El parque oceanográfico de Valencia esta localizado en el antiguo cauce del rio Turia, cuya parcela se encuentra situada en la parte Este de dicho parque, correspondiendo a una superficie aproximada de unos 80.000 m². para ser considerado como un parque temático que consta con una superficie muy reducida pero ha sido proyectado de esta forma para reducir el impacto ambiental, induciendo a los proyectistas de que la mayoría de las obras se hagan de manera soterrada, despejando así la mayor parte de la superficie para obtener mas zonas de ajardinamiento y así provocar el menor impacto ambiental posible.

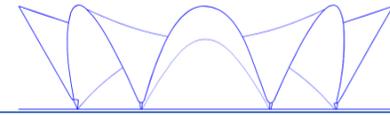
Se concibe el proyecto como un parque compuesto por un conjunto de edificios soterrados y situados a la vez en el entorno de un lago artificial, representando cada uno de estos edificios un hábitat o un medio acuático para diferentes especies.

Dentro de este complejo podemos constar con las diferentes áreas que permiten desarrollar su funcionamiento:

- Aguas continentales
- Mar Mediterráneo
- Océanos
- Mares antárticos
- Mares Tropicales
- Restaurante Submarino
- Auditorio Submarino
- Mamíferos marinos y un delfinario

Dentro del proyecto se puede constar un aparcamiento con 1.000 plazas, El aparcamiento tiene una superficie de unos 1.000 m² construidos, por correspondiente un edificio de acceso, nave de servicios, edificios de oficinas. además posee otras construcciones de menor índole como taquillas y kioscos sumando en total unos 2.000 m².

Parque oceanográfico universal, valencia, Carlos Fernández casado, Félix Candela, informe de la construcción, ISSN 0020-0883, vol. 52, EN BLANCO II. Segundo congreso de la arquitectura blanca. Biblioteca tc.



1.4. Restaurante submarino

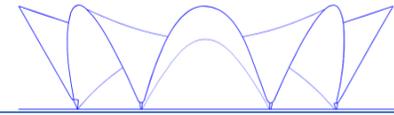
El restaurante submarino L'Oceanogràfic se encuentra situado en la parte central del parque, es un edificio de características emblemáticas dentro del complejo, debido a su cubierta formada por la intersección de cuatro paraboloides hiperbólicos diseñado por Félix Candela, característica que fue tomada como referencia del restaurante de los manantiales de Xochimilco.

La apariencia exterior de la cubierta del restaurante se atribuye a querer construir un edificio, cuya morfología abstracta pretenda ser similar a la forma orgánica de un nenúfar blanco flotando en un estanque.

La construcción de este edificio se desarrolló basado en un restaurante rodeado del agua del lago. En su nivel inferior está ambientado como la visión futurista del interior de un submarino, con vista a una batería perimetral de acuarios. La tematización se debió a la idea del cineasta Steven Spielberg, copropietario de la cadena de restaurante Dive.



1.12. Imagen interior del restaurante. <http://www.restaurantesubmarino.es/>



1.4. Acceso



1.5. Humedales Aviario



1.6. Auditorio Mar Rojo



1.5. Imágenes del parque oceanográfico

1.7. Restaurante Submarino



1.8. Mediterráneo



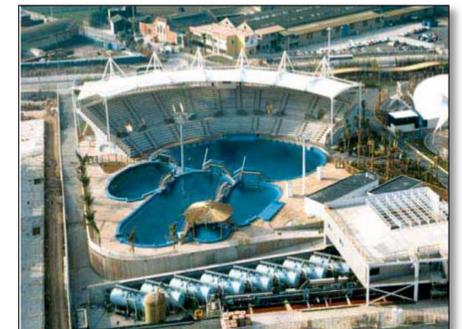
1.9. Mar Ártico

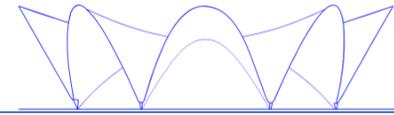


1.10. Oficinas

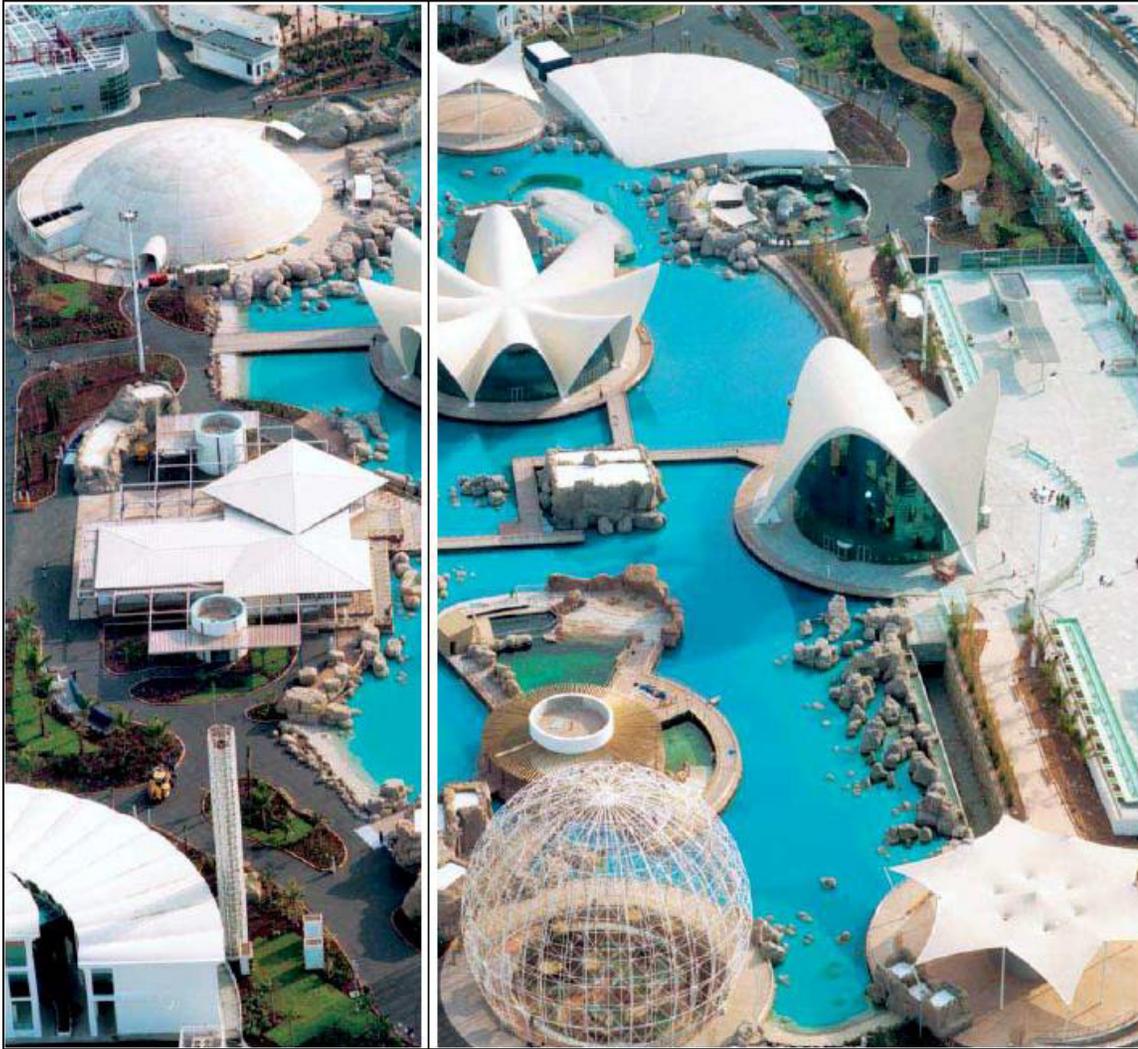


1.11. Delfinario





Vista aérea del parque oceanográfico de Valencia.



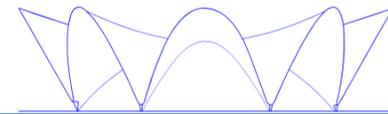
1.13. Vista aérea de los edificios del complejo oceanográfico. FCC, construcción



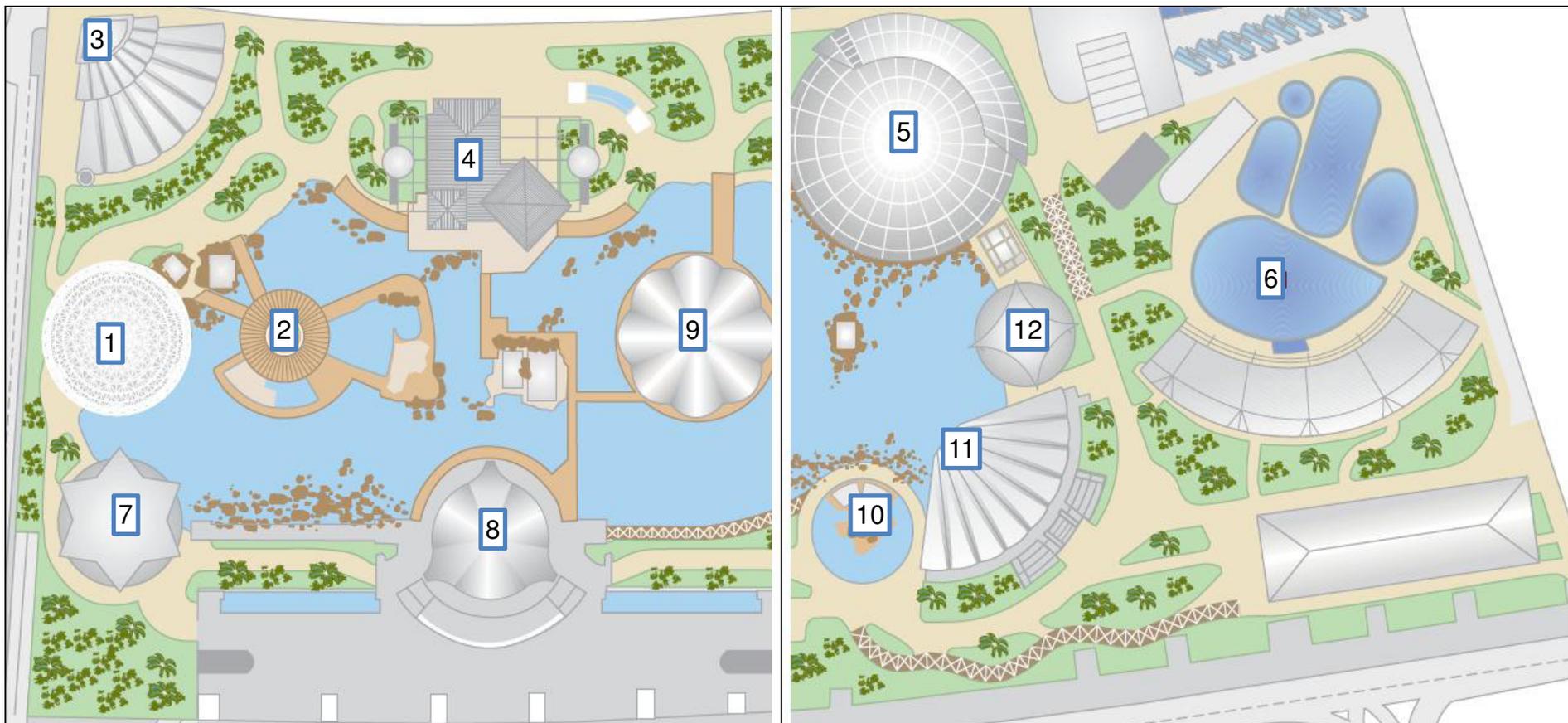
1.14. Vista aérea del complejo oceanográfico. FCC, construcción



1.15. Vista exterior del restaurante

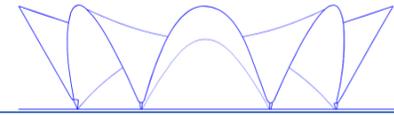


Vista en planta del conjunto



1.16. Vista en planta del conjunto FCC CONSTRUCCION. Técnicas de Construcción

- | | | |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Humedales – Aviario | 5. Mar Ártico – Morsas, Belugas | 9. Restaurante Submarino Oceanografic |
| 2. Templados | 6. Delfinario | 10. Isla de Leones Marino |
| 3. Oficinas | 7. Mediterráneo | 11. Mar Rojo – Auditorio |
| 4. Océanos – Tiburones | 8. Edificio de Acceso | |



1. 5. Reseña de la vida y obra de Félix Candela

Félix Candela Outerino. (1910-1977)

El 27 de enero de 1910 nace en Madrid el famoso arquitecto Félix Candela, destacándose por sus construcciones basadas en estructuras laminares.



1.17. Félix Candela

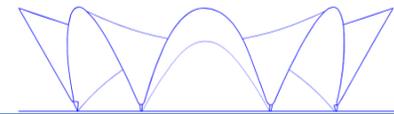
Durante sus estudios desarrollo gran pasión por la geometría para mas tarde desarrollar estructuras ligeras como son denominadas “cascarones”. En el mundo de la arquitectura es considerado como un gran precursor de la arquitectura sostenible y que se comprometió a realizar obras económicas, bellas y duraderas. Siempre obtuvo un gran afán por estudiar el cálculo estructural en función de prevenir un posibles colapsos. Su influencia y fama se expandió por todo el mundo.

En el año 1935 obtuvo su licenciatura como arquitecto, siendo este un año antes de la Guerra Civil Española en el cual tuvo que irse como exiliado a México, país que dio acogida a los refugiados republicanos. Más tarde a pesar de las dificultades que atravesaba logró fundar una empresa llamada “cubiertas alas” que gracias a los estudios que había realizado en Europa obtuvo un gran éxito en la aplicación de tecnología de las estructuras laminares.

Dentro de sus obras se destacan: el restaurante de los manantiales de Xochimilco, la capilla del atillo, la capilla de Palmira, cavaret jacarandas, planta embotelladora de bacardi y el palacio para los deportes de las olimpiadas de México de 1968 considerada como su última gran obra realizada en México.

DEL CUETO RUIZ FUNES, Juan Ignacio, Félix Candela, el mago de los cascarones.

Arquitectura Orgánica, Félix Candela, vida y obra.
<http://arquitecturaorganica.wordpress.com/2008/01/23/felix-candela-vida-y-obra/>



Cronograma de sus obras significativas



1.18. 1951. Pabellón de los rayos cósmicos



1.19. 1953. Iglesia virgen de la medalla milagrosa



1.20. 1955. Capilla de nuestra señora de la soledad del altillo



1.21. 1955. Bolsa de valores ciudad de México



1.22. 1956. Capilla de san Antonio Huertas



1.23. 1957. Club nocturno de Jacaranda



1.24. 1958. Restaurante de los manantiales de Xochimilco



1.25. 1959. Oficina de las ventas



1.26. 1959. Capilla la Palmira Cuernavaca, México.



1.27. 1960. Capilla de san Vicente de paúl



1.28. 1960. Planta embotelladora Bacardi.

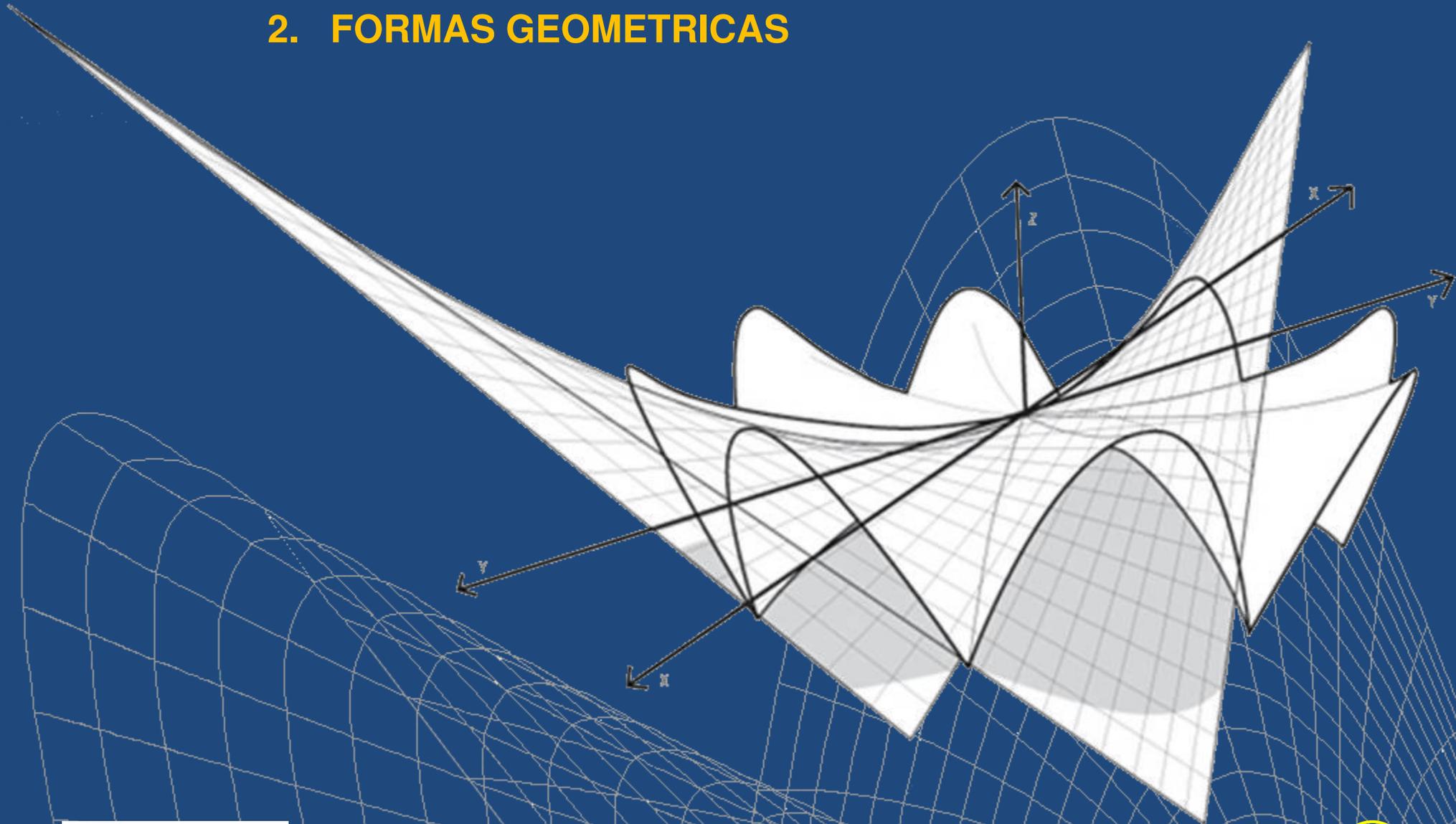


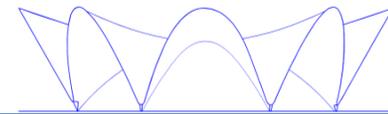
1.29. 1966. Palacio de los deportes México, DF.



1.30. 1997. Restaurante submarino, oceanográfico de valencia.

2. FORMAS GEOMETRICAS





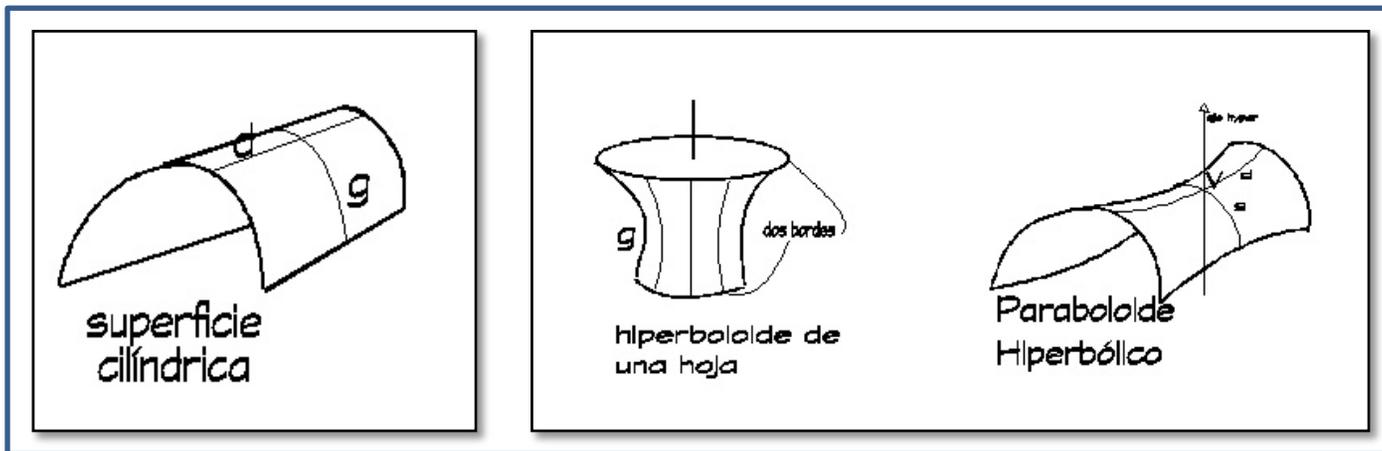
2.1. Estructuras laminares

Se reconoce como estructuras laminares aquellas superficies que poseen una delgada curvatura en comparación a las demás, es decir, tiene un espesor en el cual predomina su ligereza principalmente en toda su forma estructural.

La estructura resiste gracias a sus esfuerzos de compresión, tracción y tangenciales debido a su forma, el peso propio de la misma y las cargas externas que actúan sobre su cuerpo.

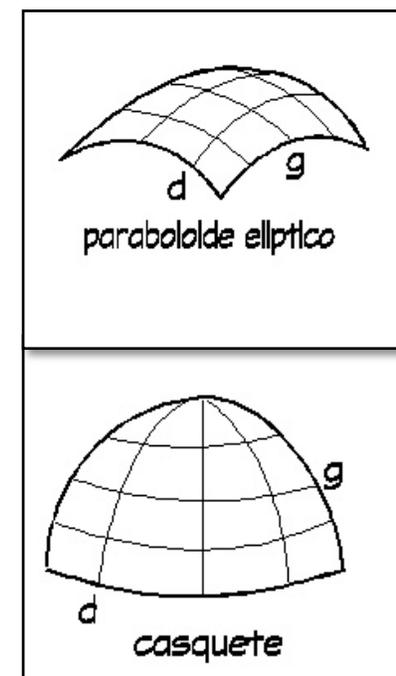
Simple curvatura

Doble curvatura negativa



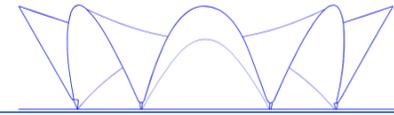
2.1. Superficies cilíndricas

Doble curvatura positiva



2.2. "Cascares"

FABER, Colín, Las estructuras de Candela, editorial continental, S. A., MEXICO



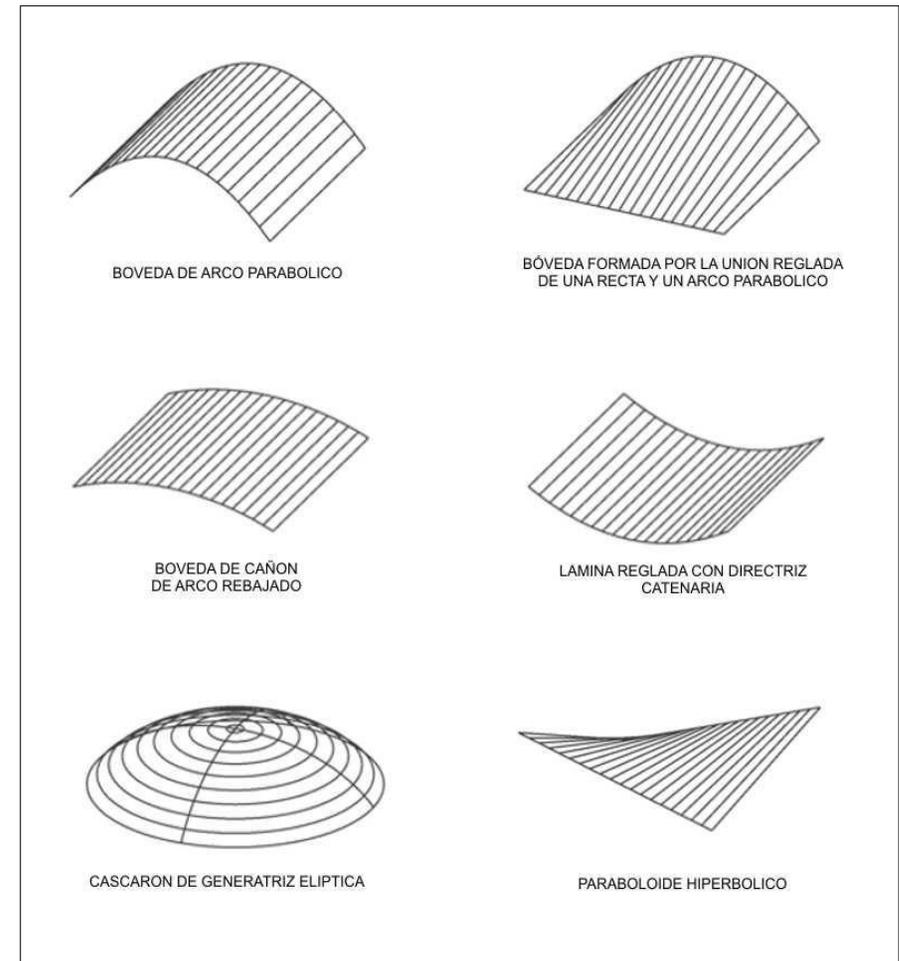
2.2. Evolución de las obras de Félix Candela

Como continuación a sus estudios y proyectos para los diseños de losas plegadas de hormigón, sus primeros experimentos con láminas los realiza con las bóvedas anti funiculares, sin acero de refuerzo, aplicando a los encofrados tela de saco.

Con su empresa “Cubiertas Ala” construye su primer cascarón en forma de conoide, cuyos antecedentes fueron franceses, con un espesor de 3 cm y una luz de 14 m.

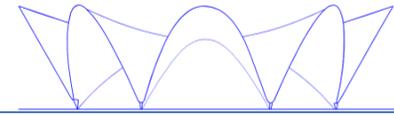
Tiempo después, se experimentan las bóvedas cilíndricas largas alcanzando luces de unos 12 m, logrando prescindir el uso de vigas de borde, siendo calculadas como vigas huecas de sección cilíndrica.

Formas geométricas utilizadas por Candela



2.3. Formas geométricas

FABER, Colín, Las estructuras de Candela, editorial continental, S. A., MEXICO

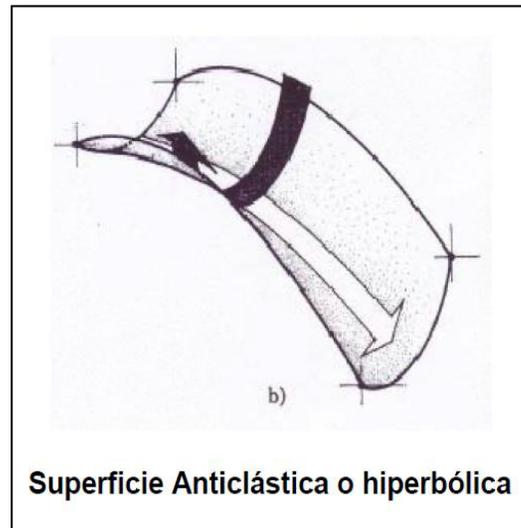


El nombre de cascaron propiamente dicho proviene de las superficies que poseen doble curvatura y se clasifican de acuerdo a estas figuras:



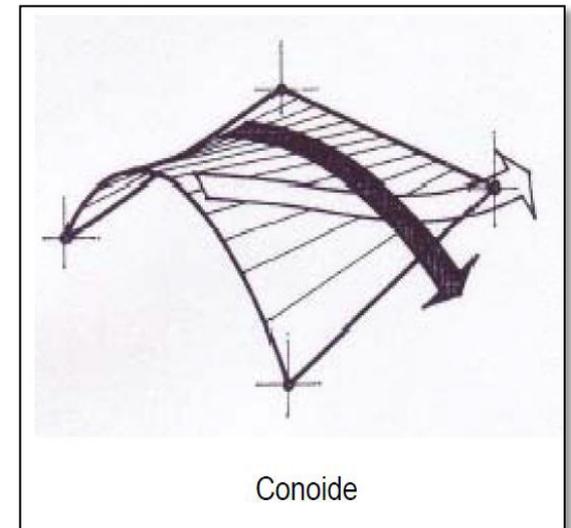
2.4. Superficies Sinclásticas;

Son conocidas también como elípticas por el procedimiento de la ecuación que la representa. Sus dos principales curvaturas están dirigidas en cada punto en un mismo sentido.



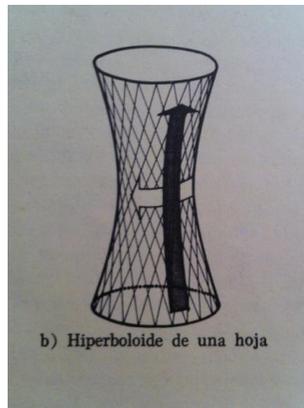
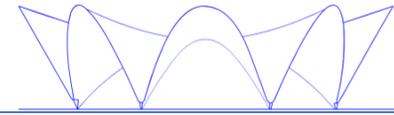
2.5. Superficies Anticlásticas o Hiperbólicas;

Se caracterizan por que el sentido de sus principales curvaturas son opuesto, como el de una silla de montar a caballo.

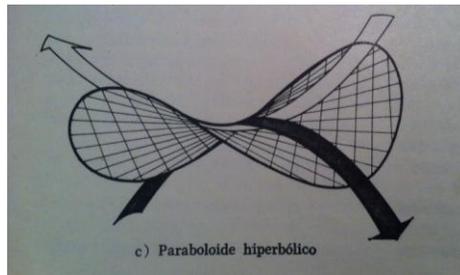


2.6. Conoides;

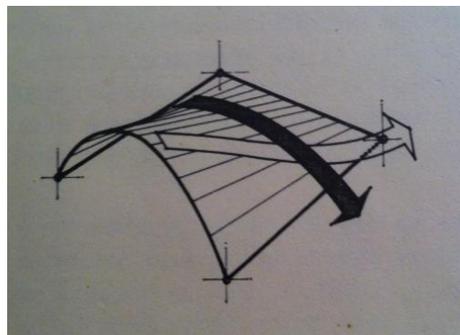
Son figuras geométricamente parecida a la forma de un cono, en donde su generatriz esta compuesta por una curva cóncava en vez de una recta.



2.7. Hipérbole de una hoja



2.8. Paraboloid hiperbólico



2.9. Conoides

Hiperboloide de una hoja: se define como la rotación de una hipérbola que está se efectúa entorno a uno de sus dos ejes de la superficie.

Unas de las formas sencillas de explicar el hiperboloide de una sola hoja es retorciendo un cilindro formado por hilos siendo sujetado en su parte central y logrando conseguir la forma de dos círculos tanto en la parte inferior como en la superior, en la que da lugar a una figura parecida a un diávolo.

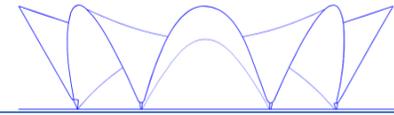
paraboloid hiperbólico: es simplemente un plano alabeado en las que ambas curvaturas van dirigidas en sentido contrario como en una silla de montar también se denomina paso de montaña.

Como se puede observar en la imagen se percibe la franja de color negra como una parábola con los lados hacia abajo y la franja clara que tiene las secciones perpendiculares a la negra su sentido es opuesto con los lados hacia arriba.

Conoides: a partir de la década de los 50 Candela inicio con la construcción del cascaron funicular una serie similar a los modelos franceses con una divergencia debido a la colocación de los tirantes del techo.

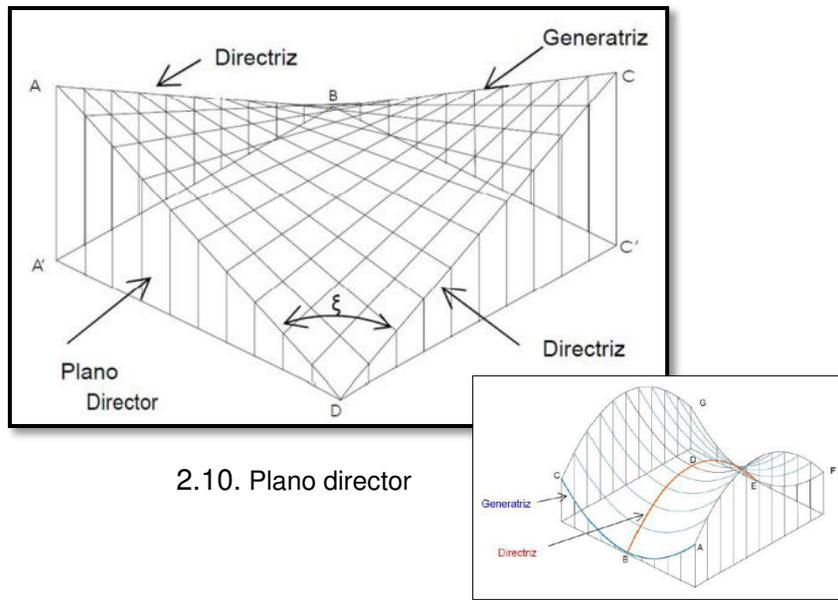
Esta bóveda se puede considerar como un cascaron cilíndrico, aunque en uno de sus arranques se produce un arco ligeramente alabeado. Este tipo de cubierta fue utilizado por Candela en la fabrica Fernández como una bóveda experimental, en “San Bartolo” México.

FABER, Colín, Las estructuras de Candela, editorial continental, S. A., MEXICO



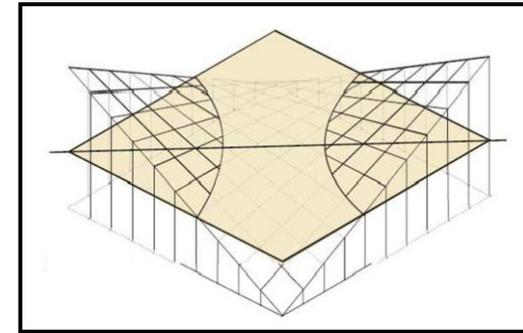
2.3. Generación de la superficie

El paraboloides hiperbólico es una superficie realizada en un plano visualizado como un mayado de líneas rectas, esta superficie esta compuesta por generatrices y directrices.



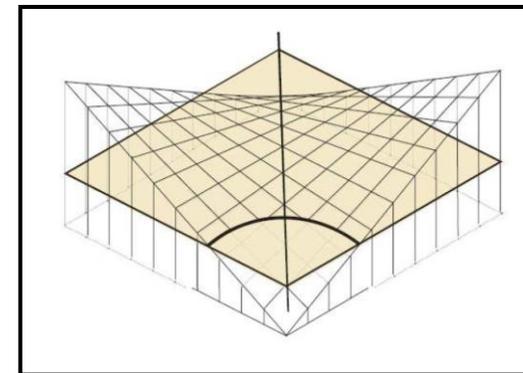
2.10. Plano director

La superficie del paraboloides pertenece a la clase reglada y familia alabeada. Una forma de entender la realización de esta superficie se procede a unir los planos paralelos mediante la directriz AA' B y el plano CC' D. las rectas CD y AB no son paralelas entre si, al igual que las directrices BC y AD.

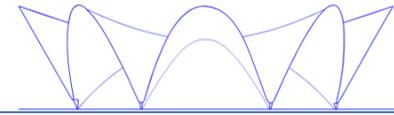


2.11. Plano director en eje x

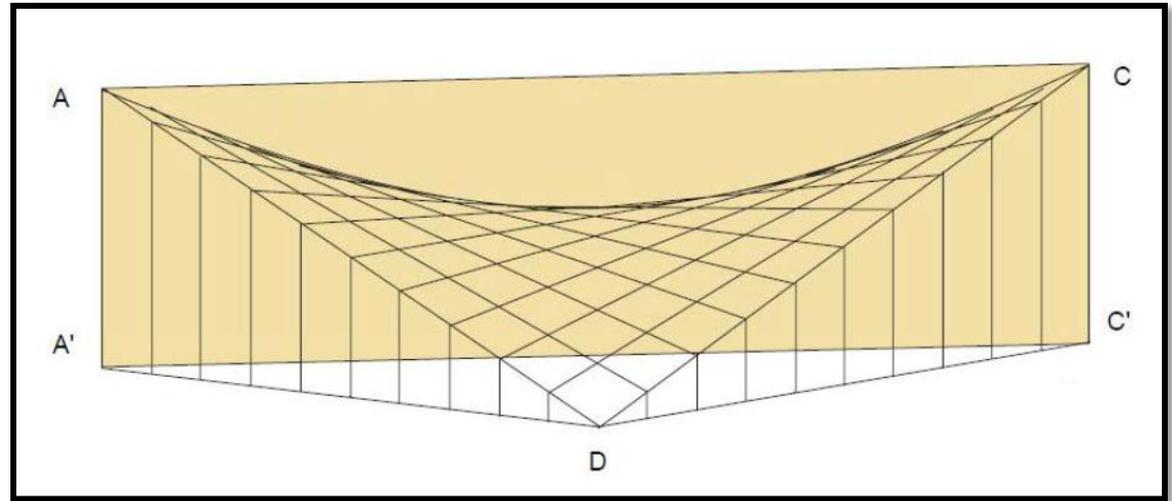
Las GENERATRICES son las dos rectas que cortan las directrices y que es paralela al plano director AA' D. al desplazarse la recta BC paralelamente al plano director coincidiendo con las uniones de las directrices generan el plano de superficie.



2.12. Plano director de eje

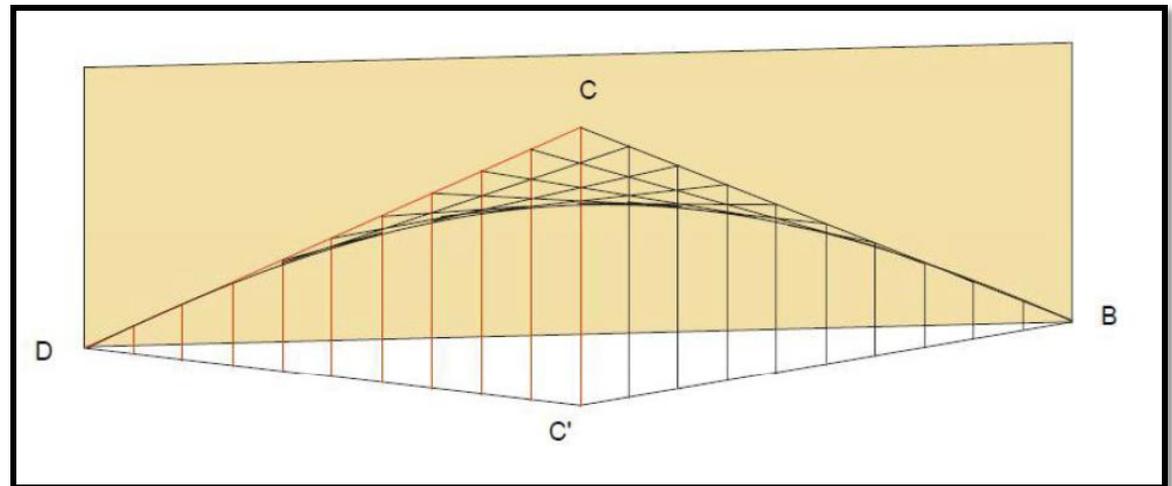


Las curvas parabólicas se produce con la intersección de la superficie con cualquier plano vertical paralelo a las directrices y generatrices. Aquellos planos verticales que se interceptan con las diagonales principales, se obtienen una concavidad hacia arriba y otra hacia abajo.

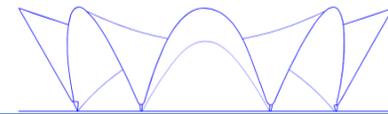


2.13. Curva parabólica invertida

Las curvas hiperbólicas son el resultado de la intersección de las superficies con planos horizontales denominándose así paraboloides (las hipérbolas se forman de los planos horizontales) y (las parábolas son el resultado de los planos verticales).



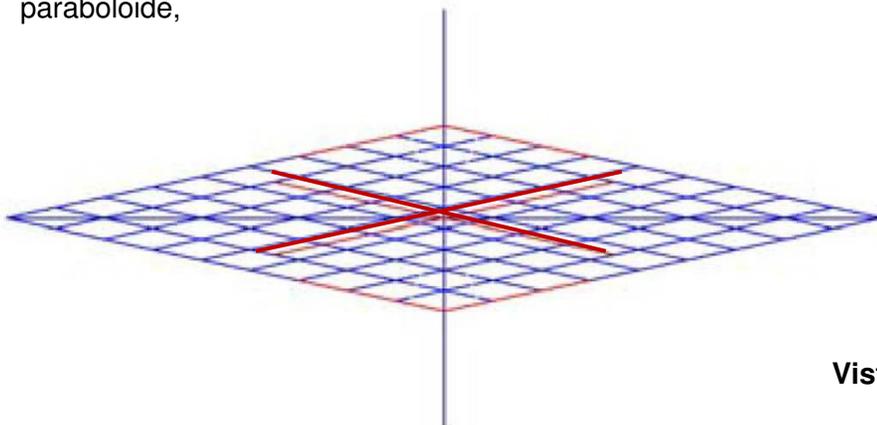
2.14. Curva parabólica



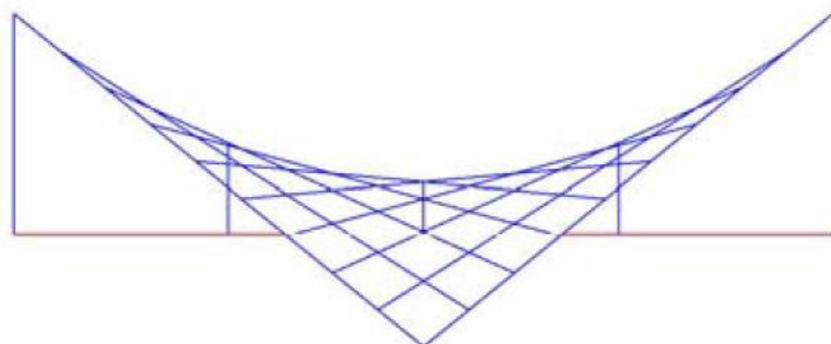
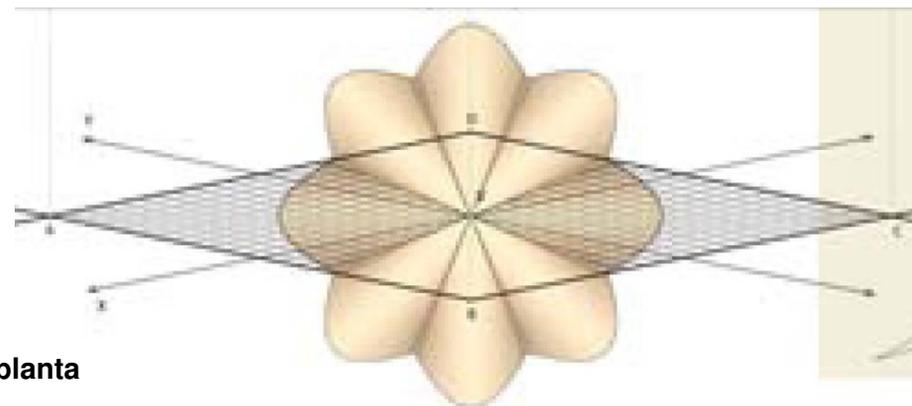
Explicando visualmente de cómo hacer el mallado utilizando las directrices y generatrices se puede obtener el paraboloides hiperbólico de esta manera.

Se dibuja una especie de romboide en la planta de lo que será el paraboloides,

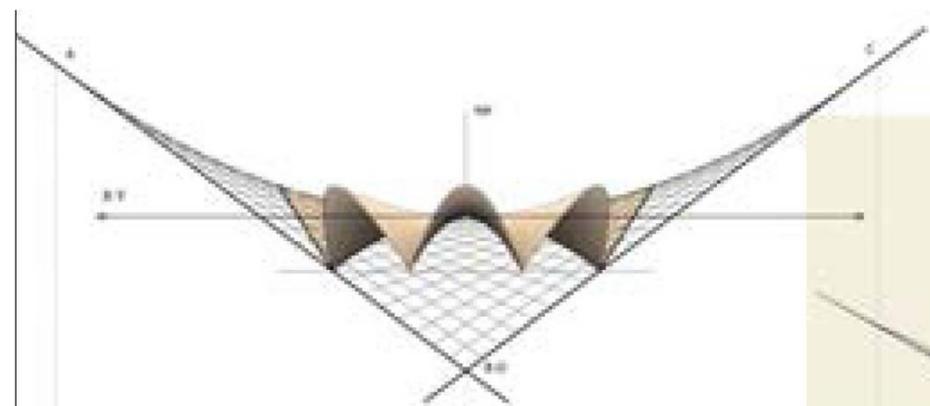
dicho cual esta formado por líneas perpendiculares a $11,5^\circ$ de las líneas que dividen cada uno de los lóbulos del paraboloides así de esta manera se obtiene la base directora del mallado. A partir de esta base se proyecta en elevación las líneas correspondientes de cada lóbulo hacia el borde de la parabola.



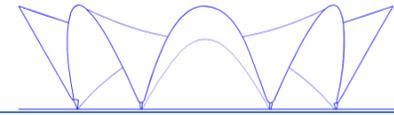
Vista en planta



Vista en elevación



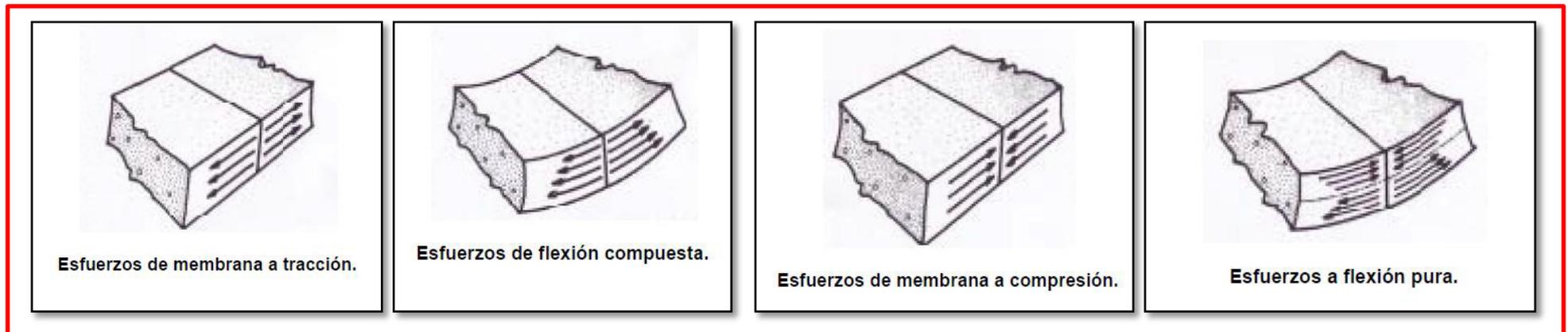
ANDRES MARTIN, Francisco Ramón (1); FADON SALAZAR, Fernando (2). análisis grafico de obras emblemáticas de Félix Candela.



2.4. Características estructurales y mecánicas de las laminas

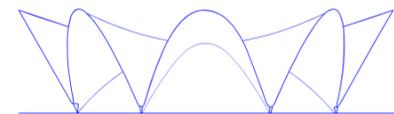
Usar el nombre de estructura laminares está implicado al hecho de ser aquel tipo de estructura cuya capa posee un espesor muy pequeño con respecto a las demás, también puede ser denominada como estructura de cascaron (Shell structures) este tipo de estructuras pueden ser sometidas a cargas y trabajar en condiciones normales, manteniendo los esfuerzos en la membrana.

Se entiende como esfuerzo en las membranas aquel tipo de fuerza que se reparte de manera uniforme en el espesor de la lámina y en cada punto de ella actúan paralelamente al plano tangencial de la superficie.



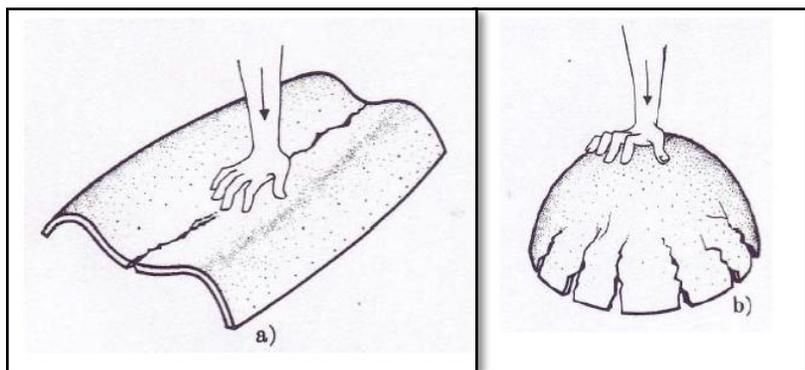
2.15. Esfuerzos de membrana

FABER, Colín, Las estructuras de Candela, editorial continental, S. A., MEXICO



Una estructura de doble curvatura bajo cualquier conjunto de carga transmite sus esfuerzos a las membranas. Por lo visto que todos los cascarones naturales y principalmente aquellos proveniente de los materiales pétreos en forma de huevo o mas bien un caracol.

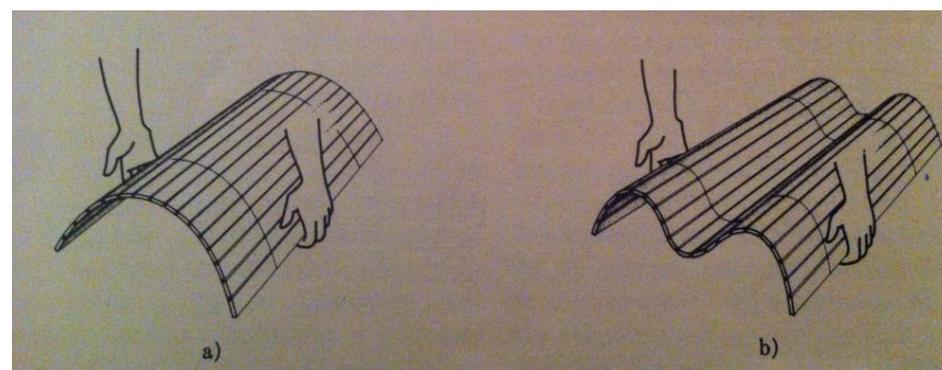
que mantenga una forma geoméricamente constante en cambio no se produzcan dilataciones considerables, en el hormigón armado esto puede ocurrir en el momento que los esfuerzos de membrana logran alcanzar valores tan elevados que superan el limite elástico del material.



2.16. Rotura laminar

En esta imagen se puede notar la diferencia de rotura entre una lamina de doble curvatura y una de curvatura simple. Visto que en la figura a). tiende formarse la rotura a esfuerzo de flexión en la curvatura central y en la figura b). Se produce la rotura a por alargamiento. Esto ocurre si los bordes de la curvatura llega a desplazarse.

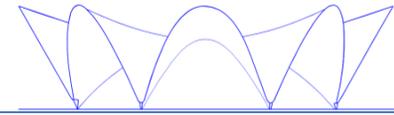
Para que no ocurran flexiones en la superficie esta se debe constituir en el cascaron una doble curvatura, no obstante,



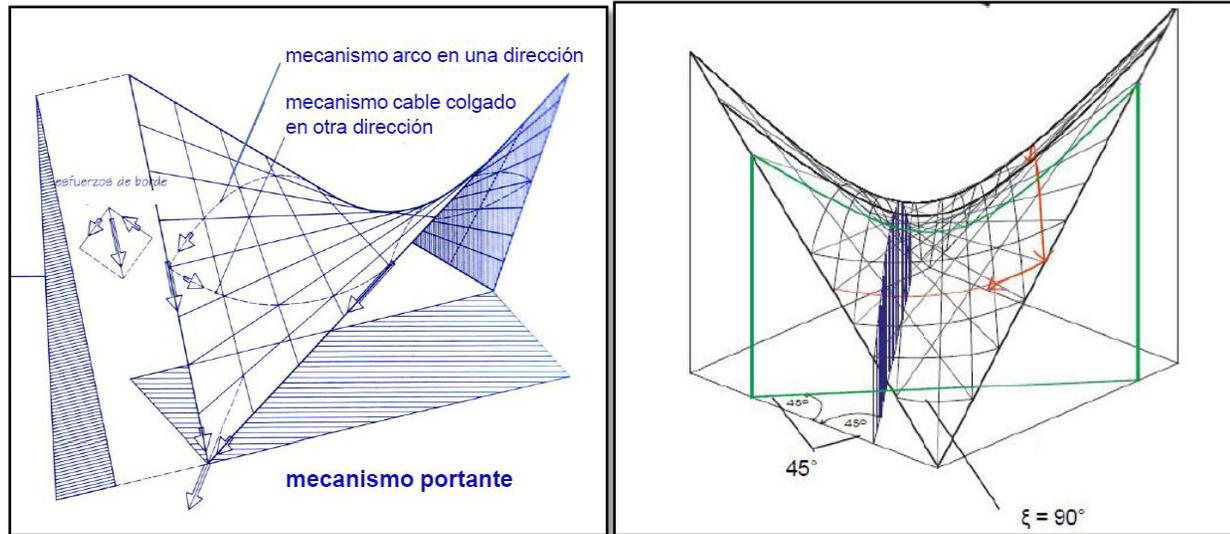
2.17. Cascaron cilíndrico

Fig. a). El cascaron cilíndrico muy ligero puede permanecer en una especie de equilibrio de manera inestable si este pudiese mantener su sección recta mientras coincida con la líneas de presiones externas de las cargas.

Fig. b). Cualquier ligero cambio que experimente en la distribución de las cargas en la forma de la sección normal, tiende a producir rotura a flexión debido al pandeo. Forma de prevenir este tipo de rotura se procede a rigidizarse el cilindro mediante el uso de arcos o tímpanos.

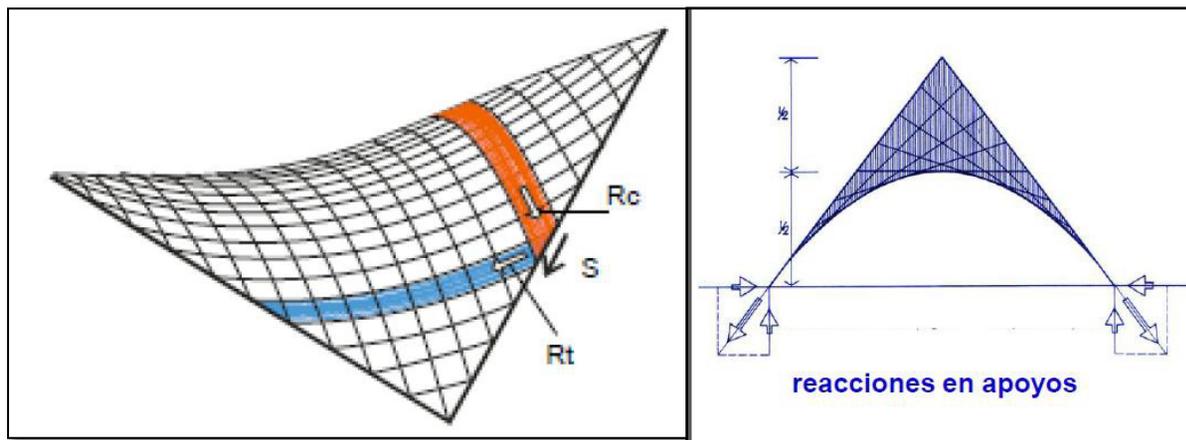


2.5. El paraboloido hiperbólico o Hypar



2.18. Mecanismo del arco

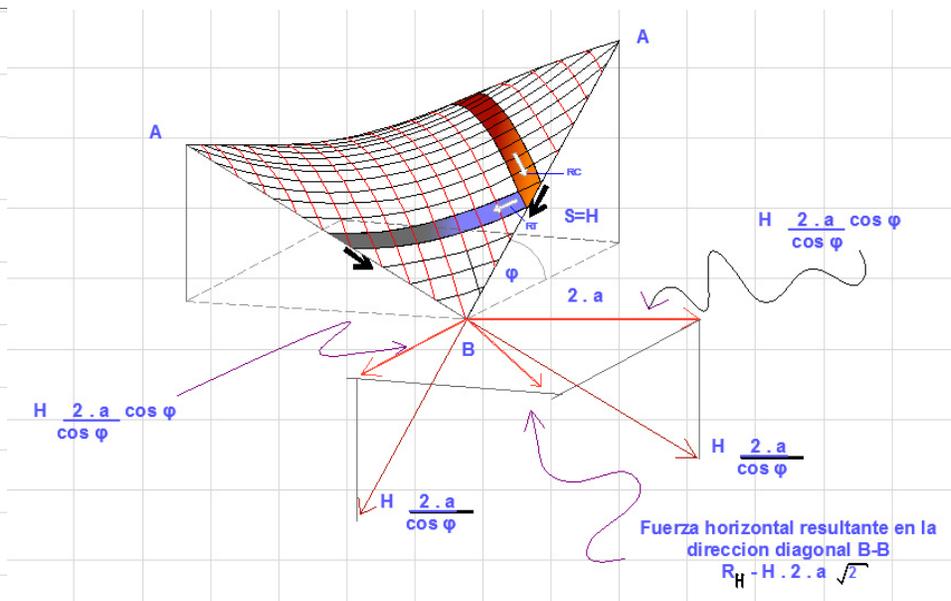
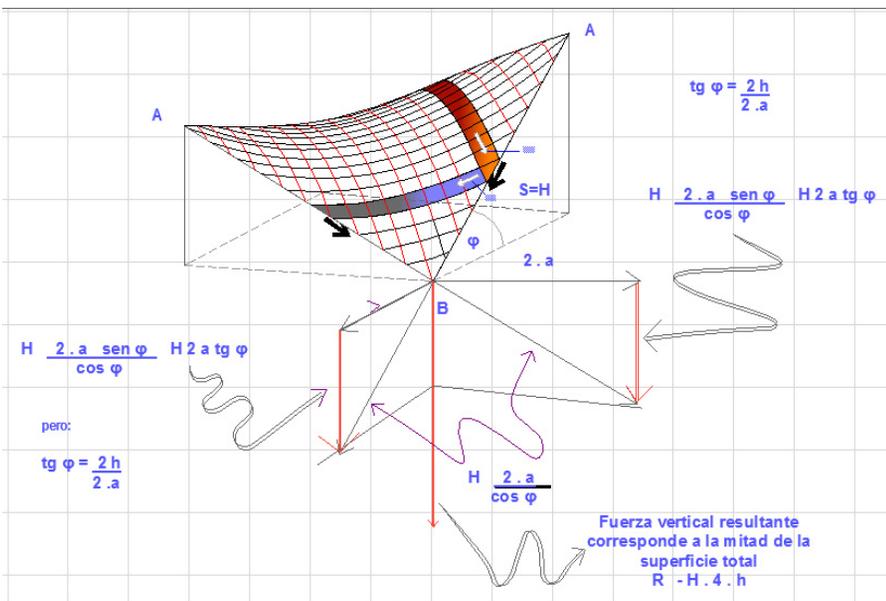
El paraboloido hiperbólico se registra como un cuadrilátero recto conformado por cuatro bordes. Se caracteriza como una superficie anticlastica conformada por una gran rigidez estructural, en la cual transmite sus cargas normales a la superficie mediante tensiones tangenciales al mismo tiempo ocurren compresiones en la curvatura convexa, trabajando conjuntamente en la membrana sin causar flexiones en los bordes.

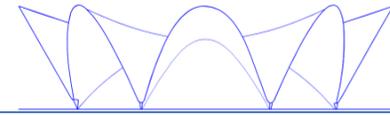


2.19. Reacciones de esfuerzo



Vistas de las direcciones de las cargas con dirección a un apoyo común.

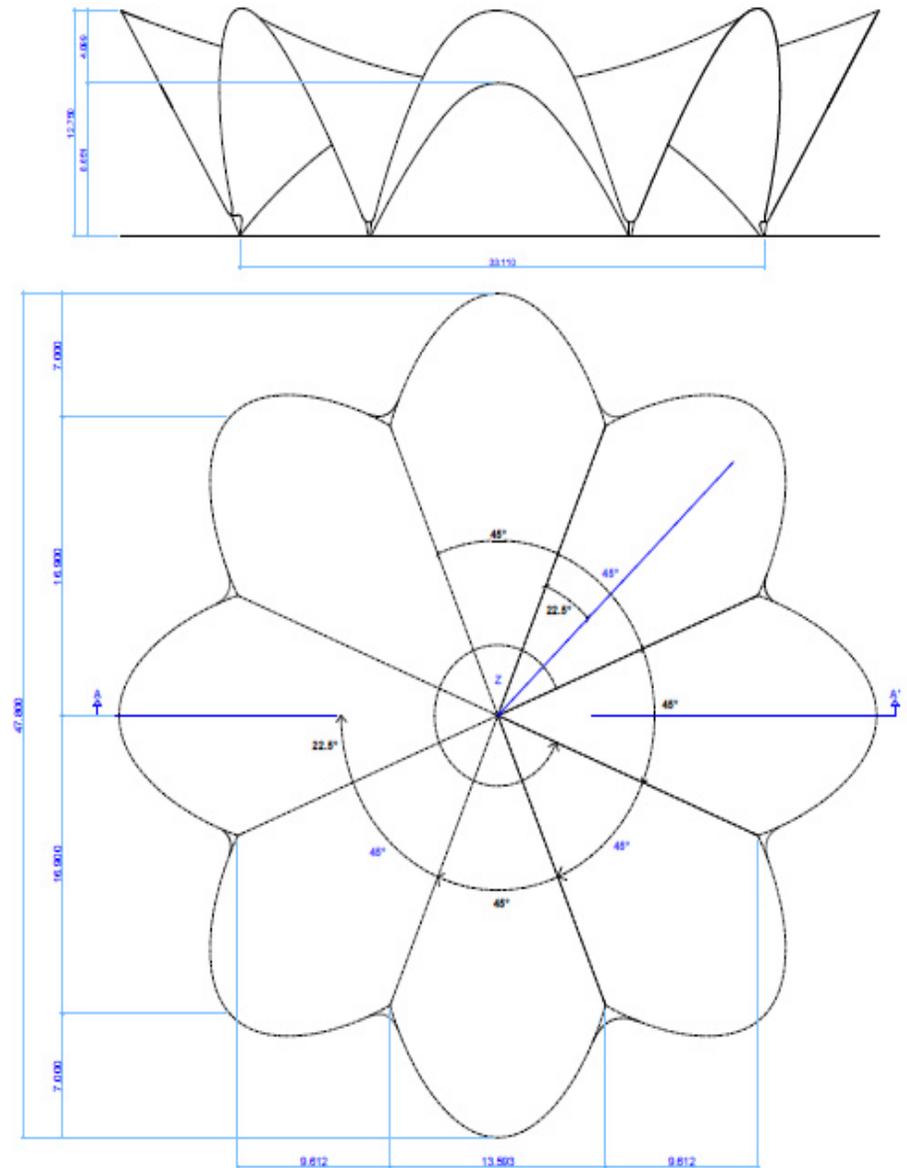




2.6. Geometría de la cubierta

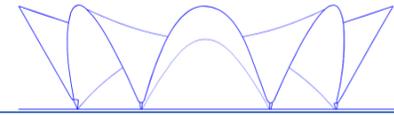
La forma de la cubierta es la unión de varios paraboloides unidos entre sí que forman parte de un conjunto de bóvedas nervadas sostenida por ocho lóbulos con simetría radial desde su centro. Los ejes X e Y que forman parte del paraboloide hiperbólico están contenido en un plano horizontal y forman un ángulo de $22,5^\circ$, el origen de la lamina se encuentra en el centro de donde inician todas las intersecciones adyacentes de cada lóbulo formándose desde ahí los nervios de las directrices parabólicas.

El extremo libre de cada lóbulo se adquiere por la intersección de la superficie con un plano formando un ángulo de 60° con la horizontal. Los apoyos están ubicados en los vértices de un octágono de 13,59 m de lado. La longitud entre los apoyos opuestos es de 35,5 m la distancia del borde libre es de unos 6,83 m y adquiere una altura de unos 12,75 m. los bordes libres de la cubierta no tienen vigas de bordes. La cubierta está construida de hormigón reforzado mezclado con fibras de acero (SFRC) y tienen un espesor de unos 6 cm, dando una sensación de ligereza y esbeltez, logrando alcanzar una ligereza



Dimensiones de la cubierta

Fuente: EN BLANCO II. Segundo congreso de la arquitectura blanca.



El diseño geométrico de la cubierta se explicó mediante los aspectos más relevantes para dar forma a la superficie del techo, para la ejecución de este proyecto como pieza de información constructiva los arquitectos tuvieron que tomar en cuenta las siguientes condicionantes:

El tipo de cubierta estudiada se basa como referencia al techo de los restaurantes manantiales de Xochimilco de México, construidos por el arquitecto F. Candela en 1957. El tipo de información consultada de este trabajo revelaban el uso de bordes libres en toda la cubierta sin contar con un nervio de refuerzo.

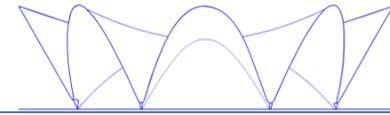
Para los arquitectos el diseño de la construcción de la cubierta debía mantener la mayor coherencia posible, y cumplir no tan solo con la forma establecida por F. Candela, si no también llevar a cabo con sus conceptos que había desarrollado en sus estructuras laminares tanto en los detalles como en los materiales utilizados en la construcción.



2.20. Vista de la cubierta del restaurante del oceanográfico

Para cumplir con algunos requerimientos del código técnico español la cascara de hormigón fue diseñada con un espesor de base de 0,06 m, y como materia de hormigón se proyectó un hormigón armado H – 300, con adicción de fibra de acero Dramix ZP 305 para controlar la fisuración del material y aumentar su resistencia.

Fuente: EN BLANCO II. Segundo congreso de la arquitectura blanca.

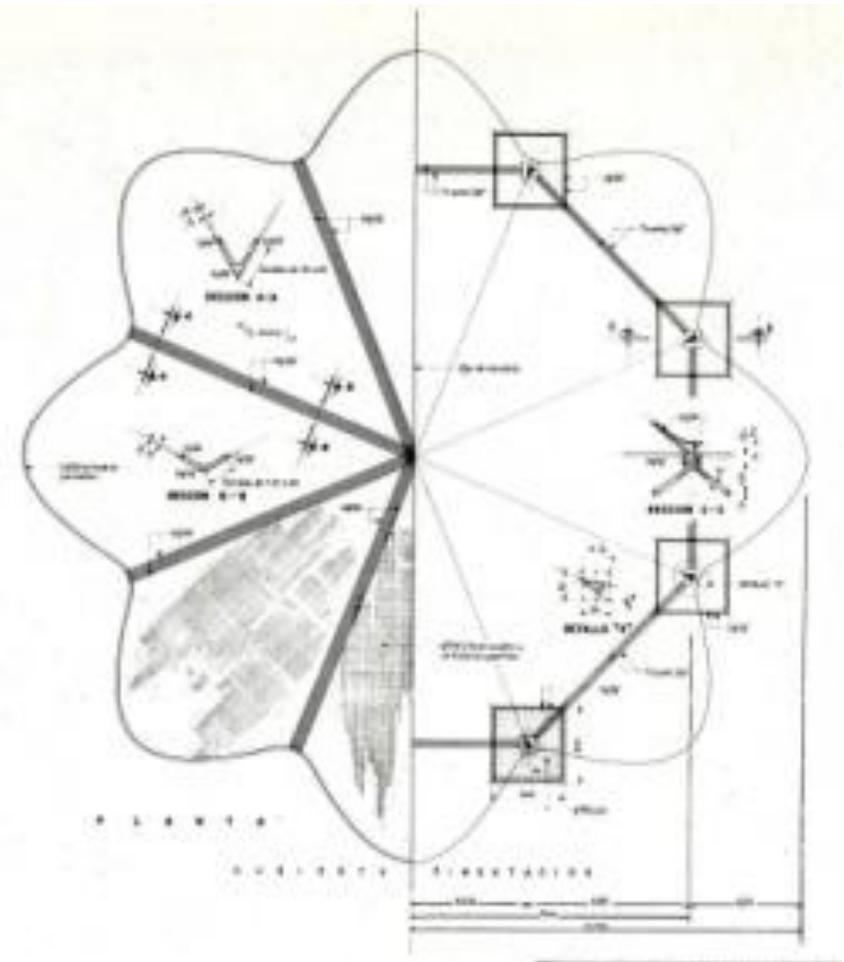


Esta imagen muestra el armado que se utilizó para la construcción del restaurante de los manantiales de Xochimilco, esta cubierta calculada por Candela carece de algunas hipótesis de cálculo que son exigidas hoy en día. A diferencia de la estructura de Candela con la del restaurante submarino de Valencia, en esta última los profesores D. Carlos Lázaro y D. Alberto Domingo, utilizaron programas de cálculo para calcular la cubierta como es el "SAP".

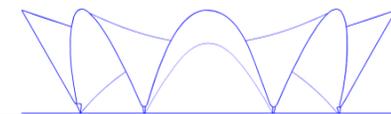
Dentro de las diferencias que existen entre las dos cubiertas se encuentran diferencias estructurales como son:

1. Candela implementó apoyos empotrados para la cubierta Hypar. Mientras tanto la cubierta del restaurante submarino los apoyos fueron articulados y a pesar de la colaboración de los ingenieros de caminos el diseño de los apoyos fueron articulados con técnicas actuales como en el uso de materiales y en la forma del diseño de esta articulación.
2. Candela no utilizó hipótesis de viento, sin considerar las acciones del viento en la cubierta, dejando así la cubierta trabajando a peso propio. Hoy en día se deben tomar en cuenta las acciones

de viento no tan solo por hacer cumplimiento con la normativa del documento básico de seguridad estructural si no más bien para mantener la seguridad de la estructura ante cualquier fenómeno de viento.



2.21. Plano de armado del restaurante de los manantiales de Xochimilco



2.7. Materiales



2.22. Imagen cemento portland



2.23. Imagen sobre la aplicación de agua



2.24. Imagen árido

Cemento:

Se utilizarán centenos explícitamente indicados en los planos o lo que se ha determinado en el “pliego general de Condiciones” para la admisión de Conglomerantes Hidráulicos. Tiene que cumplir a su vez con las condiciones de Instrucción y aprobado con carácter oficial por el Ministerio de Fomento. El cemento a utilizarse indica es un hormigón blanco BLII42.5.

Agua:

Se debe utilizar agua limpia y estar exentas de sustancias que puedan provocar daños al hormigón o al acero con el tiempo. Debe cumplir los preceptos de la Instrucción. Los márgenes máximos de cloruros y sulfatos serán en peso, los siguientes.

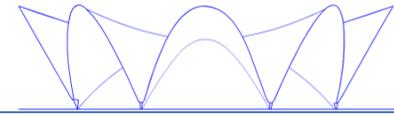
Cloruros expresados en ión Cl: 6.000p.p.m.

Sulfatos expresados en ión SO-4:1.000p.p.m.

En cualquier caso, antes de aplicar el agua, tiene que estar ensayado-

Áridos:

La selección de áridos para producir hormigón proyectado se adquiere mediante la selección y clasificación de materiales pétreos naturales, procedentes de partículas limpias y de calidad uniforme. El tamaño máximo de las partículas pétreas son de un máximo de 10 mm.



2.25. Imagen aditivos



2.26. Mallas de acero

**Aditivos:**

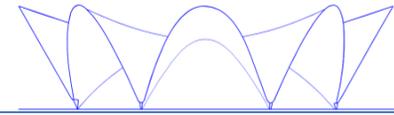
Para la utilización del aditivo adecuado, se realizan una serie de ensayos y comprobaciones que determinan la resistencia idónea a compresión. Utilizando un margen de tiempo de 25 horas, 7 días y a los 28 días aprox.

Acero:

Se colocaron mallas electro soldadas de 15*15 centímetros con barras de acero de 8 milímetros de diámetro B-500-S.

Fibras de acero trefiladas

Las fibras de acero trefiladas están hechas con alambres de acero inoxidable, en los extremos posee una forma de gancho para obtener mejor anclaje en el hormigón y una buena adherencia en la pasta. La incorporación de las fibras en el hormigón aportan mayor resistencia a compresión mediante el cual son las que mas se utilizan en el refuerzos de hormigones.



DETALLES DE LOS MATERIALES:

HORMIGÓN: H-30, de color blanco con 50 KG/M³ compuesto de fibras RC /80/35-BN.

CEMENTO: BLII42,5 con graduación a400 KG/M³.

NERVIOS: armados con vigas de sección variables que transfieren las cargas a los apoyos. Armados en la superficie con redondos de 8 mm c/ 15cm.

CIMBRADO: ejecutado a base de perfiles tubulares metálicos componiendo por su posición una estructura ortogonal.

ENCOFRADO: construido a base de madera machihembrada cuyas direcciones fueron colocadas en direcciones rectas siguiendo la dirección de la generatrices del paraboloide hiperbólico.

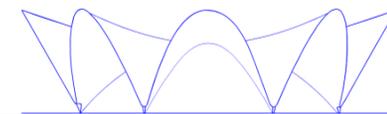
FIBRA DE ACERO :

Las fibras de aceros son componentes metálicos de pequeña sección y de corta longitud que se adicionan al hormigón, alterando así su comportamiento en estado endurecido con las características necesarias de conferirles ciertas propiedades específicas, estas suelen dispersarse aleatoriamente en la mezcla del hormigón.

TIPOLOGIA DEL HORMIGON CON FIBRAS:

- FRC Fiber Reinforced Concrete (HRF)
Hormigón reforzado con fibras
- SFRC Steel Fiber Reinforced Concrete (HRFA)
Fibra de acero de hormigón armado
- GFRC SYNTHETIC FIBER REINFORCED CONCRETE
Fibra sintética hormigón armado
- NFRC Natural Fiber Reinforced Concrete
Fibra Natural Hormigón Armado
- SIFCON Slurry Infiltrated Fibers concrete = fibras
(vf – 5 – 20%) + cemento + humo de sílice + metacaolin
o cenizas volantes.

Fuente: RODRIGUEZ MONTERO, José, Nuevos hormigones en la EHE- 08 Hormigones especiales.



2.8. Fibras metálicas



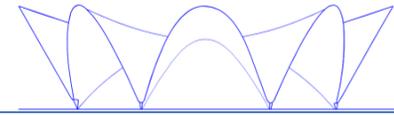
2.27. Imagen fibras metálicas

Fibras metálicas

Las fibras metálicas normalmente utilizadas en hormigones son las de acero por ser éstas las más eficaces y económicas, y por poseer el acero un módulo de elasticidad diez veces superior al del hormigón. Estas fibras presentan una buena adherencia a la pasta, tienen alto alargamiento de rotura y son fáciles de mezclar.

Las fibras metálicas son capaces de soportar esfuerzos a tracción que puede resistir al hormigón por adherencia, por este método se puede controlar más la fisuración y reducir la intensidad de la misma, al mismo tiempo se optimiza la tenacidad. Las fibras se presentan con diferentes tamaños, dependiendo del sistema de fabricación, las secciones, la rugosidad superficial y formas. Normalmente se consigue por trefilado continuo, cortándose el alambre resultante a las dimensiones adecuadas.

Fuente: RODRIGUEZ MONTERO, José, Nuevos hormigones en la EHE- 08 Hormigones especiales.



Las fibras de acero poseen muchas aplicaciones hoy en día en las construcciones, algunas de las aplicaciones son las siguientes:

Superficies de lamina delgada

- Donde no hay espacio para las barras
- Contenido alto en fibras (>5 % en volumen)
- las fibras aumentan la resistencia, la ductilidad y la tenacidad

Componentes que están sometidos localmente a cargas o deformaciones elevadas

- Escudo de protección en túneles
- estructuras resistentes a explosiones y vibraciones
- pilotes prefabricados para hincar

componentes determinados al control de fisuración

- forjados, soleras, pavimentos
- funciona como refuerzo secundario

La efectividad de este método de refuerzo matriz-fibra proporciona las siguientes propiedades:

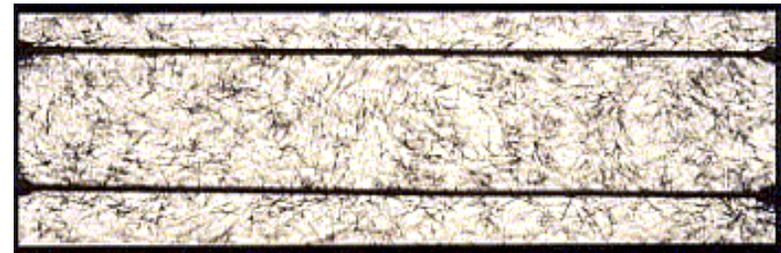
Proporciona resistencia (residual) a flexión

Mayor adherencia con la matriz del mismo orden

Distribuyen la figuración

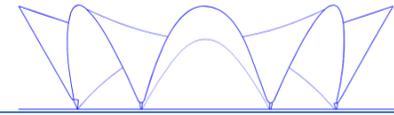
Un mayor modulo de elasticidad que la del hormigón

Aumenta la ductibilidad.

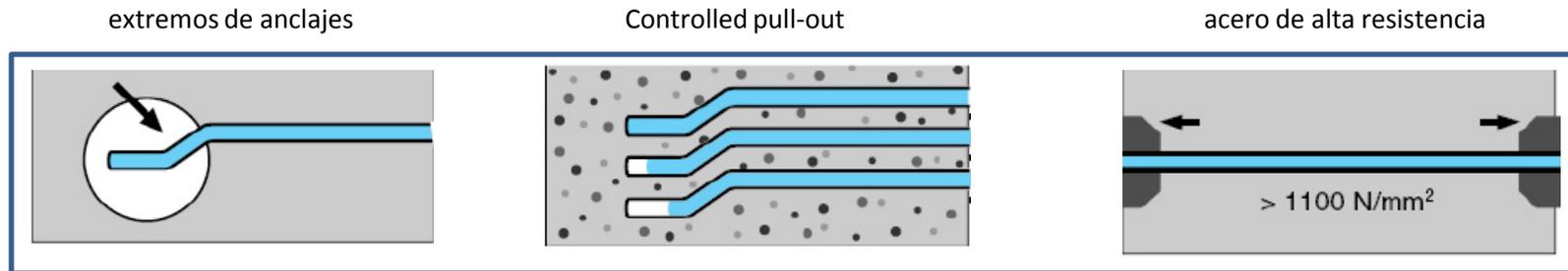


2.28. Imagen de rayos x

Fuente: RODRIGUEZ MONTERO, José, Nuevos hormigones en la EHE- 08 Hormigones especiales.



Mejoras y tipologías de anclajes en las fibras:

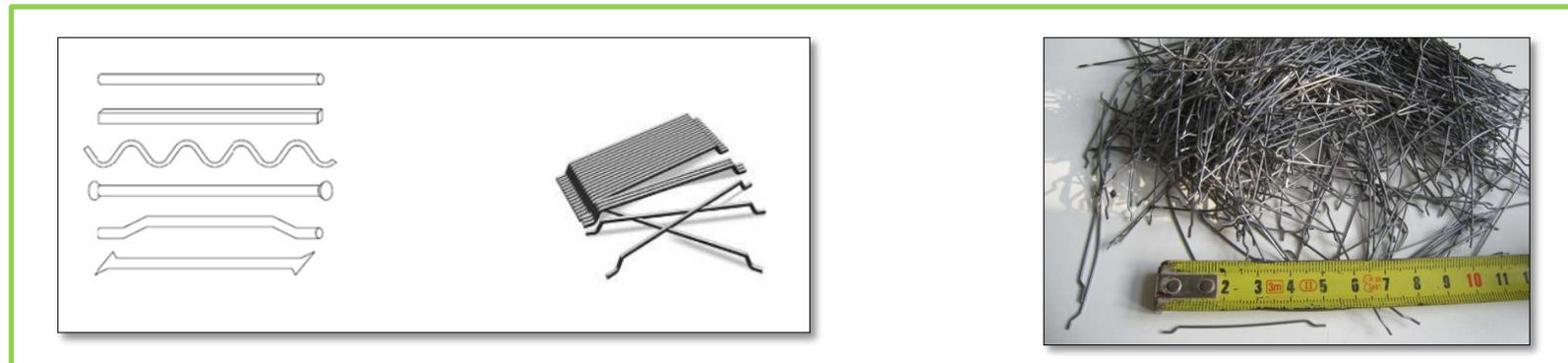


2.29. Imagen de anclajes de las fibras

Se pretende reducir al máximo l_c para incrementar la eficiencia de la fibra añadida

Además se pretende incrementar la resistencia a tracción de la fibra.

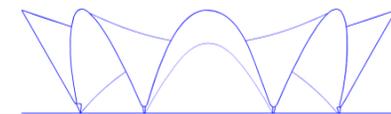
Debido a la extracción del gancho puede controlar las deformaciones



2.30. Imagen dimensiones visual de las fibras

En esta imagen se puede observar las dimensiones de unas de las fibras de acero, por consiguiente en esta imagen se muestran los tipos y diseños de las formas de las fibras.

Fuente: RODRIGUEZ MONTERO, José, Nuevos hormigones en la EHE- 08 Hormigones especiales.



Se han realizado muchos trabajos que han permitido mejorar el conocimiento del comportamiento del hormigón con el SFRC permitiendo mejorar y perfeccionar este tipo de tecnología. Las investigaciones acerca de este material nos garantizan realizar trabajos sin riesgos de separación, con el empleo de fibras mejora el comportamiento a tracción, la fatiga y el control de fisuración.

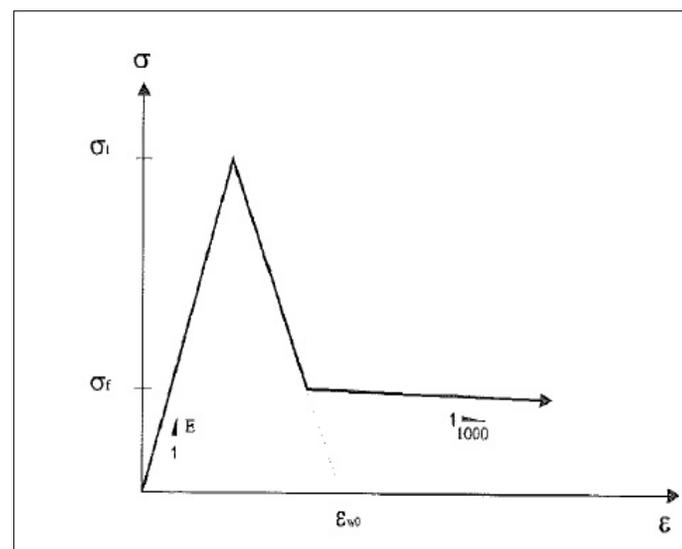
Para la construcción de la cubierta del restaurante del Oceanográfico se realizaron investigaciones que han sido desarrolladas por la Universidad Politécnica de Valencia gracias al programa de “Proyectos” financiado por dicha universidad y con el apoyo económico de las empresas CM. S.L. También contando con la colaboración de la empresa de Hormigones Projectados S.A. con la disponibilidad de medios materiales.

Parece ser evidente que para la construcción de estructuras laminares exige que el hormigón reforzado con fibras de acero es un material apropiado para construir dicha tipología estructural. Debido a su delgado espesor se hace realmente complicado realizar un armado ajustado mediante barras en dos direcciones.

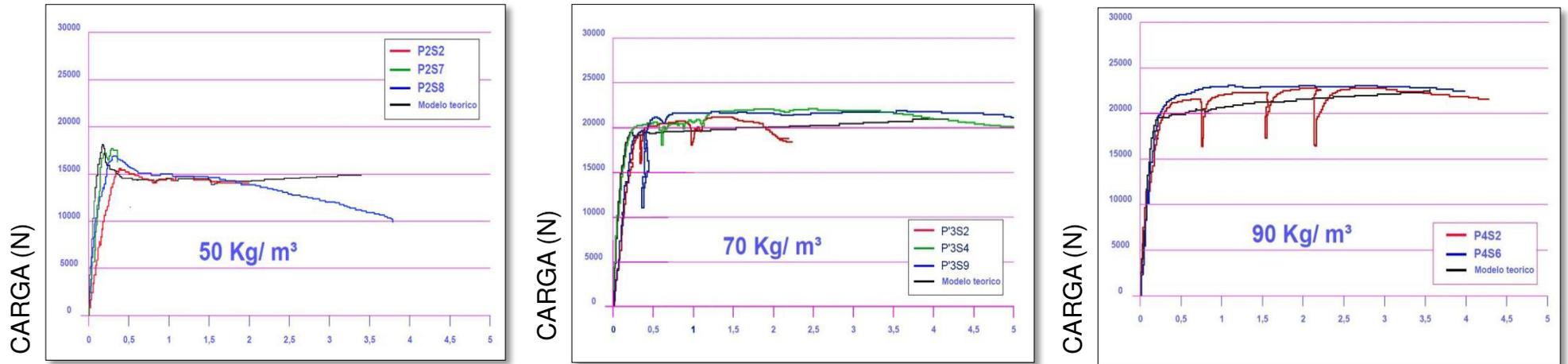
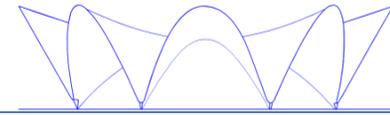
Modelo de comportamiento del material SFRC.

Los parámetros principales que caracterizan el actual modelo son:

- Resistencia máxima a tracción antes de la fisuración σ_f ,
- Modulo de elasticidad del SFRC “ E ”
- Resistencia residual “ σ_r ”.
- La deformación unitaria “ ϵ_{wo} ”.



2.31. Figura del modelo inicialmente propuesto de comportamiento del SFRC a tracción



2.32. Resultado grafico de las pruebas de cargas

Al determinar los resultados de estas tres graficas se puede analizar que los resultados de los ensayos previos a la construcción de la cubierta son:

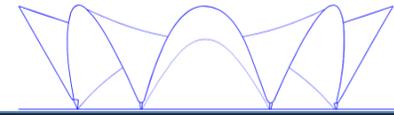
En la forma en que se añade mas fibras de acero a la masa de hormigón se nota gráficamente como va aumentando cada vez mas la fluencia, como se observa para cargas de 50, 70, 90 Kg/m³. siendo así el comportamiento que va adoptando es mas dúctil.

En el grafico de 90 Kg/m³, observando el recorrido de la línea azul esta proyecta un comportamiento dúctil siendo así una curva de tensión

esta deformación es mas parecida a la acción de cómo rompe el acero ante la rotura del hormigón.

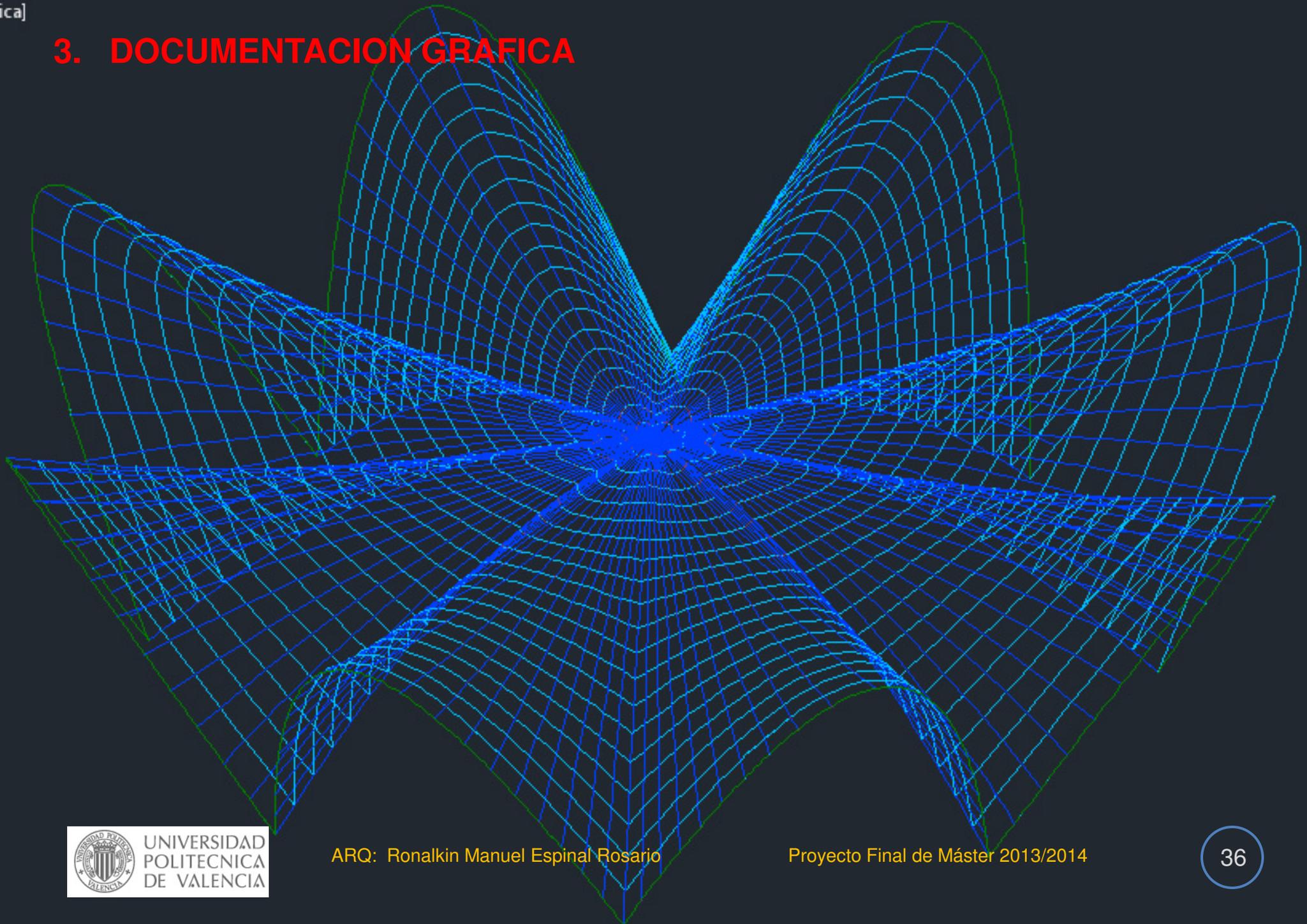
A pesar de los resultados de estos ensayos y tomando en cuenta los resultados los técnicos proyectistas de la cubierta habían planteado como posibilidad realizar la estructura de la cubierta sin el empleo de acero, siendo así únicamente hormigón con fibras de acero. Al final se llega a la conclusión de no sustituir la cuantía de acero en su totalidad y optan por disminuir a 40 Kg/m³ la cantidad de fibras de acero conservando así gran parte de su armadura pasiva.

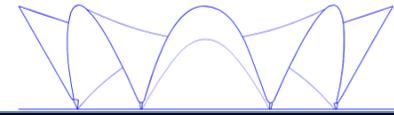
Fuente: A. Domingo, P. Cerna, A. Lázaro, estudio del comportamiento del hormigón con fibras de acero en elementos laminares de pequeño espesor y su comportamiento post - fisuración



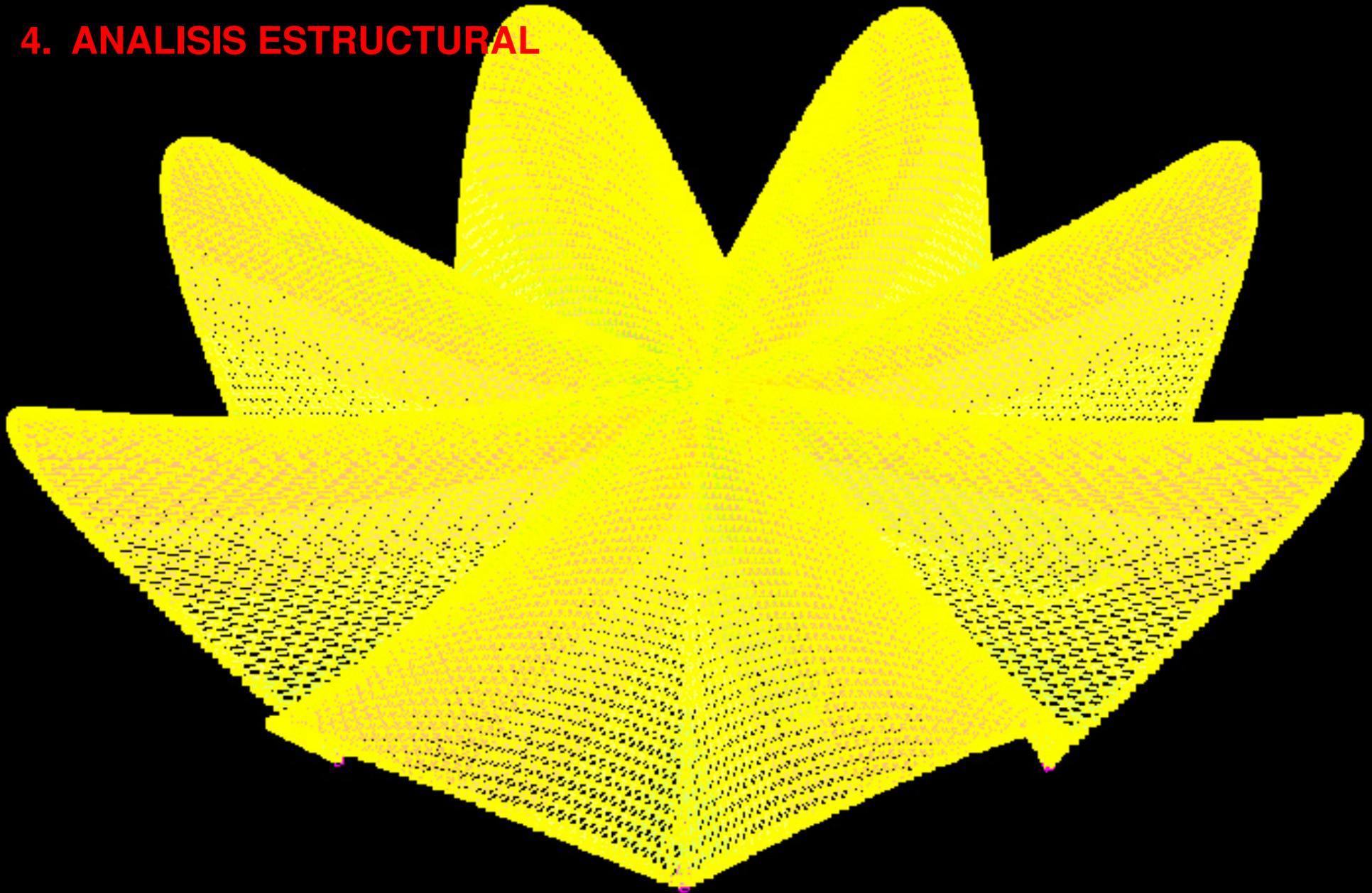
brica]

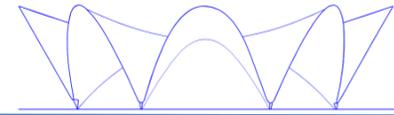
3. DOCUMENTACION GRAFICA





4. ANALISIS ESTRUCTURAL





4. ANALISIS ESTRUCTURAL

El calculo de la cubierta del oceanográfico de Valencia, ha tenido como base el cumplimiento de las exigencias de la normativa española.

La construcción de la cubierta del oceanográfico fue ejecutada con los siguientes materiales:

Hormigón HA-30 (30 MPa)

Acero B-500-S (500 Mpa)

40 Kg de Fibras Dramix

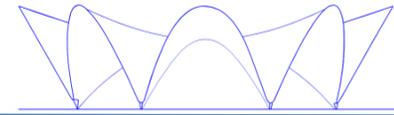
ANALISIS DE CARGAS DE LA CUBIERTA

El peso propio de la cubierta es calculado mediante el programa architrave con los datos correspondiente de los materiales determinados, como la cubierta posee distintos espesores en

diferente áreas serán tomado en cuenta en el modelo de tres de caras del modelo de calculo.

Nieve: debido a las pocas incidencia de nieve en la ciudad de Valencia no es considerada como una carga, en la cual ha sido compensada con las acciones de cargas que requiere el uso de mantenimiento.

Viento: las acciones del viento son fuerzas a considerar en las fachadas de los edificios, estos esfuerzos se encuentran considerados en la normativa del código técnico. Debido a que el oceanográfico de Valencia posee una simetría radial en la planta del edificio su efecto es extrapolado en las caras del edificio. Según las especificaciones de la normativa española se toma como base la presión dinámica del viento el valor de $0,5\text{kN/m}^2$ y el coeficiente de exposición es variable de acuerdo a la altura y su ubicación. Para los valores del coeficiente de presión y succión se adopta el valor de $0,8\text{kN/m}^2$.



ACCIONES DEL VIENTO

El calculo de la cubierta consistirá en determinar los esfuerzos a que podría estar sometido la lamina. Analizando como como primera hipótesis de calculo el peso propio es una acción permanente a que esta sometida aun que no es la única acción de esfuerzo a que esta sometida se debe tomar en cuenta mas hipótesis. Otras hipótesis que se debe tomar en cuenta son Las acciones del viento, debido a que las acciones del viento son esfuerzos considerables que pueden afectar a la estabilidad de la cubierta. Debido a la orientación y a la localización de la edificación la acción del viento puede incidir en la misma de muchas maneras distintas, para apaciguar el efecto que esta acción incide en cualquier tipo de proyecto es recomendable por la normativa del código técnico recurrir a las recomendaciones del anejo "3.3.2. acción del viento".

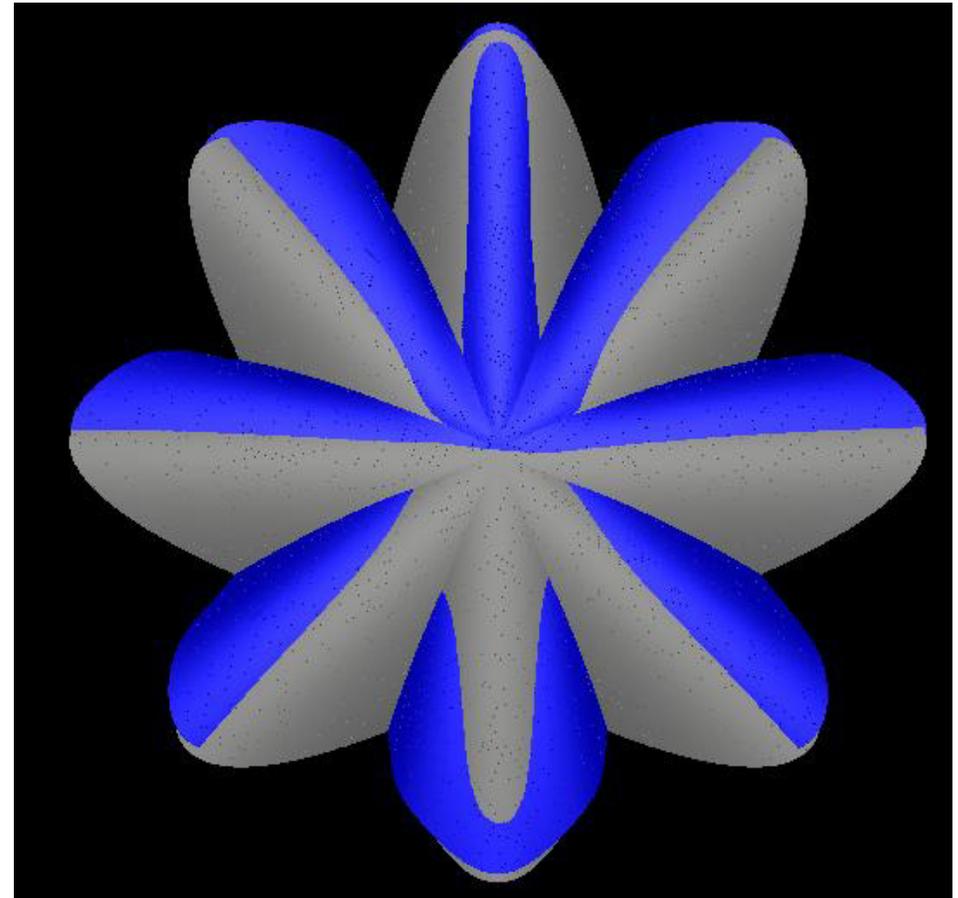
Como calculo preliminar de este proyecto se obtiene la presión y la succión aplicando la siguiente formula, datos obtenido del anexo.

Presión:

$$q_e = q_b * c_e * c_p = 0,5 * 3,1 * 0,8 = 1,24 \text{ kN}$$

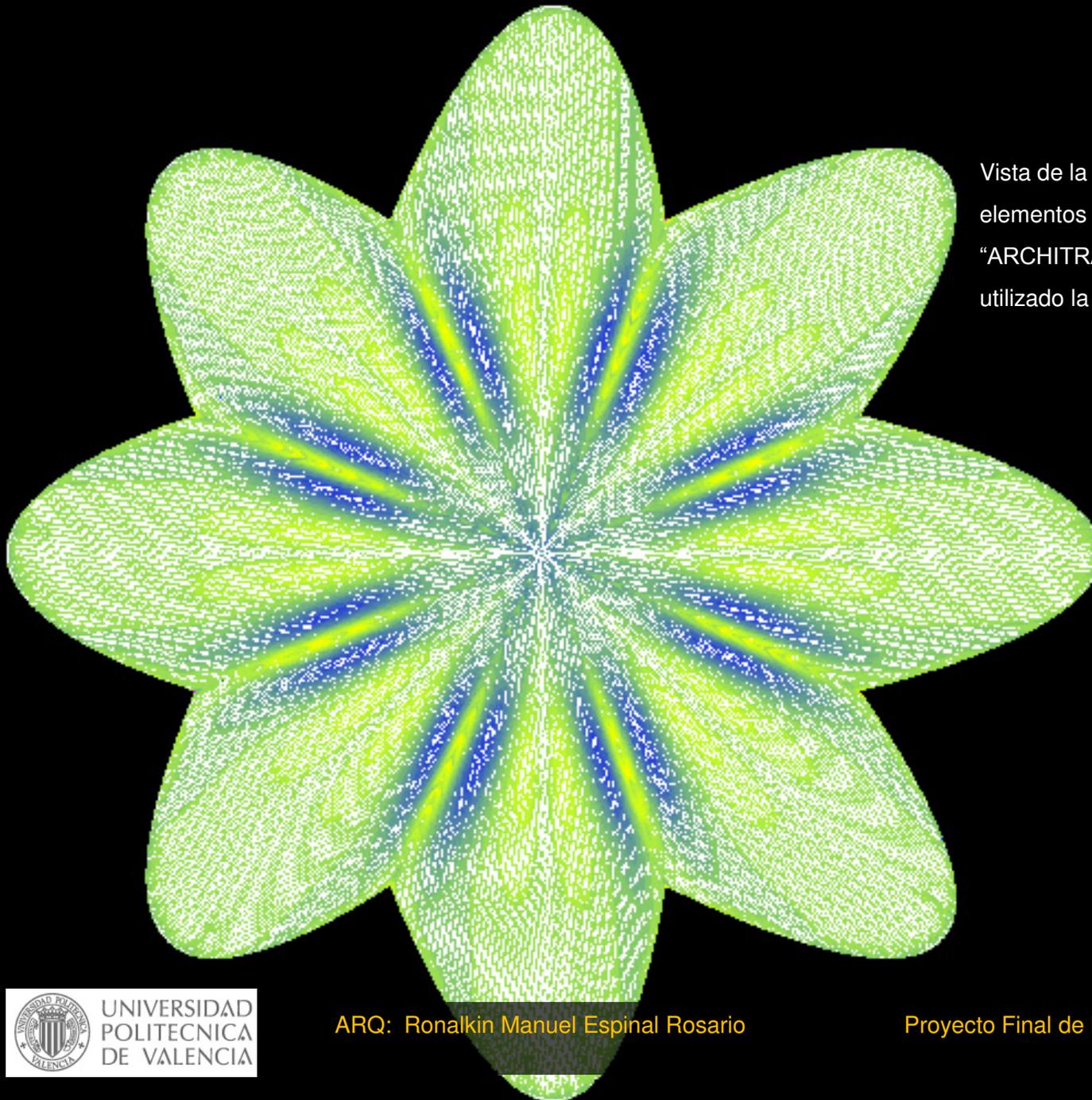
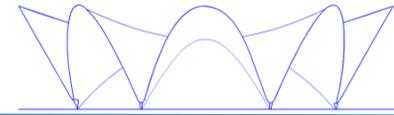
Succión;

$$q_e = q_b * c_e * c_s = 0,5 * 3,1 * -0,4 = 0,62 \text{ kN}$$

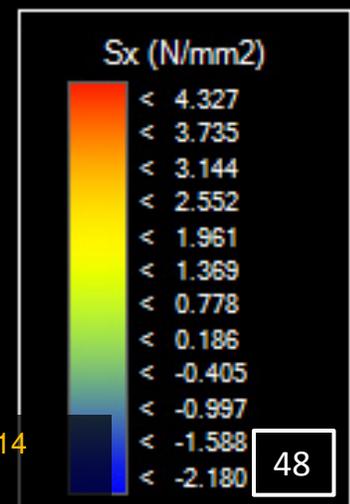


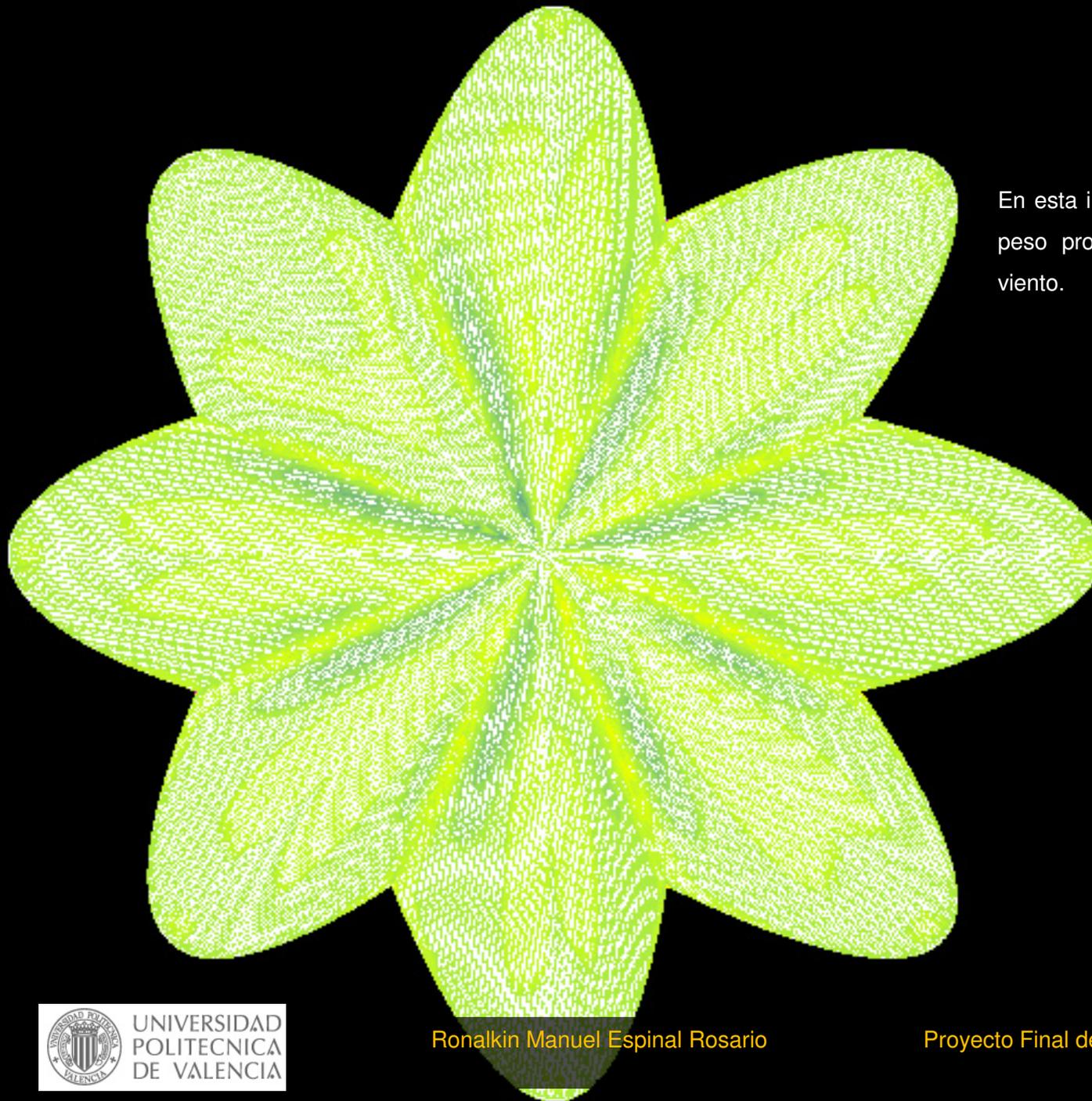
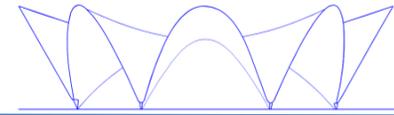
4.01. Grafico de la cubierta en planta sometida a esfuerzos del viento



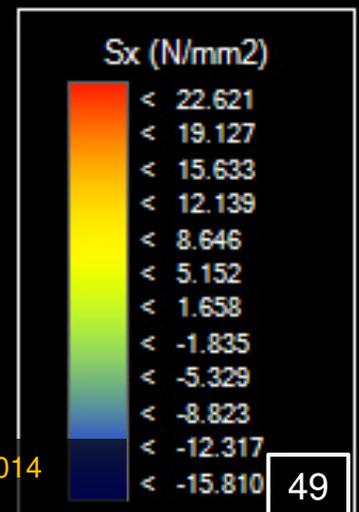


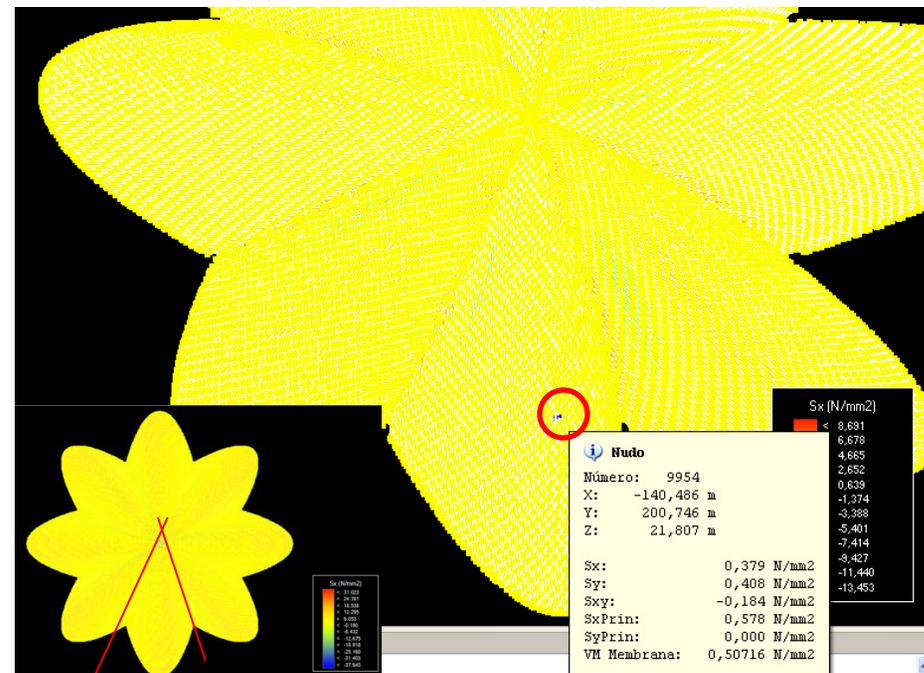
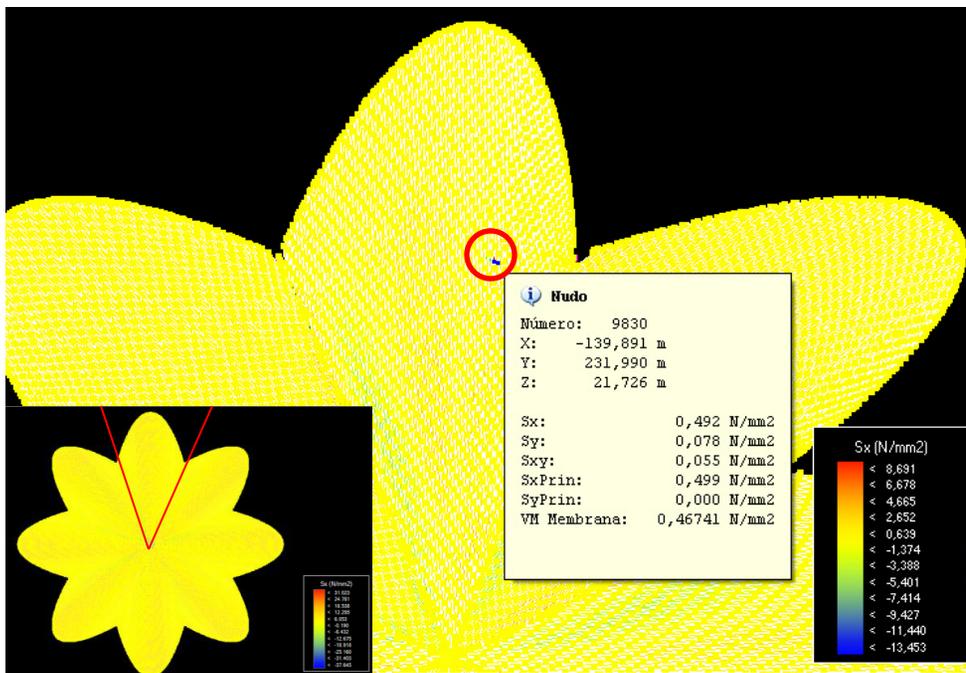
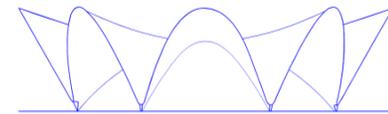
Vista de la cubierta mediante el calculo de elementos finitos utilizando la plataforma de "ARCHITRAVE", en esta imagen se ha utilizado la hipótesis de peso propio.





En esta imagen se ha utilizado la hipótesis de peso propio combinada con la hipótesis de viento.





Calculo de la membrana a tracción:

$$1000\text{mm} \times 60\text{mm} = 60.000\text{mm}^2$$

$$100\text{cm}/15\text{cm} = 6.66 \leq 7$$

$$7\varnothing 8\text{mm}\varnothing$$

$$S_x = 0,492 \text{ N/mm} \quad 0,492 \cdot 60,000 = 49.440 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \pi \cdot r^2 / 4 \quad 3,14 \cdot 4^2 = 50,24 \quad S \cdot 7 \quad S = 50,24 \cdot 7 = 351,68$$

$$B \ 500/1,15 = 434,78 \quad 434,78 \cdot 351,68 = \underline{152.903 \text{ N/mm}^2}$$

$$\underline{152.903 \text{ N/mm}^2} > 80.580 \text{ N/mm}^2$$

Calculo de la membrana a tracción:

$$1000\text{mm} \times 60\text{mm} = 60.000\text{mm}^2$$

$$100\text{cm}/15\text{cm} = 6.66 \leq 7$$

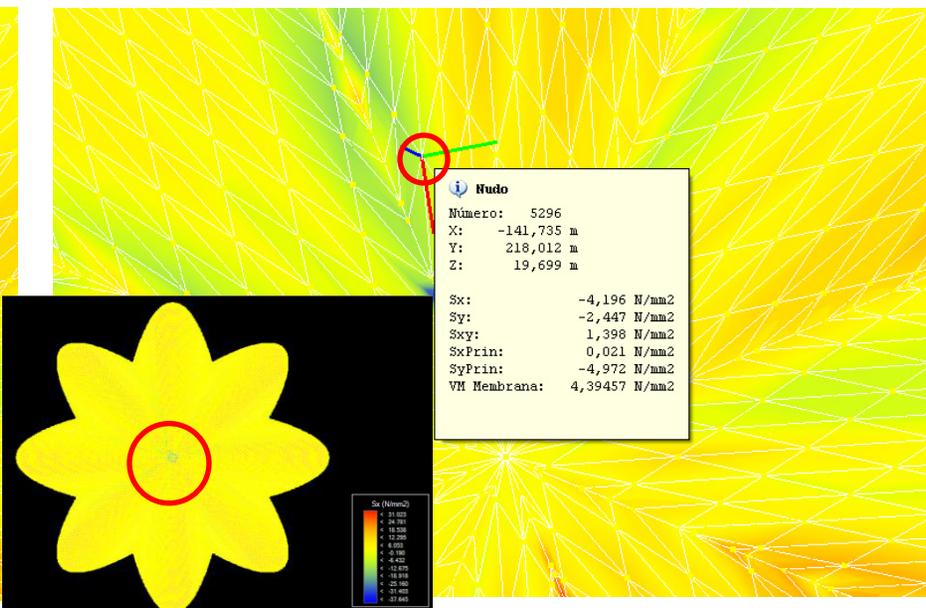
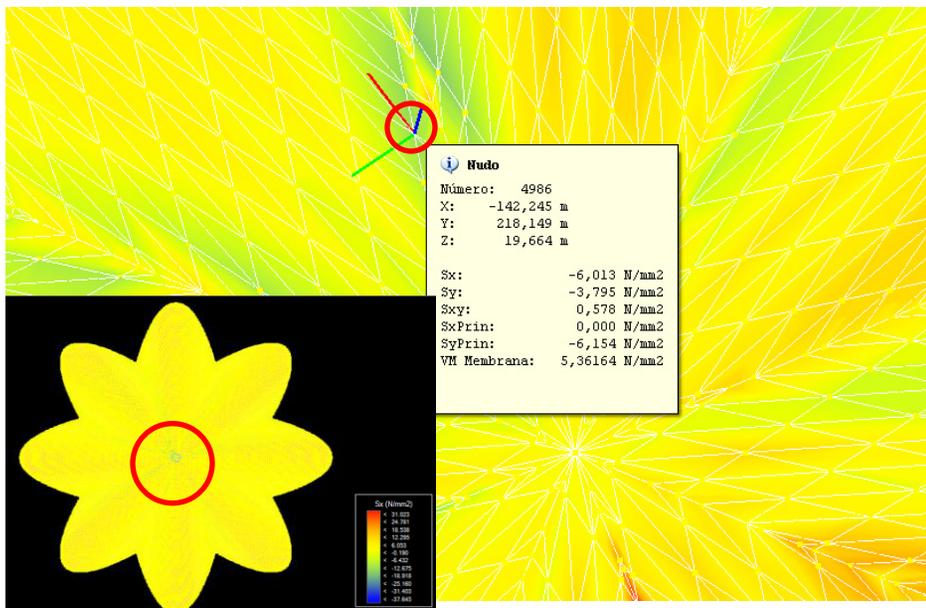
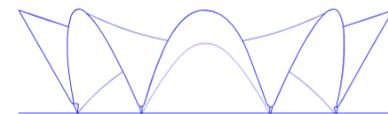
$$7\varnothing 8\text{mm}$$

$$S_y = 0,408\text{N/mm} \quad 0,780 \cdot 60,000 = 46.800\text{N/mm}^2$$

$$S = \pi \cdot r^2 / 4 \quad 3,14 \cdot 4^2 = 50,24 \quad S \cdot 7 \quad S = 50,24 \cdot 7 = 351,68$$

$$B \ 500/1,15 = 434,78 \quad 434,78 \cdot 351,68 = \underline{152.903 \text{ N/mm}^2}$$

$$\underline{152.903 \text{ N/mm}^2} > 46.800 \text{ N/mm}^2$$



Calculo de la membrana a tracción:

$$1000\text{mm} \times 60\text{mm} = 60.000\text{mm}^2$$

$$100\text{cm}/15\text{cm} = 6.66 \leq 7$$

7ø12mm

$$S_x = 6,013 \text{ N/mm} \quad 6,013 \cdot 60.000 = 360.780 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \pi \cdot r^2 / 4 \quad 3,14 \cdot 6^2 = 113,04 \quad S \cdot 7 \quad S = 113,04 \cdot 7 = 791,28$$

$$B \ 500/1,15 = 434,78 \quad 434,78 \cdot 791,28 = \underline{344.032,7184 \text{ N/mm}^2}$$

$$\underline{344.032,7184 \text{ N/mm}^2} < 360.780 \text{ N/mm}^2$$

reforzar la zona nervio ø12mm A 12,5 mm

Calculo de la membrana a tracción:

$$1000\text{mm} \times 60\text{mm} = 60.000\text{mm}^2$$

$$100\text{cm}/15\text{cm} = 6.66 \leq 7$$

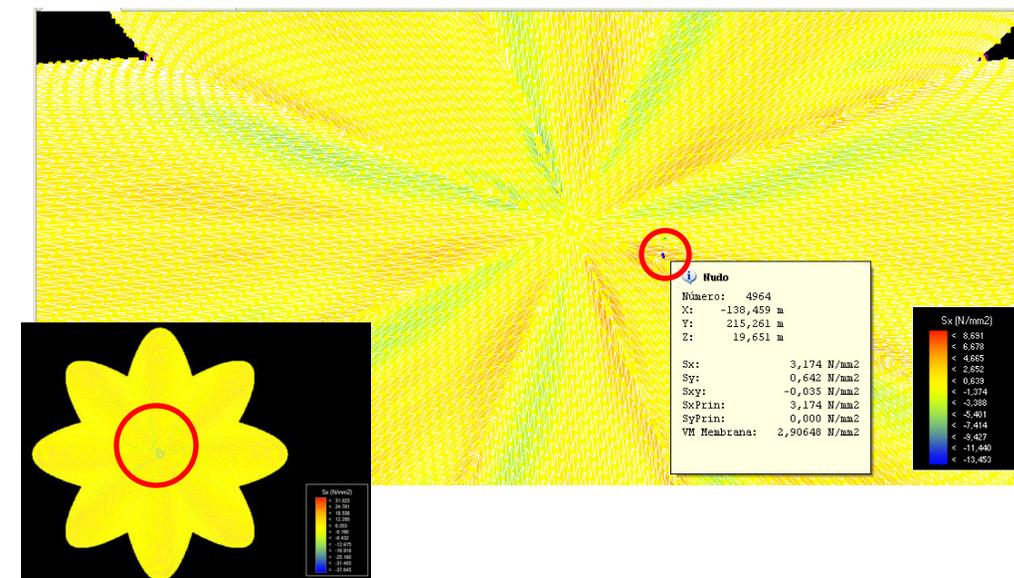
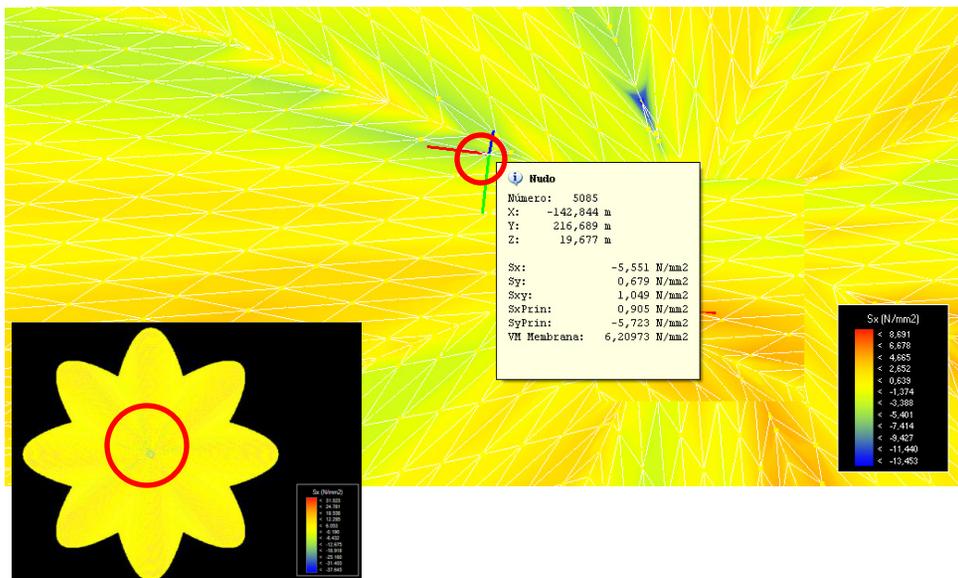
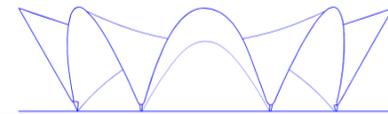
7ø12mm

$$S_x = 4,196 \text{ N/mm} \quad 4,196 \cdot 60.000 = 251.170 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \pi \cdot r^2 / 4 \quad 3,14 \cdot 6^2 = 113,04 \quad S \cdot 7 \quad S = 113,04 \cdot 7 = 791,28$$

$$B \ 500/1,15 = 434,78 \quad 434,78 \cdot 791,28 = \underline{344.032,7184 \text{ N/mm}^2}$$

$$\underline{344.032,7184 \text{ N/mm}^2} > 251.170 \text{ N/mm}^2$$



Calculo de la membrana a tracción:

Calculo de la membrana a tracción:

$1000 \times 60\text{mm} = 60.000\text{mm}^2$ $100/15 = 6.66 \leq 7$

$1000 \times 60\text{mm} = 60.000\text{mm}^2$ $100/15 = 6.66 \leq 7$

7Ø12mm

7Ø10mm

$S_x = 5,551 \text{ N/mm}$ $5,551 \cdot 60.000 = 333.060 \text{ N/mm}^2$

$S_x = 3,174 \text{ N/mm}$ $3,174 \cdot 60.000 = 190.440 \text{ N/mm}^2$

$S = \pi \cdot r^2 / 4$ $3,14 \cdot 6^2 = 113,04$ $S \cdot 7$ $S = 113,04 \cdot 7 = 791,28$

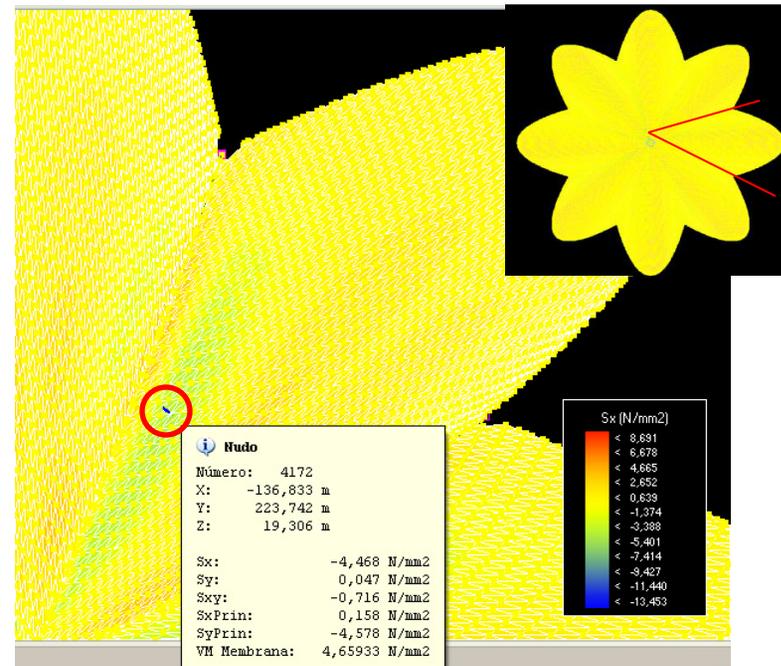
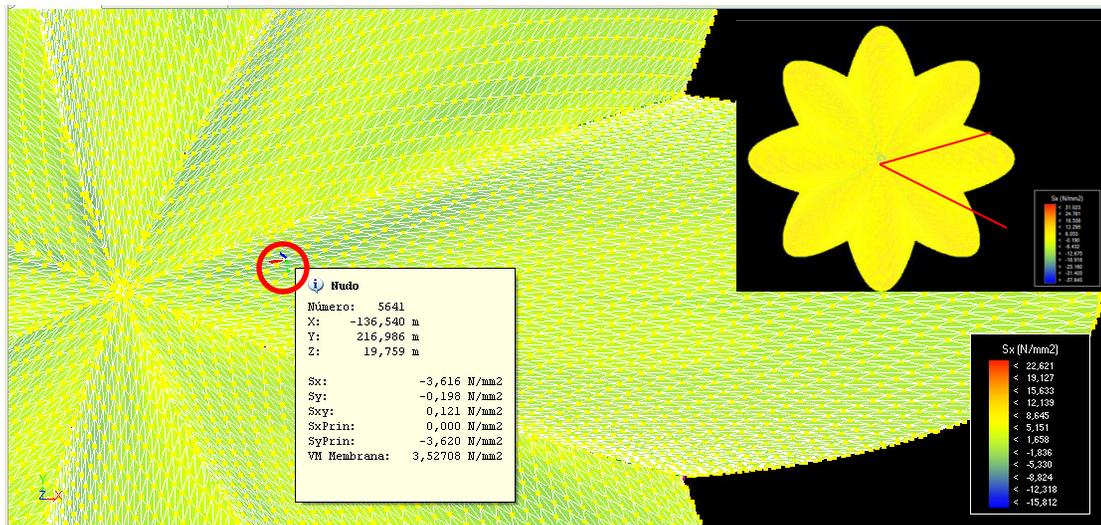
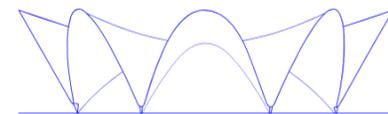
$S = \pi \cdot r^2 / 4$ $3,14 \cdot 5^2 = 78,5$ $S \cdot 7$ $S = 78,5 \cdot 7 = 549,5$

$B \ 500/1,15 = 434,78$ $434,78 \cdot 549,5 = \underline{344.032,7184 \text{ N/mm}^2}$

$B \ 500/1,15 = 434,78$ $434,78 \cdot 791,98 = \underline{238.911,61 \text{ N/mm}^2}$

$\underline{344.032,7184 \text{ N/mm}^2} > 333.060 \text{ N/mm}^2$

$\underline{238.911,61 \text{ N/mm}^2} > 193.440 \text{ N/mm}^2$



Calculo de la membrana a tracción:

$$1000 \times 60\text{mm} = 60.000\text{mm}^2 \quad 100/15 = 6.66 \leq 7$$

7Ø10mm

$$S_x = 3,616 \text{ N/mm} \quad 3,616 \cdot 60.000 = 216.960 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \pi \cdot r^2 / 4 \quad 3,14 \cdot 5^2 = 78,5 \quad S \cdot 7 \quad S = 78,5 \cdot 7 = 549,5$$

$$B \ 500/1,15 = 434,78 \quad 434,78 \cdot 549,5 = \underline{238.911,61 \text{ N/mm}^2}$$

$$\underline{238.911,61 \text{ N/mm}^2} > 216.960 \text{ N/mm}^2$$

Calculo de la membrana a tracción:

$$1000 \times 60\text{mm} = 60.000\text{mm}^2 \quad 100/15 = 6.66 \leq 7$$

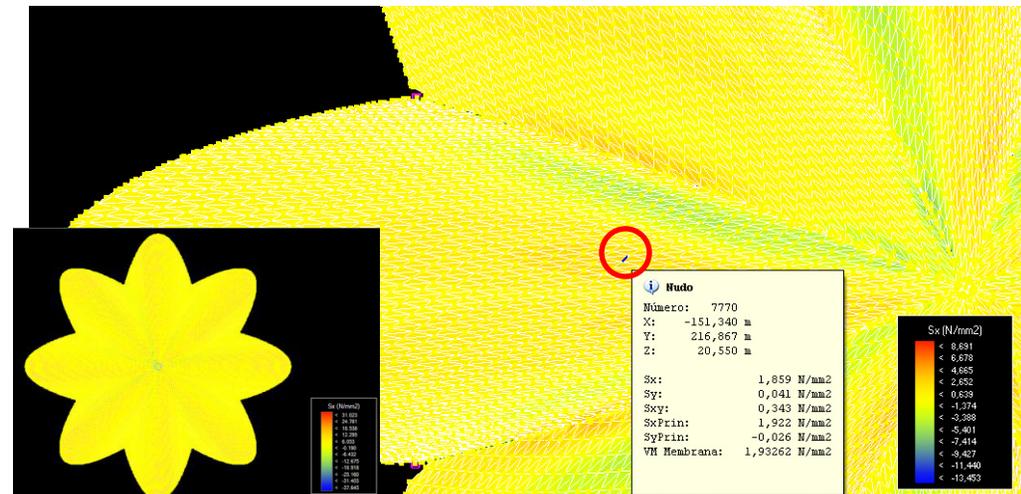
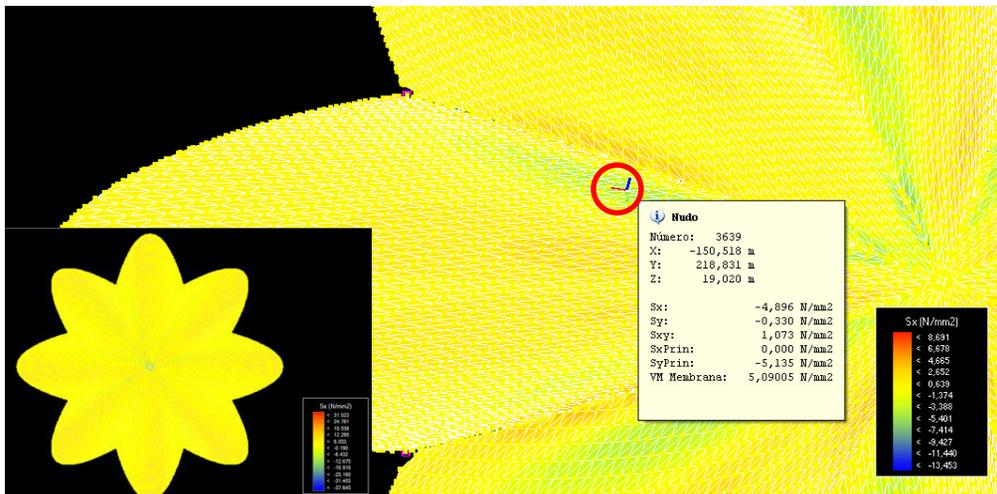
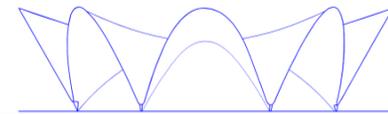
7Ø12mm

$$S_x = 4,468 \text{ N/mm} \quad 4,468 \cdot 60.000 = 268.080 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \pi \cdot r^2 / 4 \quad 3,14 \cdot 6^2 = 113,04 \quad S \cdot 7 \quad S = 113,04 \cdot 7 = 791,28$$

$$B \ 500/1,15 = 434,78 \quad 434,78 \cdot 791,98 = \underline{344.032,7184 \text{ N/mm}^2}$$

$$\underline{344.032,7184 \text{ N/mm}^2} > 268.080 \text{ N/mm}^2$$



Calculo de la membrana a tracción:

$$1000 \times 60\text{mm} = 60.000\text{mm}^2 \qquad 100/15 = 6.66 \leq 7$$

7Ø12 A 15mm

$$S_x = 4,896 \text{ N/mm} \qquad 4,896 \cdot 60.000 = 293.760 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \pi \cdot r^2 / 4 \quad 3,14 \cdot 6^2 = 113,04 \quad S \cdot 7 \quad S = 113,04 \cdot 7 = 791,28$$

$$B \ 500/1,15 = 434,78 \qquad 434,78 \cdot 791,98 = \underline{344.032,7184 \text{ N/mm}^2}$$

$$\underline{344.032,7184 \text{ N/mm}^2} > 293.760 \text{ N/mm}^2$$

Calculo de la membrana a tracción:

$$1000 \times 60\text{mm} = 60.000\text{mm}^2 \qquad 100/15 = 6.66 \leq 7$$

7Ø10 A 15mm

$$S_x = 3,535 \text{ N/mm} \qquad 3,535 \cdot 60.000 = 212.100 \text{ N/mm}^2$$

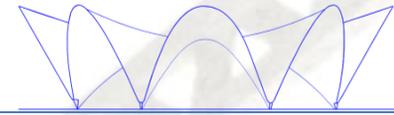
$$S = \pi \cdot r^2 / 4 \quad 3,14 \cdot 5^2 = 78,5 \qquad S \cdot 7 \quad S = 78,5 \cdot 7 = 549,5$$

$$B \ 500/1,15 = 434,78 \qquad 434,78 \cdot 549,5 = \underline{238.911,61\text{N/mm}^2}$$

$$238.911,61\text{N/mm}^2 > 212.100 \text{ N/mm}^2$$



5. ANALISIS CONSTRUCTIVOS



5.1. La Cimbra

La construcción del encofrado de madera fue sustentada por torres de cimbrado y las vigas de madera se colocaron en dirección de los ejes de los paraboloides. Estas torres han sido formadas por módulos de estructuras tubulares de 1,5 x 1,5 x 1,5 m se ajustaron y se agruparon uno sobre otros para establecer la estructura matriz de la cimbra. Cada torre posee un método de husillos en su parte superior para fortalecer y nivelar el encofrado. La elevación de cada

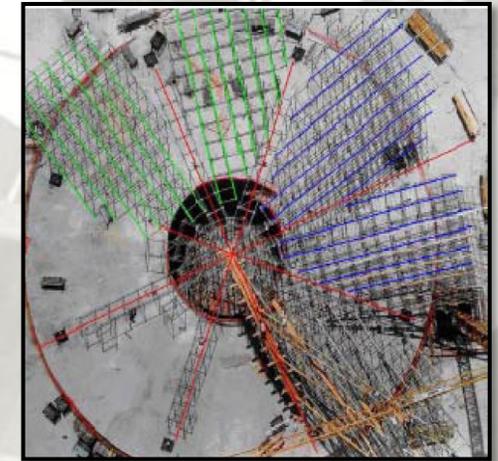
husillo fue colocado considerando las coordenadas de posición y la geometría de la lámina. De este modo, las torres de cimbrado fueron tratadas en dos grupos. El primer grupo sostenía el encofrado del nervio radial y consistía de torres ubicadas en círculos concéntricos bajo los nervios. El segundo grupo sujetaba el encofrado de los lóbulos, y consistía en líneas de torres localizadas a lo largo del eje x (o Y) en lóbulos de paraboloides hiperbólicos alternos.



5.01. Cimbrado de la cubierta

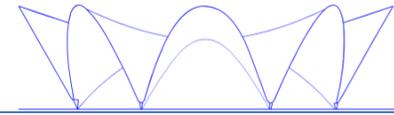


5.02. Encofrado de la cubierta



5.03. Montaje del cimbrado

Fuente: EN BLANCO II. Segundo congreso de la arquitectura blanca.



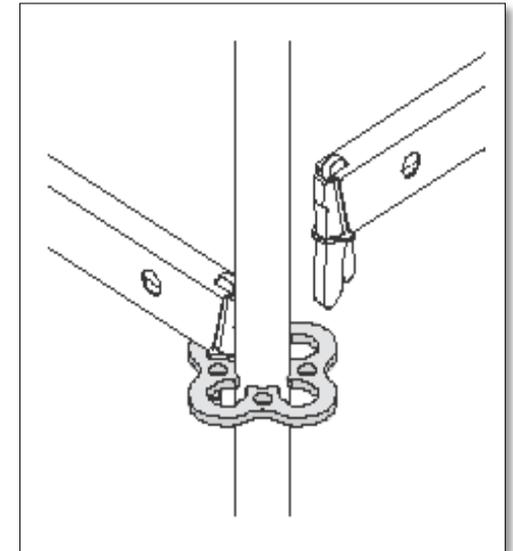
5.04. Diseño del cimbrado

Para armar la cimbra del encofrado se realizo una modulación de 1,50 m. x 1,50 m. de modo que cada paraboloide requirió la colocación de 101 puntales para soportar el encofrado.



5.05. Colocación de vigas Peri

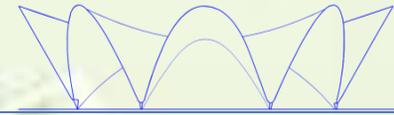
En el montaje de los andamios se utilizaron cimbra PERI UP ROSETT, cimbras de fácil montaje diseñada especialmente por su uso sin anclaje, las tres personas que se encargaron para el montaje de cimbra necesitaron 794 horas de trabajo. Se opto por utilizar vigas GT 24 a nivel debido a su resistencia para grandes esfuerzos.



5.06. Conexión de la cimbra

Como pieza central del sistema PERI UP Rosett posee un nudo de gran rigidez, compuestos por unos orificios en las rosetas que permiten fijar la colocación de los cabezales de cada correa en posición recta.

Fuente: EN BLANCO II. Segundo congreso de la arquitectura blanca.



5.2. El encofrado

Para la construcción del encofrado se utilizó la madera de pino. La ejecución de esta superficie de madera fue colocada sobre dos familias de vigas de madera. La primera familia de vigas de madera fue construida y ajustada sobre los husillos de las torres de cimbrado; estas vigas se colocaron paralelas con respecto al eje x (o en lóbulos alternos) de cada lóbulo del paraboloide hiperbólico.



5.07. Viga de tres apoyos

Como se muestra en este esquema las vigas estaban apoyadas en tres puntos y fijadas mediante cuñas de madera. Las dimensiones de este tipo de vigas eran de 4mts. de longitud 20 cm de canto y 8 cm de espesor.



5.08. Cruce de vigas

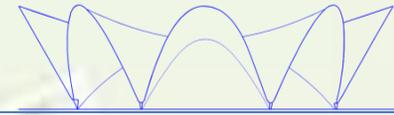
Viga en celosía colocada encima de la primera familia de madera cubierta en su parte exterior por una chapa metálica usado como función protectora para evitar que la madera se agriete por exceso de presión.



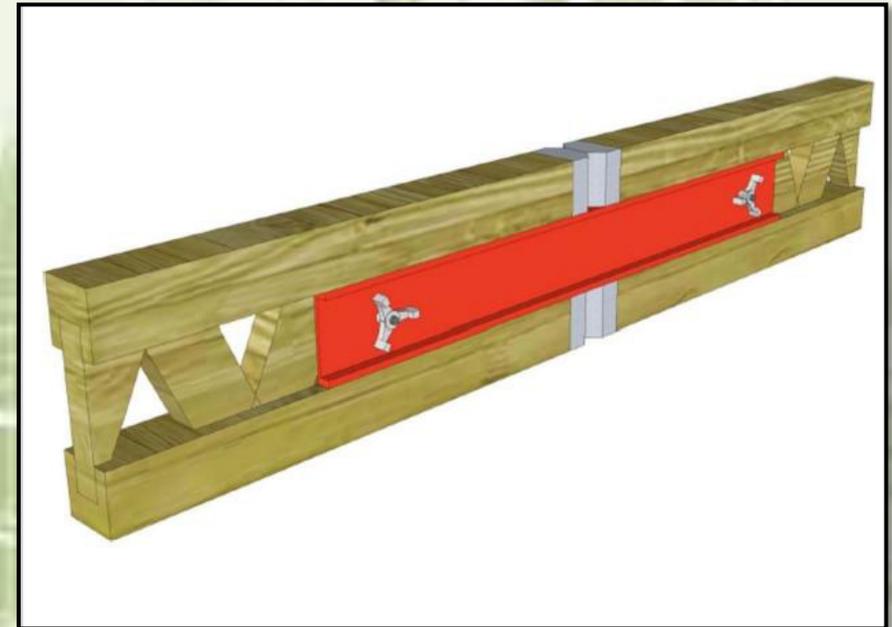
5.09. Detalle de los husillos

Detalle de los usillos que soportan la viga de madera fijados con usillos.

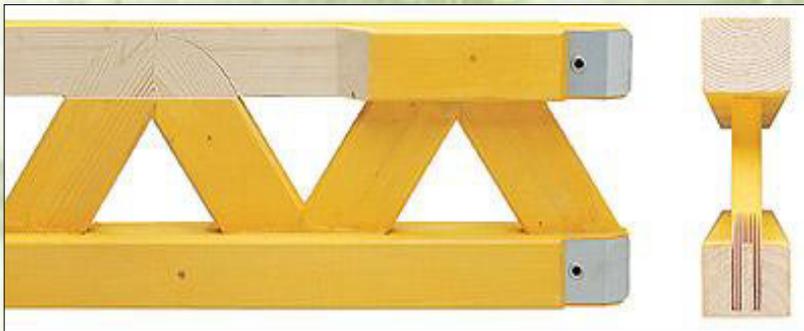
Fuente: VINAT JARQUE, Sergio, "construcción de la cubierta del restaurante submarino"



En relación a la segunda familia, estaba formada por vigas de madera en celosía. Ha sido colocada sobre las anteriores siguiendo la dirección opuesta a las primeras y siguiendo el eje y (o x) en lóbulos alternos. El área de la superficie final ha sido realizada con madera de pino clavadas en la parte superior de la segunda familia de las vigas. La madera fueron colocadas y ajustadas en la dirección del eje X o Y orientadas en dirección de la primera familia de las vigas. Ha sido necesario establecer pequeñas variaciones en relación de la madera debido al canto a de las tablas. La duración del montaje fue de un mes y medio para colocar todas las vigas del encofrado de madera.



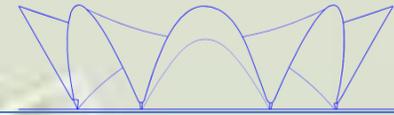
5.11. Unión de vigas con platinas atornilladas



5.10. Detalle de la viga peri

En esta imagen se detalla como se unía una viga con la otra, utilizando un mecanismo de refuerzo entre la celosía mediante platinas metálicas atornilladas. El tipo de platinas usadas eran de tipo "UPN" 120 con un atornillado especial.

Fuente: VINAT JARQUE, Sergio, "construcción de la cubierta del restaurante submarino"



5.12. Encofrado del nervio de la cubierta

La confluencia que se formaba en las gargantas de los distintos paraboloides del techo requirieron una ejecución muy cuidadosa.



5.13. Instalación del encofrado

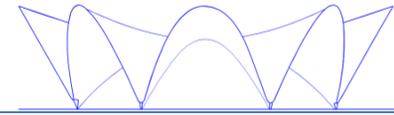
En la instalación del encofrado se utilizaron madera de pino de 2 m. de longitud y de 8,5 cm de ancho. la colocación se realizo in situ sobre el cimbrado ya colocado, posteriormente después de haber finalizado con uno de los primeros lóbulos se diseño la plantilla para seguir construyendo el resto de uniones entre encofrado y apoyo.



5.14. Vista y detalle de la culminación del encofrado

Con la culminación del encofrado de manera que todos los andamios PERI UP. Queden cubiertos se puede proceder a la colocación de las armaduras.

Fuente: EN LANCO II. Segundo congreso de la arquitectura blanca.

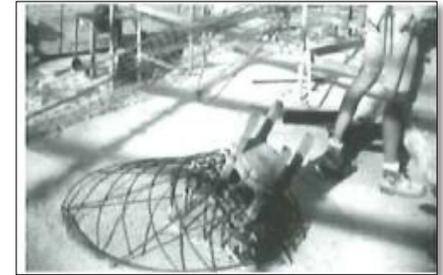


5.4. El encofrado de los apoyos



5.15. Vista interior del encofrado del cilindro

En la construcción del encofrado de los apoyos fueron trabajos realizados in situ, debido a que la superficie resultante es proveniente de las intersecciones de los paraboloides contiguos. En una primera fase se construyó un cilindro completo el cual fue colocado en el cimbrado. Posteriormente la madera del encofrado del cilindro tuvo que ser recortada para que pudiese encajar con el diseño. Luego de haber concluido con uno de los lóbulos este primer cilindro fue utilizado como plantilla para seguir construyendo el resto de uniones entre los encofrados y los apoyos.



5.18. Armado de la base del apoyo



5.16. Encofrado del cilindro



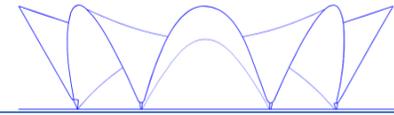
5.17. Vista del apoyo hormigonado



5.19. Vista frontal del apoyo encofrado



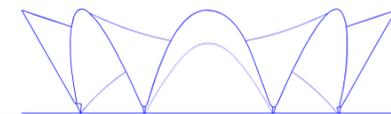
Fuente: EN BLANCO II. Segundo congreso de la arquitectura blanca.



Condiciones de los apoyos en la actualidad:

A pesar de los años desde su construcción, los apoyos de la cubierta del oceanográfico solo presenta desgaste de su pintura y algo de suciedad. Esta falta de mantenimiento no influye tanto en la estructura si no mas bien en el cuidado de su estética.

5.20. Imágenes 1,2,3, tomadas para visualizar las condiciones actuales del apoyo.



5.4. El armado de la cubierta

El proceso de colocación del armado de la cubierta se dio inicio en el mes agosto del año 2000. se ejecuta el armado de los nervios a pie de obra elevándolo y colocando la armadura principal de cada nervio logrando un rendimiento de una semana por nervio. Este proceso de ejecución de armado se tuvo que hacer de uno a uno. Además se tuvo que hacer un refuerzo en los nervios mediante armadura de montaje.

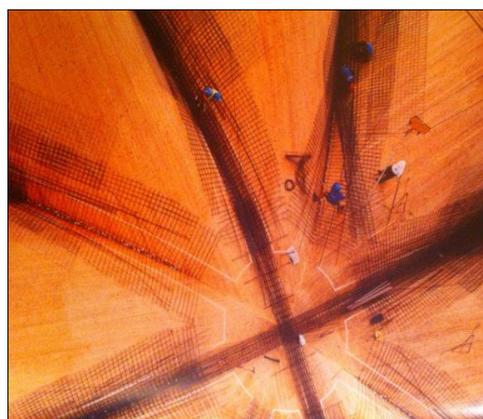
Se colocó una malla de 15 x 15 cm realizada con barras electrosoldadas de 8 mm de diámetro. En la clave de la lamina y en el encuentro de los lóbulos con los nervios se incrementó la cuantía del armado. A pesar del aporte que ofrece el hormigón con fibras de acero ocurrió una mal interpretación de los planos debido a que muchas de las armaduras colocadas se podían desmontar, posteriormente se decidió optar por dejar la armadura de acero que se había desmontado causando una demora de 15 días en el montaje.



5.20. Armado base de unos de los nervios de la cubierta



5.21. Vista superior del armado de los nervios de la cubierta

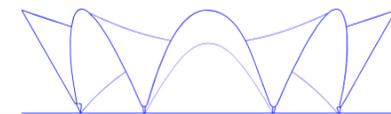


5.22. Vista del armado base de la cubierta



5.23. Vista del armado de la clave de la cubierta

Fuente: VINAT JARQUE, Sergio, "construcción de la cubierta del restaurante submarino"



5.5. El proceso de hormigonado

la proyección de hormigón en la cubierta del restaurante submarino inicio en ejecutarse en septiembre del año 2.000. este proceso se inicio por vía seca a cargo de la compañía "Hormigones Proyectados S.L". Para ejecutar esta actividad, la maquinaria, herramientas y materiales fueron preparados a pie de obra.



5.25. Imagen de la proyección del hormigón entre lóbulos

Para el proceso de hormigonado fueron necesario la duración de 75 horas ininterrumpida para concluir con el primer lóbulo. Con la experiencia adquirida en los trabajos del primer lóbulo se pudo mejorar sustancialmente el rendimiento en el proceso de ejecución y dosificación con los demás lóbulos.



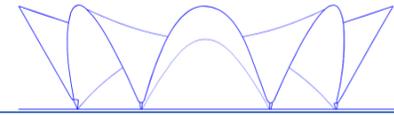
5.24. Culminación del hormigonado de la parte superior del lóbulo izq.

El proceso de hormigonado se inicio a proyectar partiendo desde la clave de la cubierta para conseguir una junta uniforme en dicha zona: posteriormente se hormigonaron los nervios para seguir con el hormigonado de los lóbulos. Estos últimos se ejecutaron partiendo desde la parte mas baja de cada lóbulo hacia arriba.



5.26. Vista aérea del hormigonado de la cubierta

Fuente: EN BLANCO II. Segundo congreso de la arquitectura blanca.



Imágenes del proceso de hormigonado:

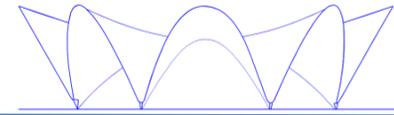


5.27. Imágenes del proceso de hormigonado en los nervios y clave.



5.28. Imágenes del proceso de hormigonado en los lóbulos.

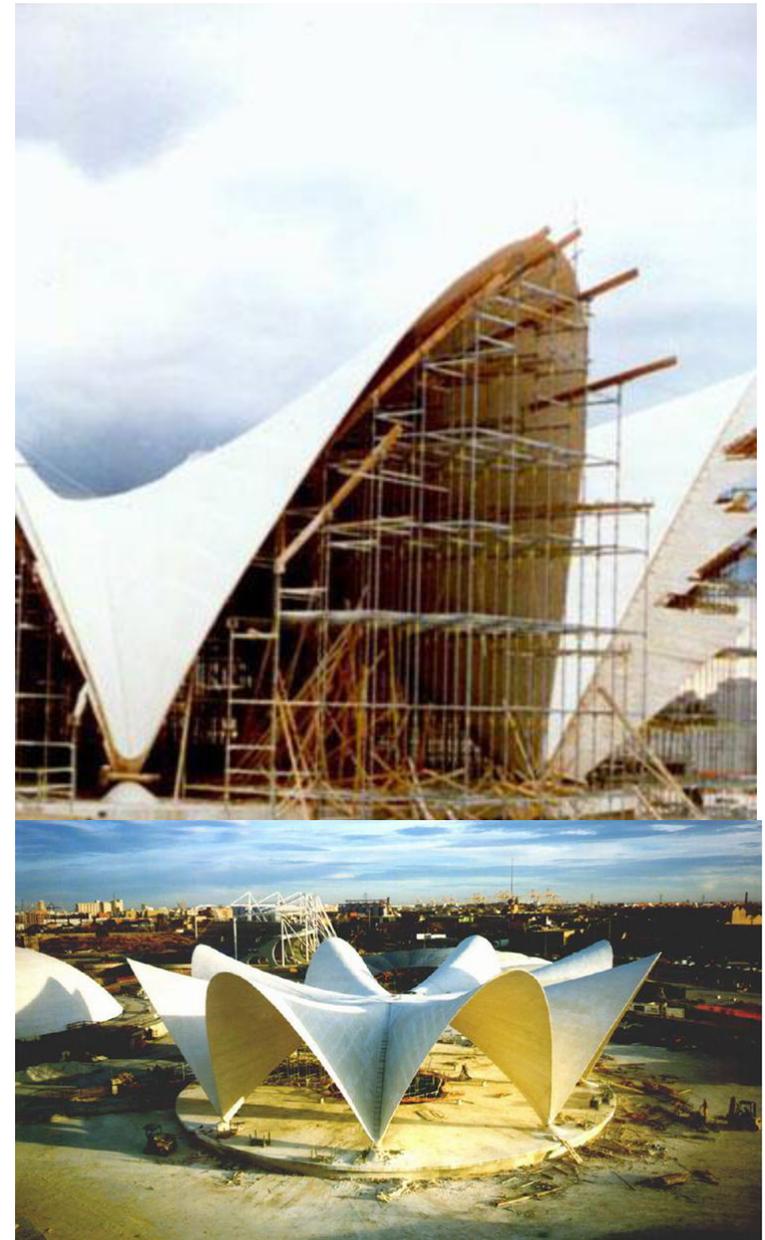
Fuente: EN BLANCO II. Segundo congreso de la arquitectura blanca.



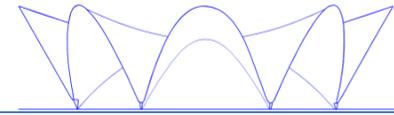
5.6. Proceso del desencofrado de la cubierta

El proceso del desencofrado y descimbrado de la cubierta se planifico y ejecuto mediante un estudio basado en un esquema de comprobaciones oportunas para el descenso de los apuntalamientos que sostenían las vigas y viguetas del encofrado de la lamina. Ciertos puntos estaban prefijados donde podían ocurrir deformaciones en la lamina, tales deformaciones fueron insignificantes debido a que dichas deformaciones fueron nulas. Este tipo de información a sido expuesta por Carlos Lázaro en sus publicaciones del proyecto.

La forma en que se descimbraron y desencofraron los lóbulos fue desmontando la cimbra desde el centro o clave de la cubierta continuando hasta el borde de la lamina en la dirección del nervio, en este caso se consideraron prácticamente nulas las deformaciones ocurridas correspondiendo así con los resultados obtenidos del modelo numérico del calculo.



5.29. vistas del descimbrado y desencofrado del restaurante del oceanográfico
Proyecto Final de Máster 2013/2014



5.30. Vista de elevación de la cubierta ya terminada



5.31. culminación de la cubierta



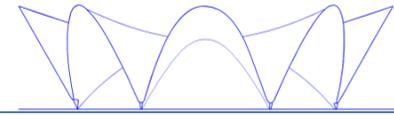
5.32. Colocación de los muros cortinas

5.7. Acabados

La cubierta del restaurante submarino de Valencia obtuvo varios acabados, en una medida de evitar posibles ataques que ocasionan los agentes climatológicos. La lamina de la cubierta posteriormente de ser desencofrada obtuvo la aplicación de tres capas de epoxi sobre una malla de fibra de vidrio. Estas capas sirven como una técnica de impermeabilización que le permite a la cubierta de hormigón estar más protegida debido a su delgado espesor, es una forma de evitar que se produzcan agrietamientos y posteriormente fisuras que puedan afectar el armado de la cubierta.

El espacio interior del restaurante está protegido con muros cortinas en cada hueco de la cubierta, colocado de forma circular en toda el perímetro. Se puede apreciar que los pilares que sostienen este muro cortina están diseñados y calculados para soportar las acciones del viento. En la colocación de este muro cortina se puede notar la tolerancia existente entre el muro y la cubierta.

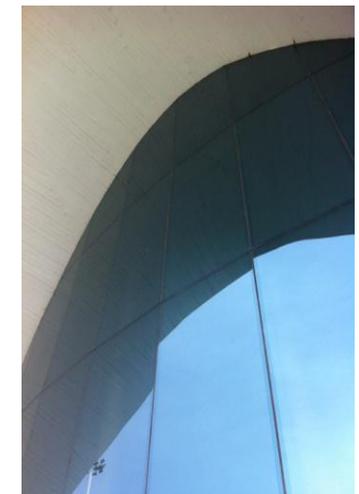
Fuente: VINAT JARQUE, Sergio, "construcción de la cubierta del restaurante submarino"



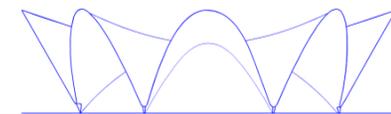
Estas son algunas de las imágenes que podemos notar de la calidad de los acabados que aun perdura en la construcción del oceanográfico.



5.33. Vista actual de los apoyos del oceanográfico



5.34. Vista actual de la carpintería del oceanográfico



6. CONCLUSIONES:

La ciudad de Valencia puede disfrutar y exhibir un conjunto de espectaculares edificios, ubicados en un prestigioso lugar como el corredor natural o antiguo cauce del río Turia, aprovechado a su vez con una batería de edificaciones conformadas por la ciudad de las artes y las ciencias en las que se pretenden integrar al entorno natural que las rodea.

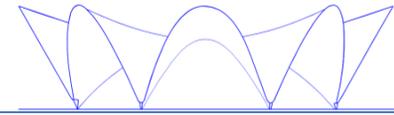
Estos complejos arquitectónicos de tan interesante esplendor son aprovechados por las ciudades para incentivar el atractivo turístico de las mismas y mas aun si son funcionales, como ha de ser el Oceanográfico de Valencia es un parque que alberga varios ecosistema artificiales en fin de educar y mostrar a sus visitantes la diversidad del mundo marino.

Este trabajo ha sido basado en la cubierta del restaurante del oceanográfico siendo este unos de los edificios mas representativos e icónicos del parque, debido a su procedencia que radica del diseño de Félix Candela un diseño procedente del restaurante Xochimilco.

A lo largo de la investigación se ha tratado de recopilar la mayor información posible, que nos a permitido entender el surgimiento y evolución de las estructuras laminares regladas, mediante las fuentes bibliográficas y los artículos de revistas nos han podido nutrirnos de conocimiento y una cierta base para sustentar este tipo de trabajo.

En esta investigación he podido conocer y entender mejor mas sobre la complejidad estructural que experimentan las superficies de un paraboloides hiperbólico. Siendo esta una superficie muy compleja para el calculo pero a la vez muy sencilla de entender a partir de geometrías simples. Los paraboloides hiperbólicos poseen una gran resistencia auto portantes en el cual mediante estructuras laminares podemos generar grandes espacio con este tipo de estructura.

Ha sido de gran satisfacción comprobar y poner a prueba de que los conocimientos transmitido por Félix Candela en sus obras resultan de gran importancia para la arquitectura y una excelente fuente de investigación para la construcción de un edificio como el Oceanográfico de Valencia. También agradecer a los distintos autores que intervinieron en dicha construcción como Domingo Cabo y Carlos Lázaro que implementaron su ingenio y publicaciones que nos han sido útiles para el desarrollo de este trabajo.

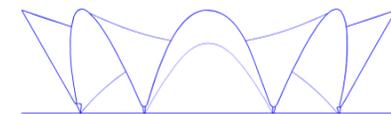


Como parte de la conclusión de este trabajo las Fibras de acero en el hormigón reforzado aportan un control a las posibles fisuraciones en la cubierta y mayor ductilidad en el armado de la misma. Como característica mecánica del material favorece considerablemente a la cubierta en la resistencia a tracción, a flexión y a compresión. Podemos concluir finalmente que los hormigones con fibras de acero pueden trabajar estructuralmente en las estructuras, en su debido uso.

Gracias al tutor Adolfo Alonso Dura por guiarme pacientemente por el camino correcto de este proyecto y de haber desarrollado una herramienta fácil de usar como es el “architrave” que me ha permitido hacer las comprobaciones ejercidas en dicho programa dejando por satisfactorio los resultados de comprobación del análisis estructural implementado en la cubierta, notando claramente de que lo expuesto en la obra del Oceanográfico corresponde a una opción viable...



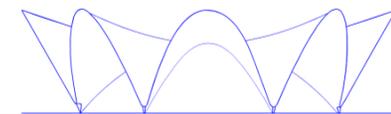
6.1. vista exterior del restaurante del oceanográfico



MEMORIA DE IMAGENES:

1. Historia del arte

- 1.1. Cascara de la cubierta
- 1.2. entrada exterior del restaurante submarino
- 1.3. vista informativa del parque oceanográfico
- 1.4. Acceso
- 1.5. Humedales Aviario
- 1.6. Auditorio Mar Rojo
- 1.7. Restaurante Submarino
- 1.8. Mediterráneo
- 1.9. Mar Ártico
- 1.10. Oficinas
- 1.11. Delfinario
- 1.12. Imagen interior del restaurante.
- 1.13. vista aérea de los edificios del complejo oceanográfico.
- 1.14. vista aérea del complejo oceanográfico.
- 1.15. vista exterior del restaurante
- 1.16. vista en planta del conjunto. FCC CONSTRUCCION.
- 1.17. Félix Candela.
- 1.18. 1951. Pabellón de los rayos cósmicos.
- 1.19. 1953. Iglesia virgen de la medalla milagrosa.
- 1.20. 1955. Capilla de nuestra señora de la soledad del altillo.
- 1.21. 1955. Bolsa de valores ciudad de México.
- 1.22. 1956. Capilla de san Antonio huertas.
- 1.23. 1957. Club nocturno de jacaranda.
- 1.24. 1958. Restaurante de los manantiales de Xochimilco.
- 1.25. 1959. Oficina de las ventas.
- 1.26. 1959. Capilla la Palmira Cuernavaca, México.
- 1.27. 1960. Capilla de san Vicente de paúl.
- 1.28. 1960. Planta embotelladora Bacardi.
- 1.29. 1966. Palacio de los deportes México, DF.
- 1.30. 1997. Restaurante submarino, oceanográfico de valencia.



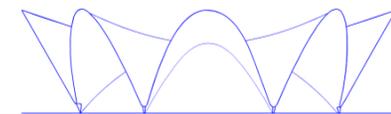
MEMORIA DE IMAGENES:

2. Formas geométricas

- 2.1. Superficies cilíndricas
- 2.2. “Cascares”
- 2.3. Formas geométricas
- 2.4. Superficies Sinclásticas
- 2.5. Superficies Anticlásticas o Hiperbólicas
- 2.6. Conoides
- 2.7. Hipérbola de una hoja
- 2.8. Paraboloides hiperbólico
- 2.9. Conoides
- 2.10. Plano director
- 2.11. Plano director en eje x
- 2.12. Plano director de eje
- 2.13. Curva parabólica invertida
- 2.14. Curva parabólica
- 2.15. Esfuerzos de membrana
- 2.18. Mecanismo del arco
- 2.19. Reacciones de esfuerzo
- 2.20. Vista de la cubierta del restaurante del oceanográfico
- 2.21. Plano de armado del restaurante de los manantiales de Xochimilco
- 2.22. Imagen cemento portland
- 2.23. Imagen sobre la aplicación de agua
- 2.24. Imagen árido
- 2.25. Imagen aditivos
- 2.26. Mallas de acero
- 2.27. Imagen fibras metálicas
- 2.28. Imagen de rayos x
- 2.29. Imagen de anclajes de las fibras
- 2.30. Imagen dimensiones visual de las fibras
- 2.31. Figura del modelo inicialmente propuesto de comportamiento del SFRC a tracción
- 2.32. Resultado grafico de las pruebas de cargas

4. Análisis Estructural

- 4.01. Grafico de la cubierta en planta sometida a esfuerzos del viento



MEMORIA DE IMAGENES:

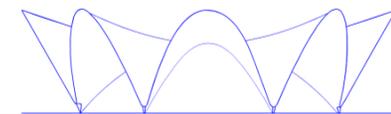
5. Análisis Constructivos

- 5.1. Cimbrado de la cubierta
- 5.2. Encofrado de la cubierta
- 5.3. Montaje del cimbrado
- 5.4. Diseño del cimbrado
- 5.5. Colocación de vigas Peri
- 5.6. Conexión de la cimbra
- 5.7. Viga de tres apoyos
- 5.8. Cruce de vigas
- 5.9. Detalle de los husillos
- 5.10. Detalle de la viga peri
- 5.11. Unión de vigas con platinas atornilladas
- 5.12. Encofrado del nervio de la cubierta
- 5.13. Instalación del encofrado
- 5.14. Vista y detalle de la culminación del encofrado
- 5.15. Vista interior del encofrado del cilindro
- 5.16. Encofrado del cilindro
- 5.17. Vista del apoyo hormigonado
- 5.18. Armado de la base del apoyo
- 5.19. Vista frontal del apoyo encofrado

- 5.20. Imágenes 1,2,3, tomadas para visualizar las condiciones actuales del apoyo
- 5.21. Armado base de unos de los nervios de la cubierta
- 5.22. Vista superior del armado de los nervios de la cubierta
- 5.23. Vista del armado base de la cubierta
- 5.24. Vista del armado de la clave de la cubierta
- 5.25. Culminación del hormigonado de la parte superior del lóbulo izq.
- 5.26. Imagen de la proyección del hormigón entre lóbulos
- 5.27. Imagen de la proyección del hormigón entre lóbulos
- 5.28. Imágenes del proceso de hormigonado en los nervios y clave.
- 5.29. Imágenes del proceso de hormigonado en los lóbulos.
- 5.30. vistas del descimbrado y desencofrado del restaurante del oceanográfico
- 5.31. Vista de elevación de la cubierta ya terminada
- 5.32. culminación de la cubierta
- 5.33. Colocación de los muros cortinas
- 5.34. Vista actual de los apoyos del oceanográfico
- 5.35. Vista actual de la carpintería del oceanográfico

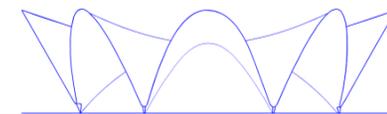
6. conclusión

- 6.1. vista exterior del restaurante del oceanográfico



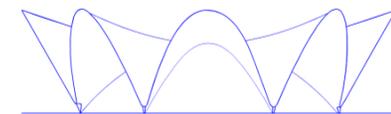
Bibliografía

1. FABER, Colín, Las estructuras de Candela, editorial continental, S. A., MEXICO
2. GARCIA CALDERON, Juan José, “Análisis Geométrico, Constructivo y Estructural”.
3. VINAT JARQUE, Sergio, “construcción de la cubierta del restaurante submarino” Art. proyecto final de grado. Junio 2011, Pdf.
4. ANDRÉS MARTÍN, Francisco Ramón (1); FADÓN SALAZAR, Fernando (2) ANÁLISIS GRÁFICO DE OBRAS EMBLEMÁTICAS DE FÉLIX CANDELA “XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA”
5. MARTÍNEZ MARTÍN, Leticia, “Superficies Arquitectónicas Singulares” PFG Julio 2011
6. TC, Técnicas constructivas: septiembre 2004, numero 1. S. I. FCC CONSTRUCCION. S. A.
7. Dr. A. DOMINGO CABO, Dr. CARLOS LAZARO, Dr. P. SERNA ROS. “JCHYPAR, Una lamina delgada de hormigón con fibras de acero. Jornada IECA expresión del hormigón, Alicante 2006.
8. Basset Salom, Luisa, Estructuras laminares, bóvedas, cúpulas, estructuras regladas. Art. 20013
9. Estudio y Aplicación de superficies curvas en el patrimonio arquitectónico.
10. Arquitectura Orgánica, Félix Candela, vida y obra. <http://arquitecturaorganica.wordpress.com/2008/01/23/felix-candela-vida-y-obra/>
11. Parque oceanográfico universal, valencia, Carlos Fernández casado, Félix Candela, informe de la construcción, ISSN 0020-0883, vol. 52, (ejemplar dedicado a: especial comunidad Valenciana).
12. parque oceanográfico universal, CIVIS PROJECT MANAGMENT. ISBN: 84-607-8069-4
13. EN BLANCO II. Segundo congreso de la arquitectura blanca. Biblioteca tc.
14. Design of a thin Shell steel fibre reinforced concrete hypar roof. Prof. A. Domingo, Ing. C. Lázaro, Prof. P. Serna, Universidad Politécnica de Valencia; CM Calidad S.L.



Bibliografía

15. DEL CUETO RUIZ FUNES, Juan Ignacio, Félix Candela, el mago de los cascarones.
16. A. Domingo, P. Cerna, A. Lázaro, estudio del comportamiento del hormigón con fibras de acero en elementos laminares de pequeño espesor y su comportamiento post – fisuración
17. RODRIGUEZ MONTERO, José, Nuevos hormigones en la EHE- 08 Hormigones especiales. Jornada técnica, Málaga 24 sept. 2009
18. MARMOL SALAZAR, Patricia Cristina, hormigones con fibras de acero características mecánicas, trabajo fin de máster, Madrid 2010
19. ANDRES MARTIN, Francisco Ramón (1); FADON SALAZAR, Fernando (2). análisis grafico de obras emblemáticas de Félix Candela.
20. [www. Bekaert.com/es](http://www.Bekaert.com/es)



ANEXO:

Es indispensable tomar en cuenta las acciones del viento en los proyectos constructivos, tomando en cuenta las acciones del viento es preciso recurrir al Anejo obtenido del Documento Básico SE-AE Seguridad Estructural

Acciones en la edificación

3.3.2 Acción del viento

- 1 La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (3.1)$$

siendo:

q_b la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse $0,5 \text{ kN/m}^2$. Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo D, en función del emplazamiento geográfico de la obra.

c_e el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Se determina de acuerdo con lo establecido en 3.3.3. En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse un valor constante, independiente de la altura, de 2,0.

c_p el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión. Su valor se establece en 3.3.4 y 3.3.5.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

