

**TÍTULO:** ANÁLISIS GEOMÉTRICO, ESTRUCTURAL Y CONSTRUCTIVO DE  
LA ESTACIÓN DE SERVICIO "EL REBOLLET"

**AUTOR:** SERGIO GRANDE GARCÍA

**DIRECTOR ACADÉMICO:** FRANCISCO JAVIER SANCHIS SAMPEDRO

**FECHA PRESENTACIÓN:** JULIO / 2013

**MODALIDAD PFG:** CIENTÍFICO TÉCNICO

**TITULACIÓN:** GRADO EN ARQUITECTURA TÉCNICA



**TÍTULO:** ANÁLISIS GEOMÉTRICO, ESTRUCTURAL Y CONSTRUCTIVO DE  
LA ESTACIÓN DE SERVICIO "EL REBOLLET"

**AUTOR:** SERGIO GRANDE GARCÍA

**DIRECTOR ACADÉMICO:** FRANCISCO JAVIER SANCHIS SAMPEDRO

**FECHA PRESENTACIÓN:** JULIO / 2013

**MODALIDAD PFG:** CIENTÍFICO TÉCNICO

**TITULACIÓN:** GRADO EN ARQUITECTURA TÉCNICA



*Este proyecto ha sido desarrollado en el taller 14 - "Superficies arquitectónicas singulares" con la tutorización y apoyo constante del profesor Francisco Javier Sanchis Sampedro, gracias por tu ayuda y consejos durante estos cuatro años de carrera.*

*Agradecer al Ayuntamiento de Oliva en general y a Juan Ramón Porta en particular, por habernos facilitado desde el primer momento el acceso a los documentos de proyecto originales y a su predisposición por la colaboración con nosotros, gracias.*

*Gracias a todos aquellos profesores con los que me he ido encontrando durante estos años, me habéis enseñado y ayudado en todo lo que estaba en vuestras manos, tengo un recuerdo especial de mis profesores de primero Paco, Luis, Elena; pasando por Paloma, Jorge, Rosa, Carlos en segundo; en tercero Monse, Raquel, Imma y Fernando y en cuarto José Luis, M<sup>a</sup> Carmen y Toni habéis logrado que mi paso por esta carrera haya sido un poco más sencillo y agradable.*

*A mis padres, por su paciencia y apoyo constante, gracias por haberme dado la posibilidad de acceder a esta experiencia universitaria durante todo este tiempo.*

*Por último gracias Jenny por haberme apoyado en todo momento, contigo, todo se vuelve más sencillo y fácil.*

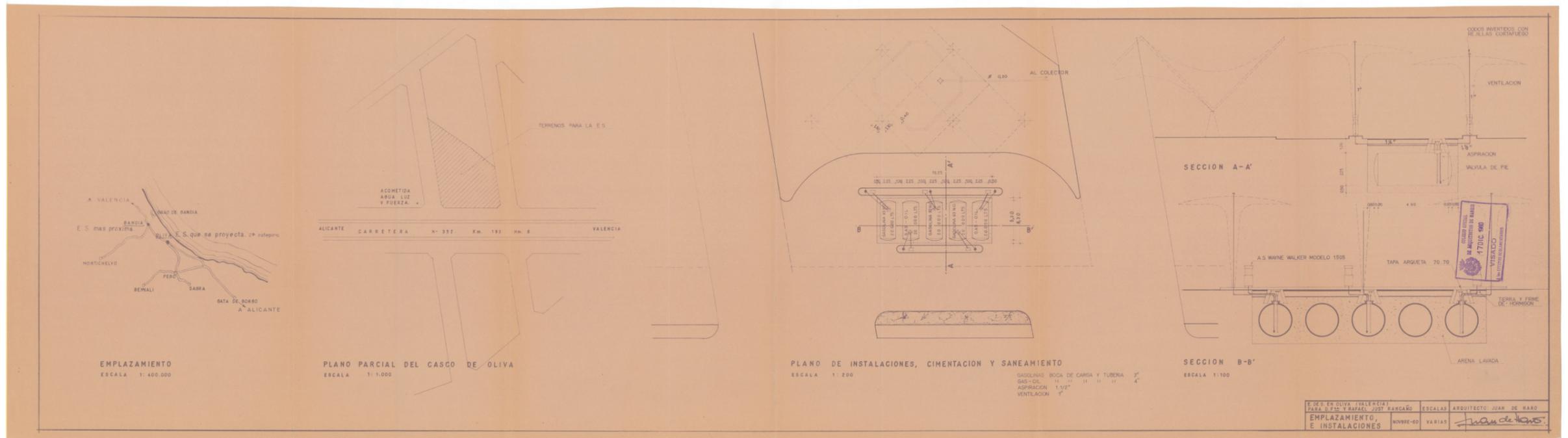




	ÍNDICE .....	01
INTRODUCCIÓN	LA ESTACIÓN DE SERVICIO .....	02
	EL ARQUITECTO .....	03
	LOS DATOS GENERALES .....	04
	LA POBLACIÓN .....	05
	LAS INFLUENCIAS ARQUITECTÓNICAS .....	06
GEOMETRÍA	LA GENERACIÓN DE LAS SUPERFICIES .....	07
	LOS PLANOS .....	08
	EL MODELADO DE LA CUBIERTA .....	09
	EL MODELADO DE LAS ESTRUCTURAS FUNGIFORMES .....	10
ESTRUCTURA	EL COMPORTAMIENTO GENERAL DE LOS PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS .....	11
	EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS .....	12
	EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA .....	13
	EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS ESTRUCTURAS FUNGIFORMES .....	14
CONSTRUCCIÓN	LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS .....	15
	EL PROCESO CONSTRUCTIVO .....	18
CONCLUSIONES	COEFICIENTE DE IDONEIDAD GEOMÉTRICA .....	24
	CONCLUSIONES PERSONALES .....	25
	ÍNDICE DE IMÁGENES, PLANOS Y FIGURAS .....	26
	BIBLIOGRAFÍA .....	27



# INTRODUCCIÓN

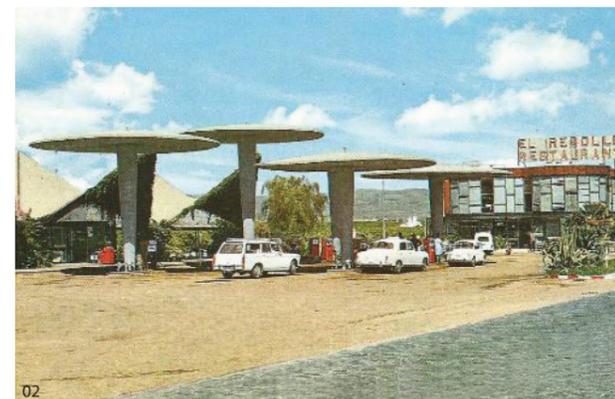




La Estación de Servicio "El Rebollet" está situada en Oliva, una población del Sur de la Provincia de Valencia y fue construida en la década de los sesenta por el arquitecto Juan de Haro, cuyas obras, en este nuevo siglo, se están catalogando entre las mejores de España.

Localizada concretamente en la orilla de la carretera nacional que une Alicante con Valencia, el objetivo principal de esta peculiar gasolinera era el de dar servicio a la gran cantidad de automóviles que recorrían esta ruta, ya que la siguiente más próxima se encontraba a unos ocho kilómetros de distancia, en la localidad de Gandía.

Lejos de buscar la construcción de un edificio más, el arquitecto se atrevió a crear un espacio cubierto por una composición de superficies alabeadas en forma de paraboloides hiperbólicos para la zona administrativa y comercial; Mientras que los surtidores de gasolina se proyectaron bajo la protección de unas marquesinas fungiformes cuyas diferentes alturas generan un dinámico paisaje junto a la carretera, actuando de llamativo reclamo para un programa complementario y que consistía en un negocio de venta de vehículos.



El conjunto de la estación está pensada de manera económica y funcional desde el punto de vista técnico, ya que estas geometrías regladas se caracterizan por su facilidad de montaje y ejecución además de dar una sensación de ligereza y elegancia al apreciarse los ocho centímetros que daban volumen a la superficie de la cubierta.

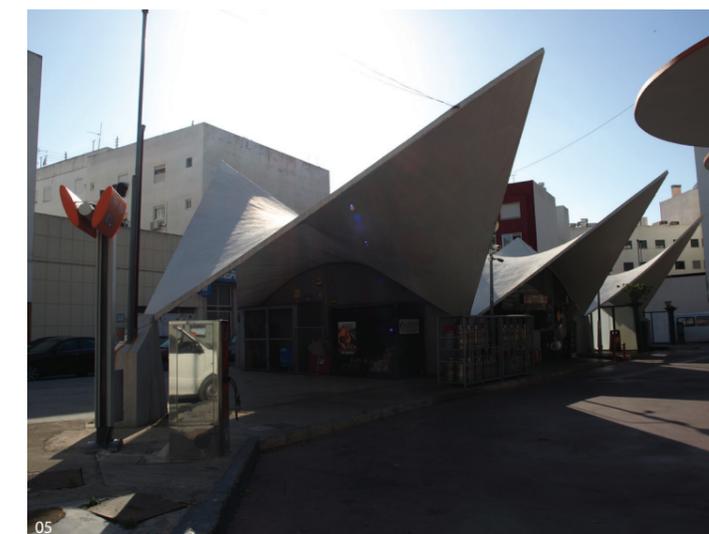
¿Por qué la figura de un paraboloides hiperbólico?

¿Cómo será posible la ejecución de estas formas curvas de semejante complejidad?

¿Cómo puede una superficie, de cerca de los trescientos metros cuadrados, estar levantada únicamente sobre seis puntos de apoyo?

¿Y por qué solo se necesitan ocho centímetros de espesor para crear todo el volumen de este tipo de cubierta alabeada? ¿Y su armadura?

Todos estos interrogantes son los que me han llevado a realizar un estudio detallado de este singular edificio, tanto de sus características geométricas y estructurales, como constructivas.





# Juan de Haro Piñar

Barcelona 1924 - Madrid 2003

Titulación: ETSAB 1953

Este arquitecto barcelonés afincado en Madrid se caracteriza por su búsqueda de la claridad compositiva y funcional, aunque es una figura poco conocida. Destacan sus edificios de viviendas en la calle Cea Bermúdez, 68, el de la Av. de Pio XII, 71 o el Parque residencial Isabel II. Otras obras singulares son sus originales "setas" de las estaciones de servicio y el antiguo Colegio Mayor Siao-Sin en la Ciudad Universitaria, hoy Facultad de Humanidades de la UNED.

Madrid	1.959	Iglesia de San Cayetano y Virgen de la Providencia.
Oliva, Valencia	1.960	Área de Servicio en Oliva (Estación de Servicio, Hotel y Restaurante en Oliva)
Madrid	1.961	Colegio de Misioneros Emigrantes en el Gran San Blas (Centro Cultural Antonio Machado)
Palma de Mallorca, Islas Baleares	1.961	Colegio San Alfonso María de Ligorio
Madrid	1.963	Facultas de Humanidades de la UNED (Antiguo Colegio Mayor Siao Sin (Stella Maris))
Madrid	1.964	Concurso de ordenación de la Plaza de Castilla
Madrid	1.964	Edificio de viviendas (Edificio para la Secretaría General del Movimiento)
Madrid	1.966	Edificio Naciones (Edificio de Viviendas Naciones)
Galapagar, Madrid	1.969	Colegio Parque en Galapagar
Madrid	1.969	Edificio de Viviendas Trián
Madrid	1.970	Vivienda Unifamiliar para la Familia Villar Mir
Alcobendas, Madrid	1.973	Parque Residencial La Serena, Edificio la Serena
Alcobendas, Madrid	1.982	Vivienda Unifamiliar en La Moraleja
Peralejo de las Truchas, Guadalajara	1.986	Vivienda unifamiliar en Peralejo de las Truchas
Yaiza, Las Palmas	1.990	Auditorio y Congresos en Yaiza (Auditorio, ópera y congresos Ciudad de Yaiza)
Villamanta, Madrid	1.999	Vivienda unifamiliar en Villamanta



<b>S</b> ituación:	Oliva (Valencia)
<b>A</b> ño de Construcción:	1960
<b>P</b> resupuesto General:	1.599.991,15 Pesetas
Hgón Setas:	125.600,00 Pesetas
Hgón Cubierta:	151.725,00 Pesetas
<b>M</b> aterial predominante:	Hormigón visto

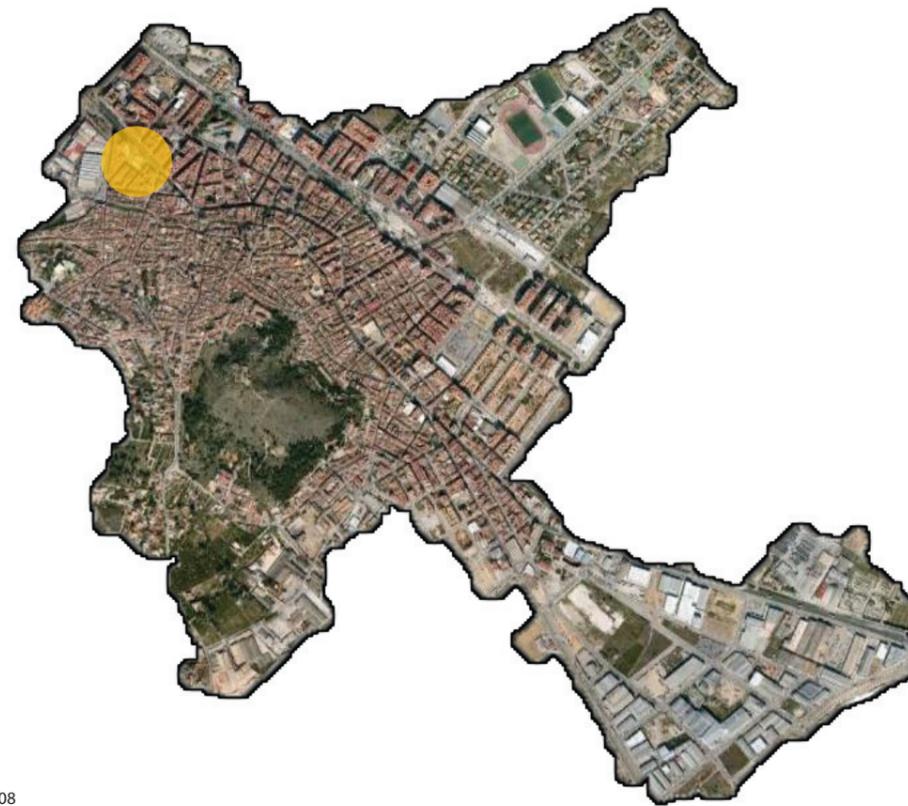
**E**l edificio principal destaca por su cubierta singular, formada por seis paraboloides hiperbólicos de hormigón armado elevados sobre 6 puntos de apoyo y que, en su conjunto, generan una superficie continua a partir de la unión de todas estas superficies regladas alabeadas.

**C**omo elementos secundarios, nos encontramos con unas estructuras en forma de hongo de diferentes alturas, situadas en la zona de dispensación de gasolina con el objetivo de resguardar de la lluvia los surtidores de carburante, introduciendo un concepto innovador en la concepción de las gasolineras al prescindir de la marquesina de protección total.

<b>P</b> romotores:	Don Francisco Just Racaño Don Rafael Just Racaño
<b>A</b> rquitecto:	Juan de Haro Piñar
<b>C</b> onstructora:	-
<b>U</b> so de la edificación:	Estación de servicio
<b>S</b> uperficie de la parcela:	1.493,20 m <sup>2</sup>



Situación de la Estación de Servicio en la Provincia de Valencia



Situación de la Estación de Servicio en la Población de Oliva



Imagen aérea de la Estación de Servicio



**O**liva es un municipio de la Comunitat Valenciana, España. Situado en el sureste de la provincia de Valencia, en la comarca de La Safor lindando por la costa con la de Alicante, a cinco metros sobre el nivel del mar.

**P**or su relieve geográfico se puede dividir en tres zonas bien diferenciadas: la montaña, el llano ocupado por la huerta y la zona pantanosa al sureste.

**L**a costa es baja y arenosa, disfruta de 10 Km de playas bordeadas a lo largo de casi toda su longitud por dunas que separan los huertos de naranjos y el mar. El clima es mediterráneo.

**M**ención aparte merece el parque Natural de La Marjal de Pegó-Oliva, zona húmeda con abundante fauna y vegetación autóctona de gran valor ecológico.

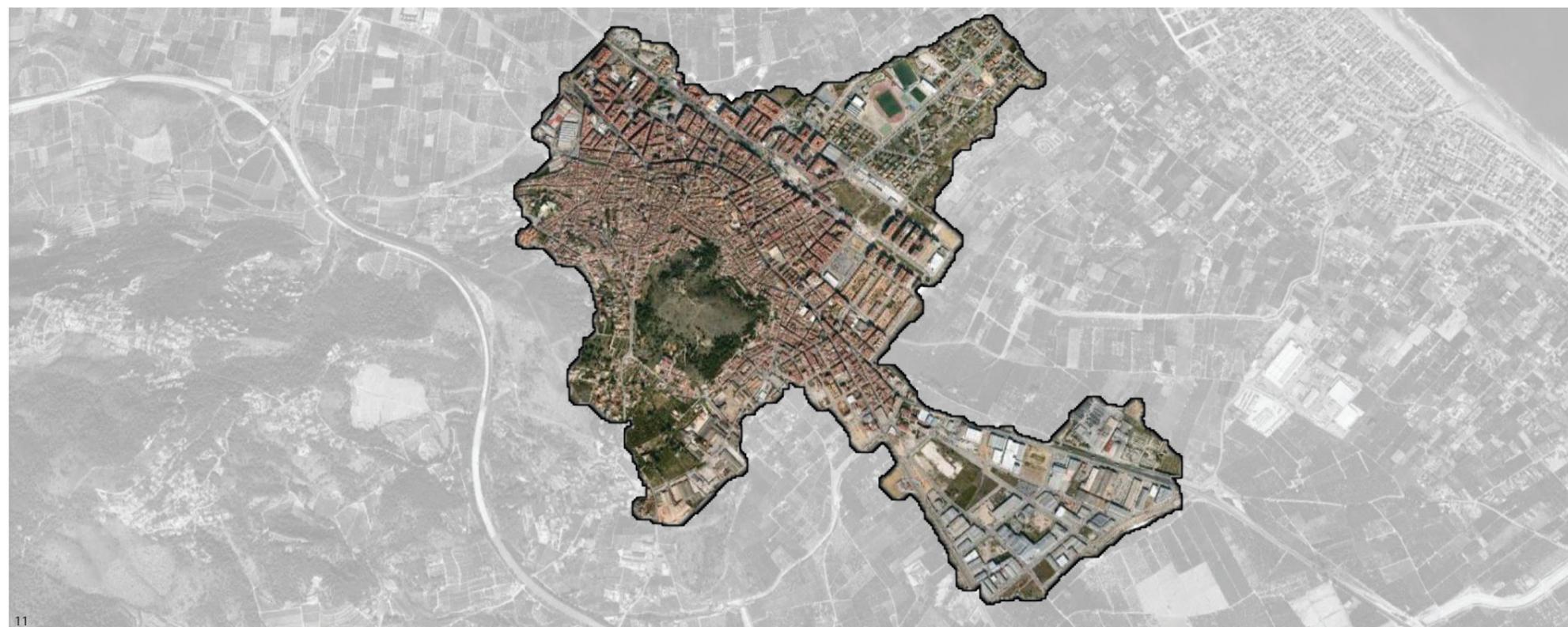
**O**liva es la segunda población en importancia de la comarca de La Safor.

**E**l término municipal de Oliva cuenta con 28.400 habitantes y tiene una extensión de 59,61 Km<sup>2</sup>; limita con las siguientes localidades: L'Alquería de la Comtessa, La Font d'en Carros, Piles y Villalonga, todas ellas de la provincia de Valencia y Adsubia, Denia y Pegó de la provincia de Alicante.

**T**radicionalmente ha sido una población eminentemente agrícola - con el predominio del cultivo del naranjo -, aunque desde los inicios de los años 90 ha comenzado a manifestarse un notable crecimiento industrial y turístico, que ha relegado el cultivo del naranjo a un segundo plano y han transformado Oliva en una urbe moderna y cosmopolita.



10



11



**FÉLIX CANDELA (1910-1997)**

Félix Candela empleó la figura del paraboloides hiperbólico mayoritariamente en iglesias, donde proporcionan un gran espacio despejado para el culto. No obstante una de sus obras destacadas fue la edificación del Palacio de los Deportes para la Olimpiada de México 1968, que destaca por la creación de una cubierta a base de la conjunción de paraboloides hiperbólicos de diferentes maneras.



Parroquia de Nuestra Señora de Guadalupe



Capilla de Nuestra Señora de la Soledad

**ANTONI GAUDÍ (1852-1926)**

El paraboloides hiperbólico fue una de las superficies más importantes y originales usadas por Gaudí. En la actualidad, los paraboloides hiperbólicos tienen su culminación en los ventanales laterales del templo de la Sagrada Familia: los paraboloides hiperbólicos se acoplan a las sofisticadas formas de los hiperboloides de una hoja formando parte del ventanal. Pero la culminación absoluta en el uso de los paraboloides hiperbólicos se dará en la cubierta superior de las naves y sacristías, así como también en los campanarios y en las torres.



Catenaria: Cripta de la Colonia Güell



Catenaria: Sagrada Família

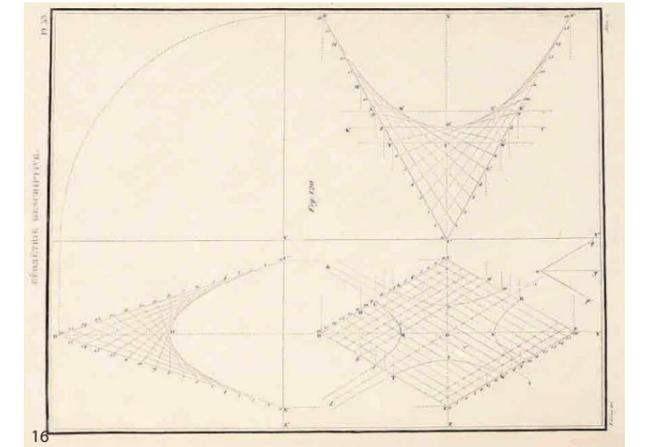
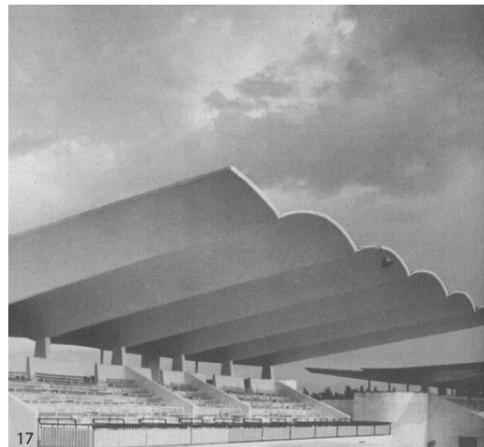


Lámina Paraboloides Hiperbólicos

**EDUARDO TORROJA (1899-1961)**

Ingeniero de Caminos, considerado por muchos el mayor especialista de su tiempo en construcción con hormigón.

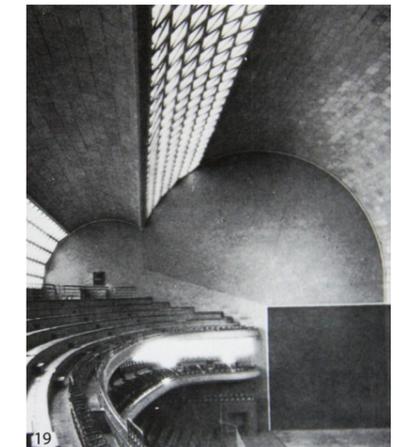
Fundador del Instituto Técnico de la construcción y la Edificación, destacó por la proyección de algunas de sus más famosas y relevantes estructuras laminares de hormigón armado a lo largo de la década de los 40, en la que llegarían a alcanzar prestigio internacional obras como el Mercado de Algeciras o el frontón de Recoletos y el Hipódromo de la Zarzuela en Madrid.



Cubierta del Hipódromo de la Zarzuela

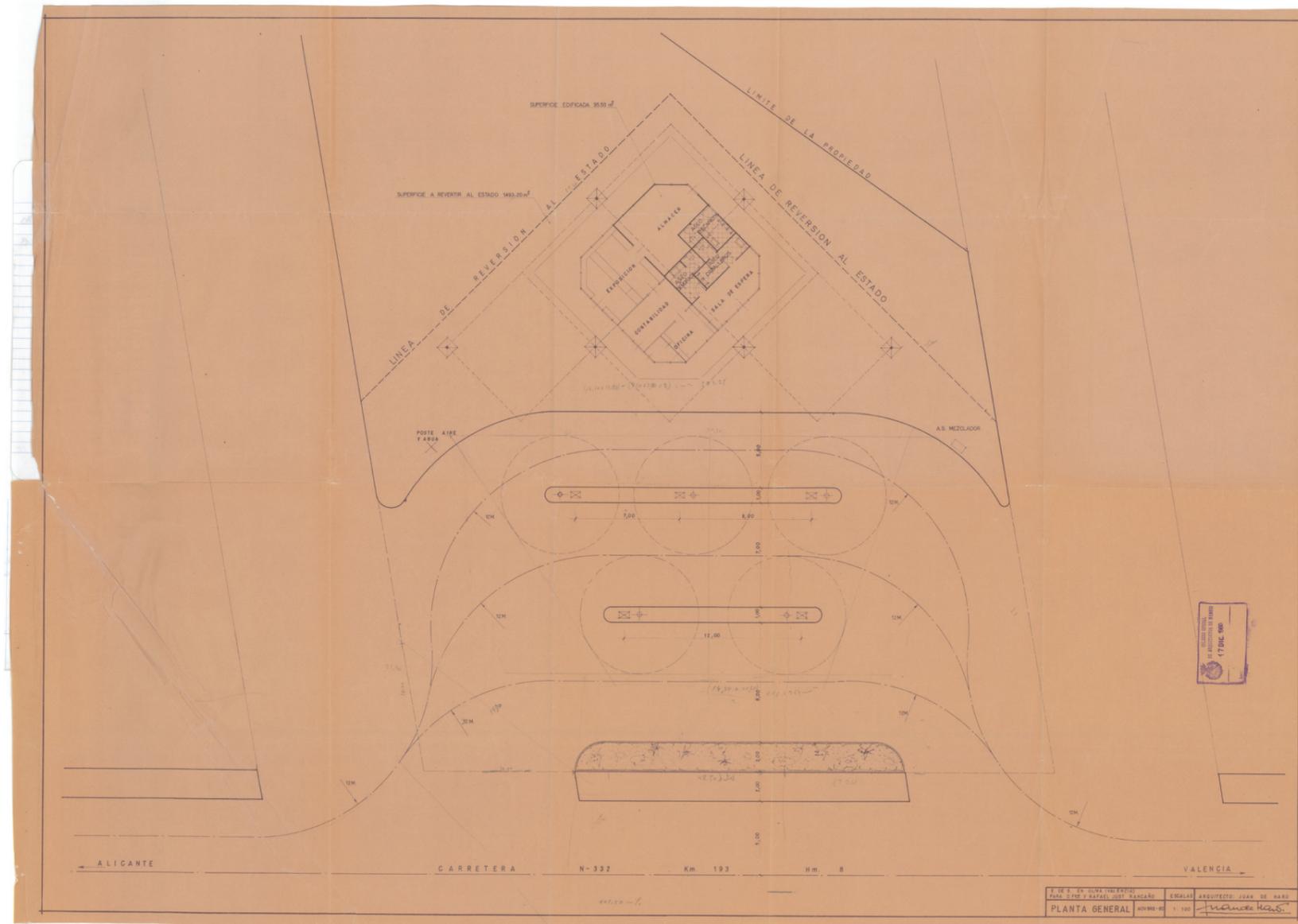


Cubierta del Mercado de Algeciras



Cubierta del Frontón de Recoletos

# G EOMETRÍA





**PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS**

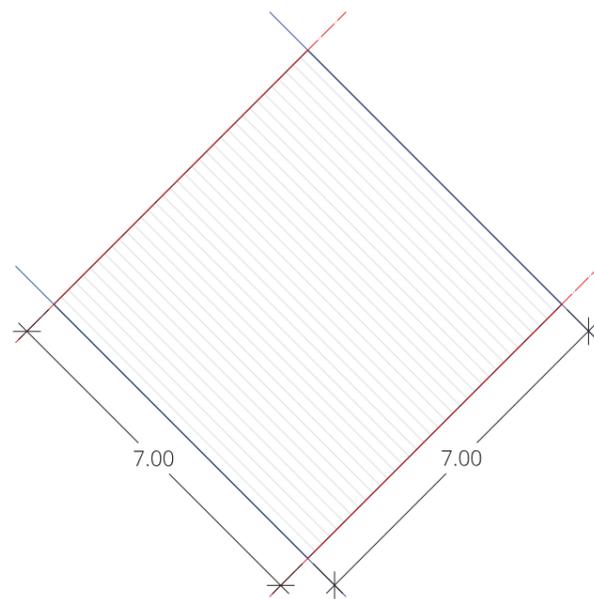
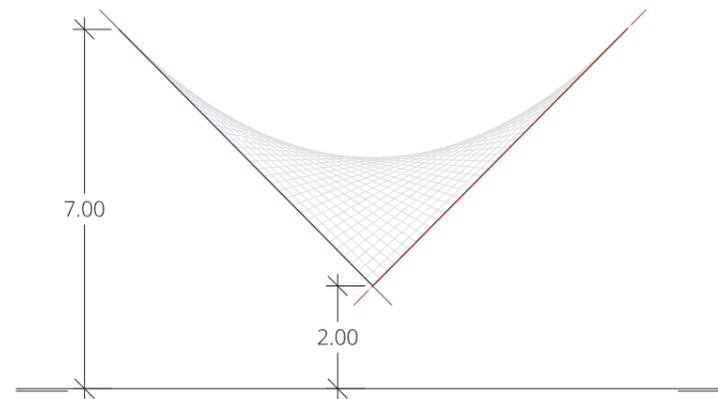
Se define paraboloides hiperbólicos como aquella superficie con doble curvatura anticlástica, concretamente es una superficie geométrica que se encuentra dentro de la familia de las superficies regladas y, particularmente, dentro de aquellas que no son desarrollables o, lo que es lo mismo, superficies alabeadas.

El paraboloides hiperbólico, al ser una superficie hiperbólica, por definición es una superficie reglada con tres directrices rectas, pero en el caso particular de este elemento, dos de sus directrices son propias, es decir, líneas rectas pertenecientes a sendos planos paralelos entre sí, y la tercera directriz es impropia, es decir, crea un plano director, que establece la dirección hacia la que estarán situados los planos que contienen las dos directrices rectas.

Su generación viene determinada por el desplazamiento de una línea recta (generatriz) que avanza a lo largo de dos líneas rectas (directrices) que se cruzan y manteniéndose paralela a un plano director.

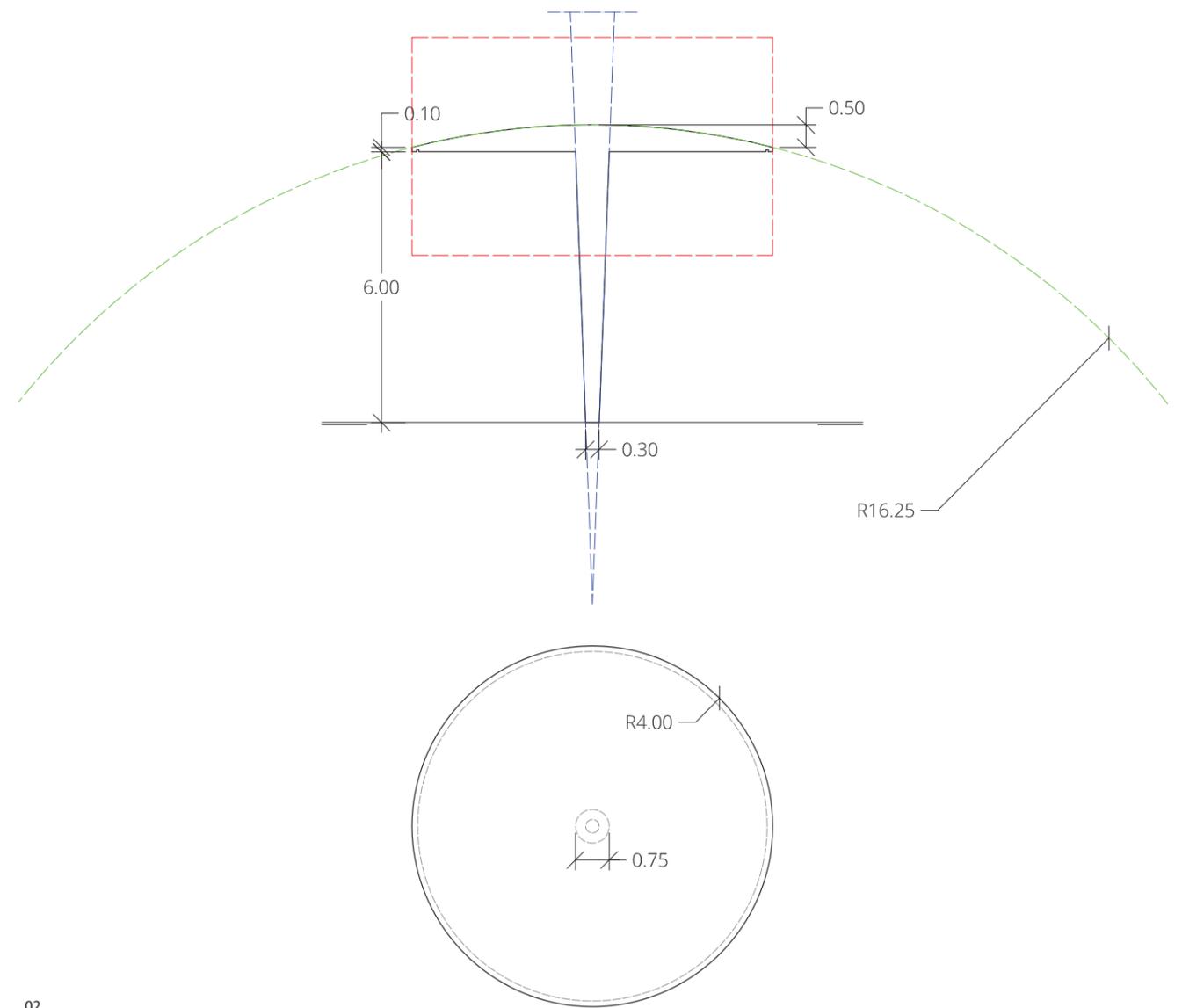
Habitualmente en geometría, esta superficie se suele representar apoyada en un cuadrilátero alabeado, siendo dos de los lados las directrices y los otros dos generatrices.

A esta superficie se le denomina también reversible, ya que puede ser obtenida mediante una doble generación recta, ya que si partimos de dos de los lados del cuadrilátero como directrices, obtendremos los otros dos como generatrices.



01

El paraboloides hiperbólico es un haz alabeado de segundo orden donde todas sus generatrices tienen que cortar imperativamente a todas las directrices, si una es impropia, las generatrices deben ser paralelas a su plano director, que tiene la orientación de la directriz impropia.

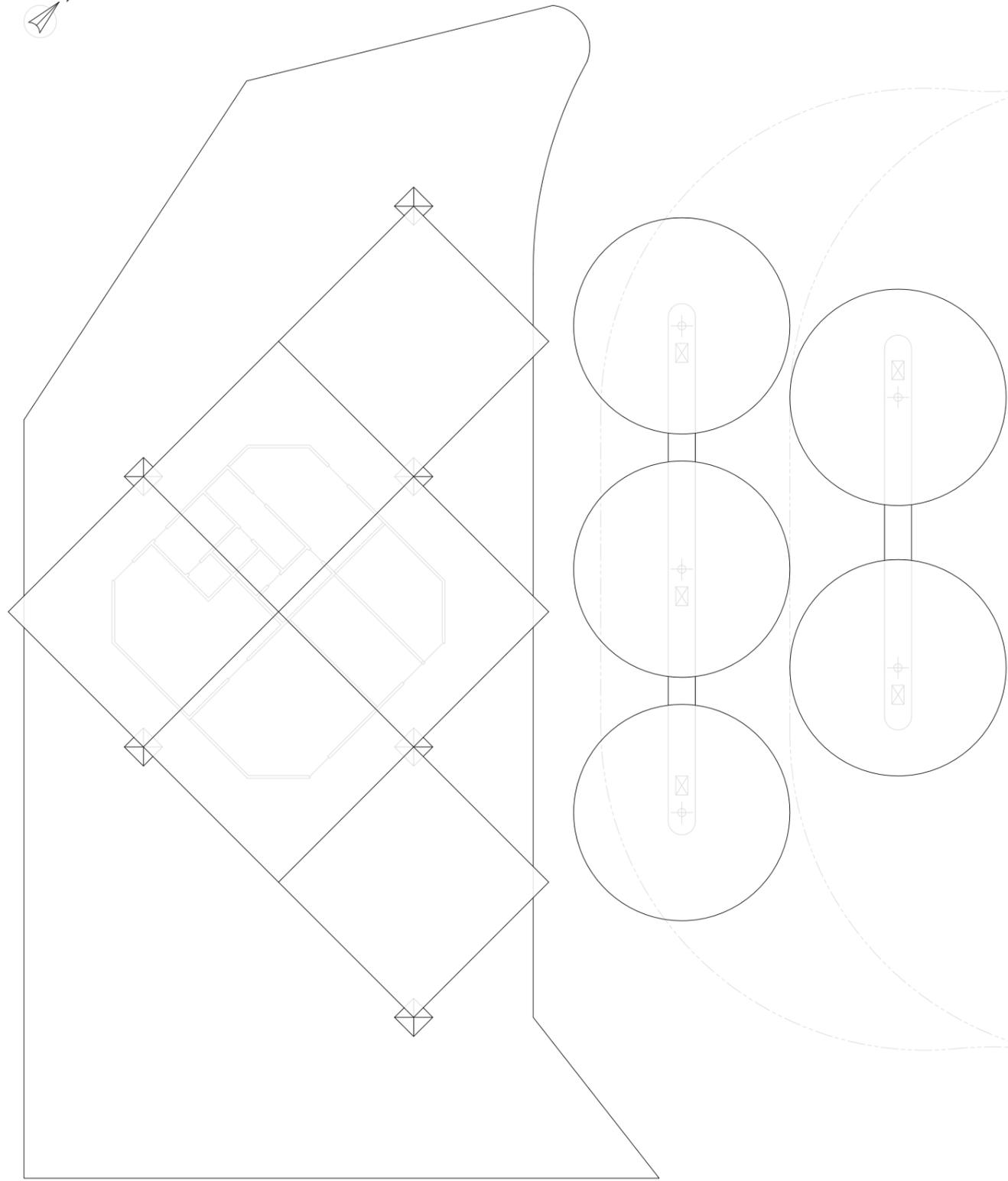


02

**ESTRUCTURAS FUNGIFORMES**

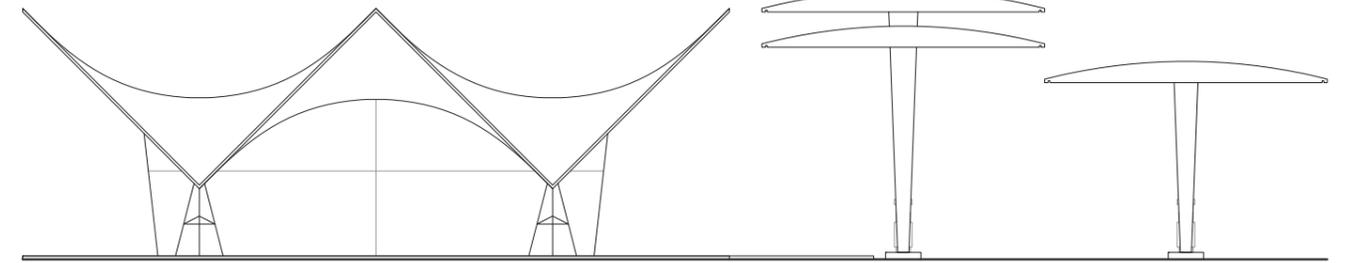
Estas estructuras están formadas por una conjunción de superficies volumétricas. En su parte superior, una esfera es cortada por un plano horizontal dando paso a un cilindro, de espesor similar al de la cubierta, y que descansa sobre un apoyo vertical en forma de cono invertido.

Hay que destacar que existen tres tipos de hongos, con una altura de cinco metros nos encontramos con los dos de la línea exterior de la gasolinera, a los lados de la zona central se disponen los de altura correspondiente a seis metros, y en el centro, el de siete metros.



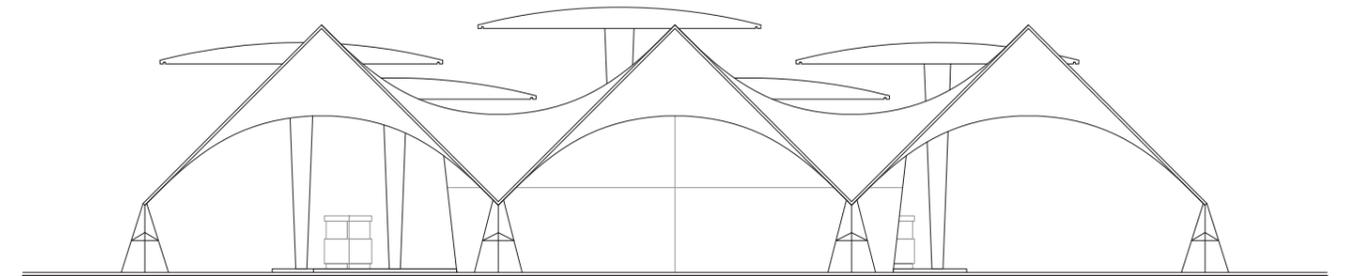
03

Planta de Cubierta



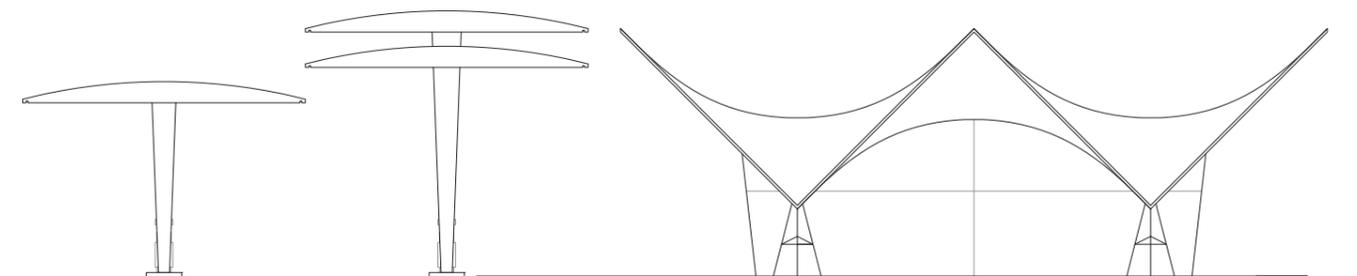
04

Alzado Noreste



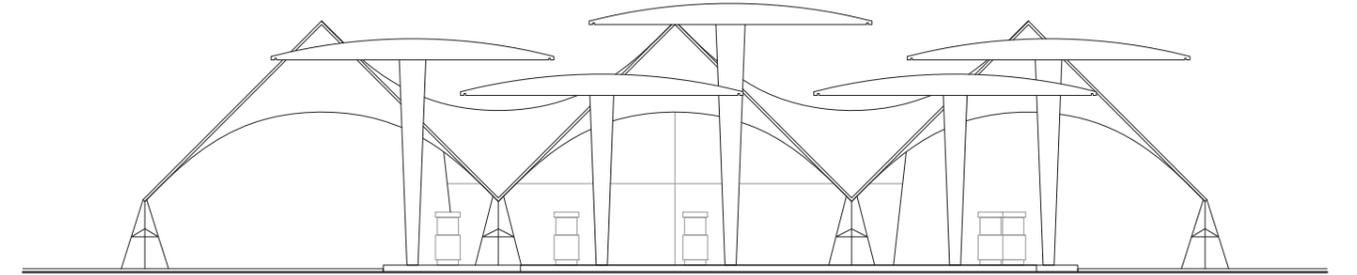
05

Alzado Sureste



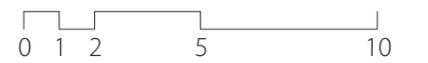
06

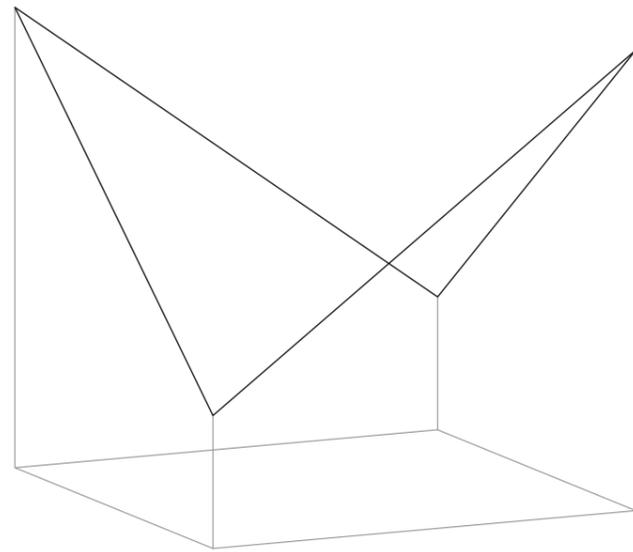
Alzado Suroeste



07

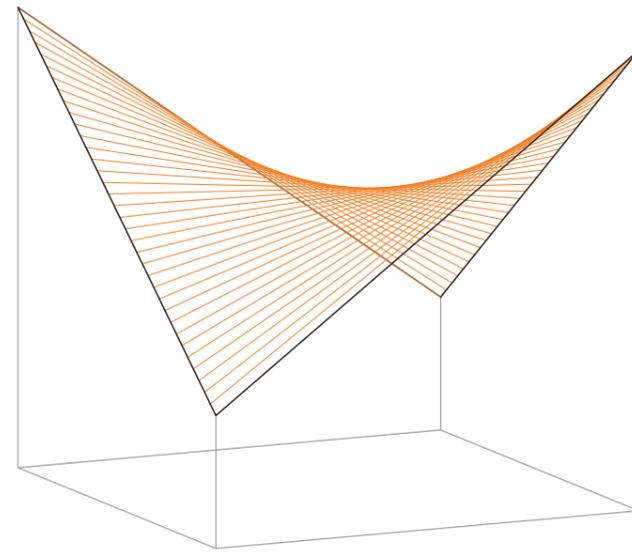
Alzado Noroeste





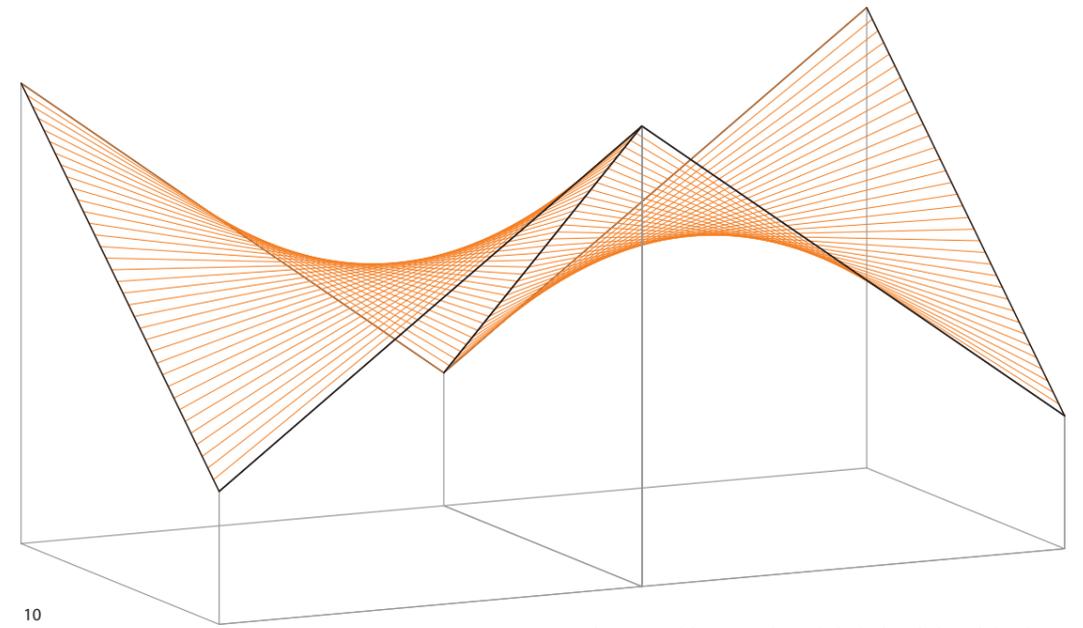
08

Representación esquematizada de un paraboloides hiperbólico



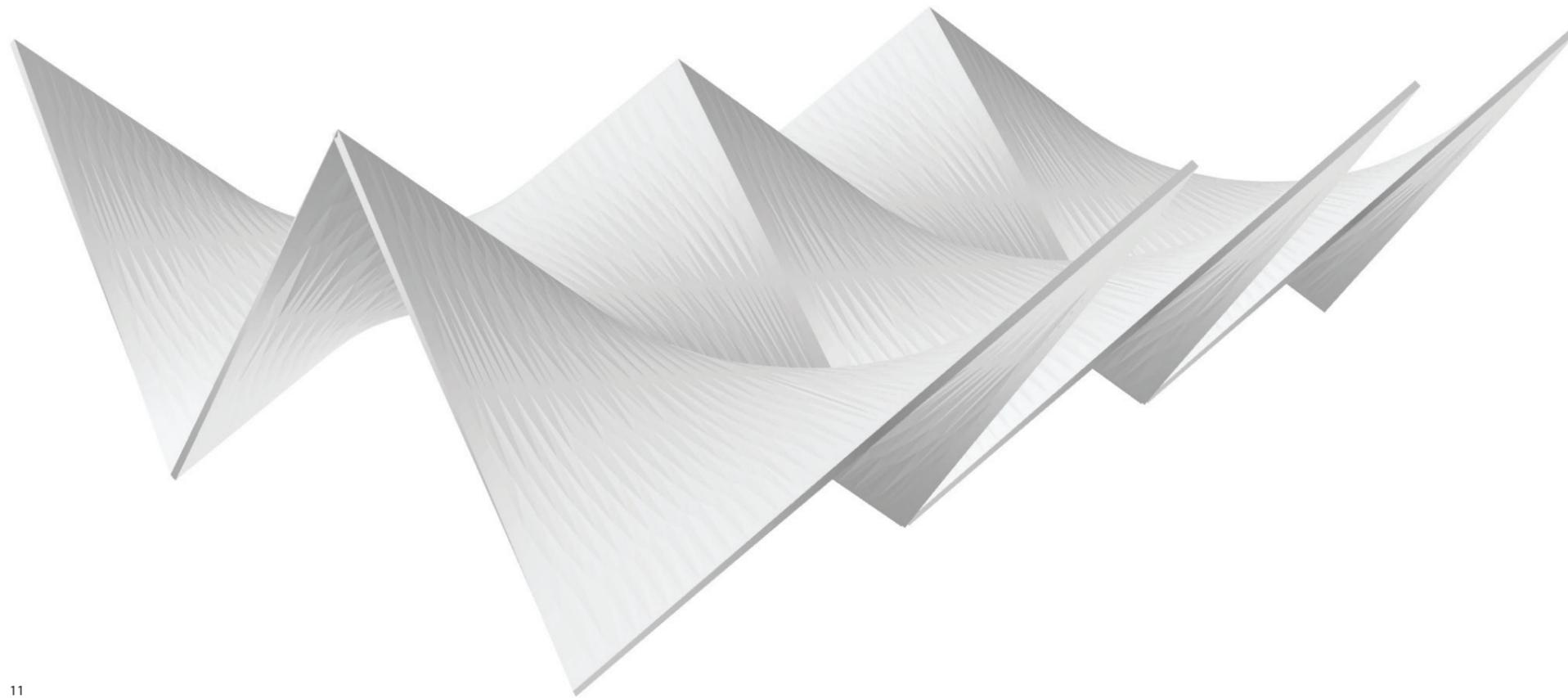
09

Representación alámbrica de un paraboloides hiperbólico



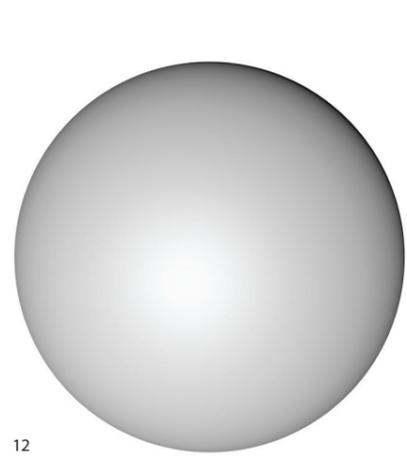
10

Proceso simétrico de creación del conjunto de paraboloides hiperbólicos de la cubierta

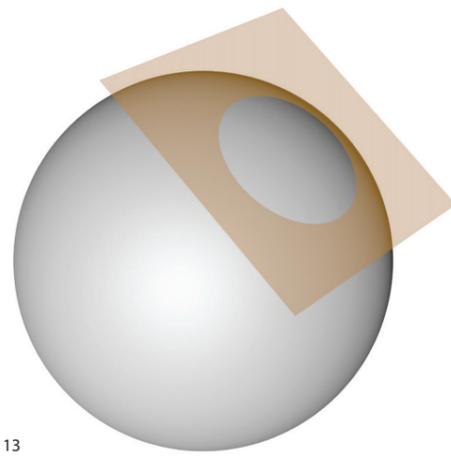


11

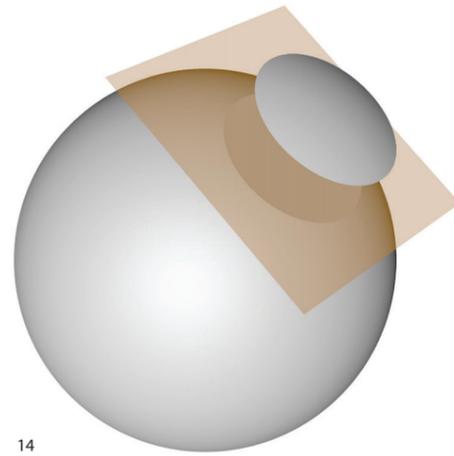
Modelado tridimensional del conjunto de paraboloides hiperbólicos y su disposición en la realidad



12



13



14



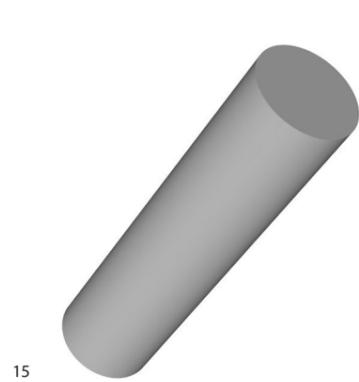
21

Representación del hongo aislado y extrusionado

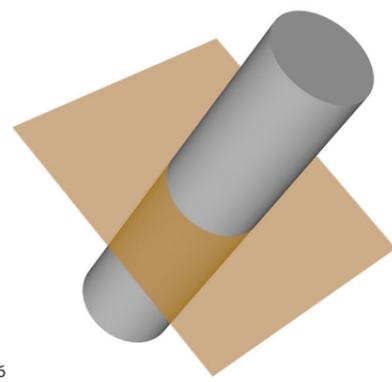


22

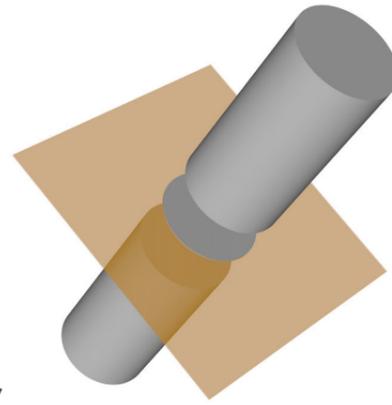
Representación del hongo aislado



15



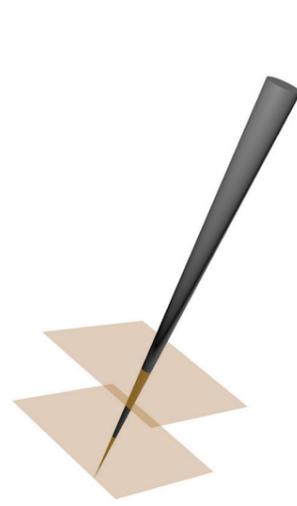
16



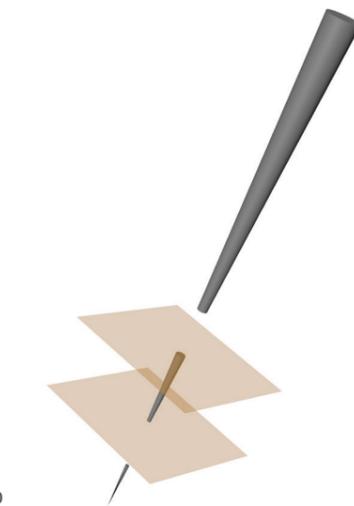
17



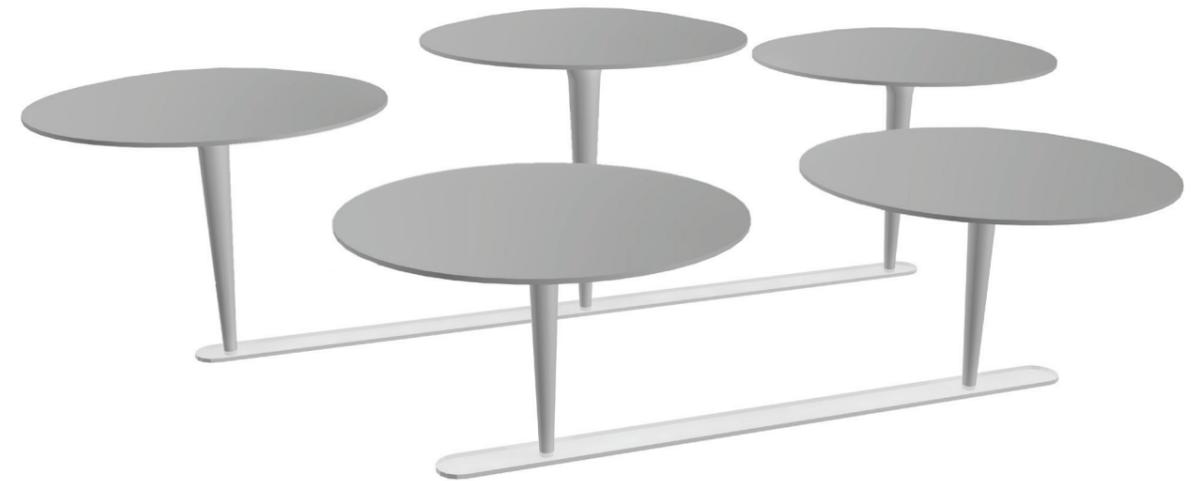
18



19



20



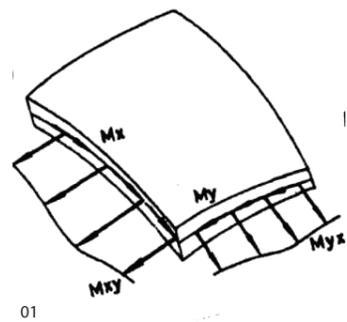
23

Modelado tridimensional del conjunto de hongos y su disposición en la realidad

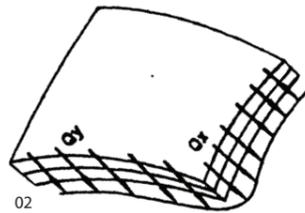




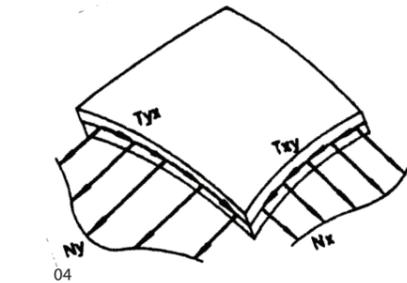
El Paraboloid hiperbólico es una superficie que se encuentra dentro de la familia de las estructuras laminares, las cuales se caracterizan por el predominio de las dos dimensiones de planta sobre el espesor, y destacan estructuralmente por ser lo suficientemente delgadas como para no desarrollar importantes tensiones normales de flexión, corte o torsión.



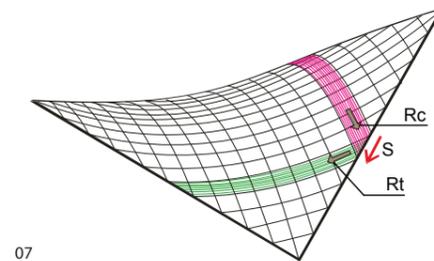
01 Caracterización de esfuerzos de flexión en un elemento de superficie.



02 Caracterización de esfuerzos normales en un elemento de superficie.

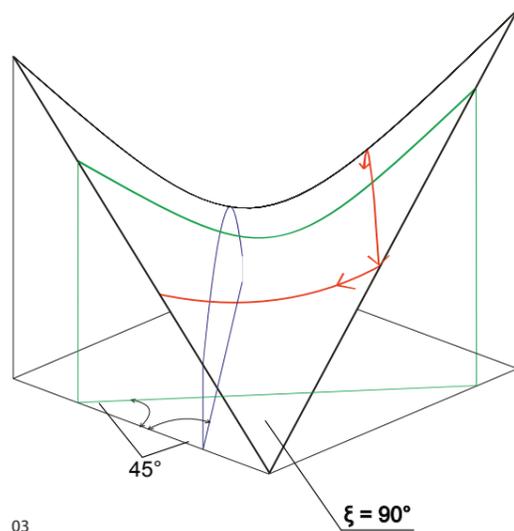


A la izquierda:  
Caracterización de esfuerzos de membrana en un elemento de superficie



07 Representación simplificada del comportamiento de la superficie de un paraboloid hiperbólico

En este tipo de cáscara de doble curvatura, con una positiva y otra negativa, surge el efecto arco en la dirección de la curvatura con concavidad hacia abajo, y el efecto de cable en la dirección de la curvatura con concavidad hacia arriba. El hecho de que la superficie esté determinada por un cuadrilátero en el que sus lados forman 90° todos entre sí, lo convierte en la forma ideal de este tipo de estructuras al repartir de manera igualitaria las cargas entre apoyos.



03 Representación de la posición de un arco (azul) y un cable (verde) y su comportamiento estructural.

Un hecho importante es la disposición de los apoyos. Al estar soportando una estructura que trabaja en estado de membrana, estos apoyos han de conseguir actuar en el mismo plano del paraboloid al que sustenta. De no ser así, se produciría un equilibrio hiperestático en la zona del apoyo alterando el conjunto de la estructura y obligando a tener en cuenta este factor en el momento del cálculo.

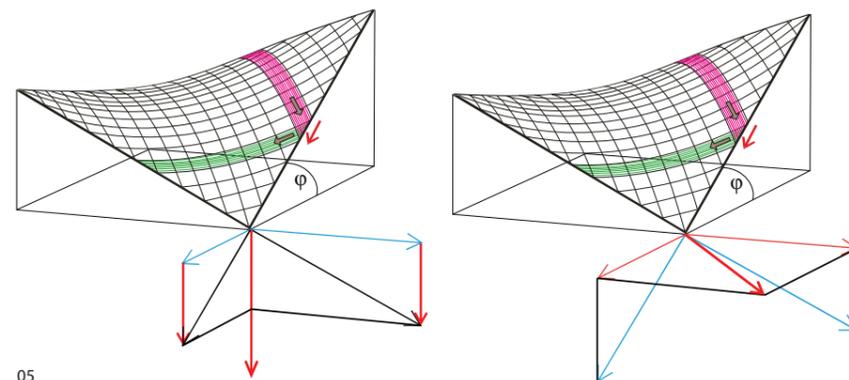


Imagen superior izquierda:  
Representación del comportamiento del apoyo según el eje vertical.

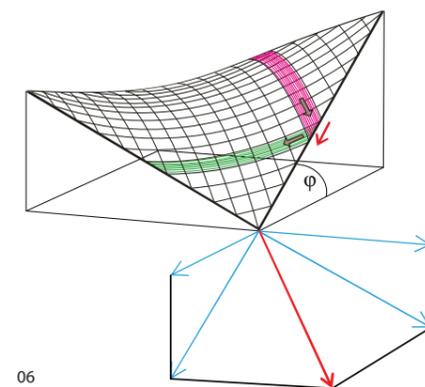


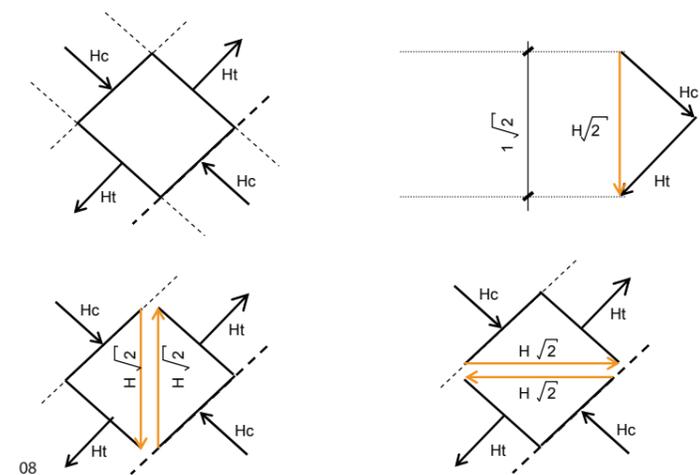
Imagen superior derecha:  
Representación del comportamiento del apoyo según el eje horizontal.

Imagen inferior izquierda:  
Representación del comportamiento del apoyo según conjunto de ejes.

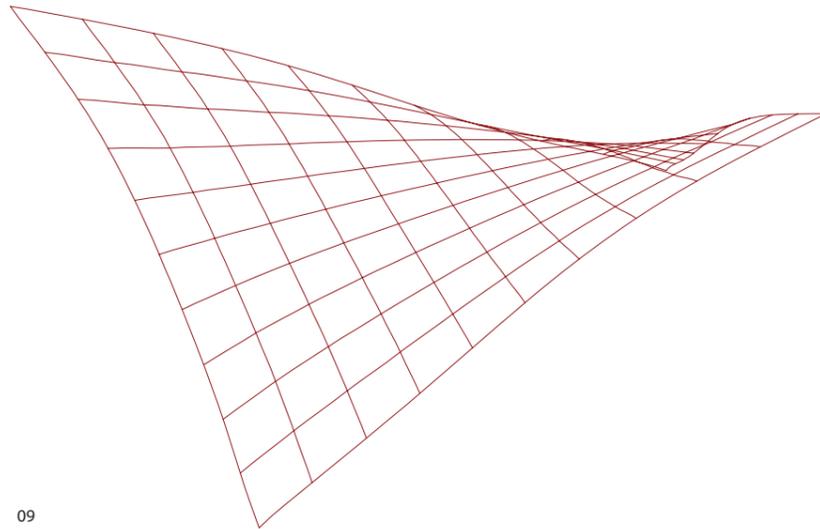
Las estructuras laminares son aquellas donde los únicos esfuerzos que se producen, están situados únicamente en la superficie de la cáscara, lo que conlleva a que puedan ser resistidos con un espesor mínimo.

En este tipo de estructuras se presenta un concepto imprescindible como es "el borde libre".

En un elemento de borde libre la tensión normal se anula por consideraciones de equilibrio, sin embargo el tratamiento de la tensión tangencial varía en función de la rigidez del borde que se esté analizando; si el borde es capaz de transmitir tensiones tangenciales, esto es, dispone de la suficiente rigidez como para resistir y transmitir los cortantes a los apoyos, descargando así al resto de la lámina, se denomina borde apoyado. Este se convierte en un arco sometido a fuerzas en su directriz; si la rigidez de borde es prácticamente nula, éste no es capaz de transmitir esfuerzos en la dirección tangencial, obligando al resto de la lámina a absorber el incremento de esfuerzos a través de sus generatrices.



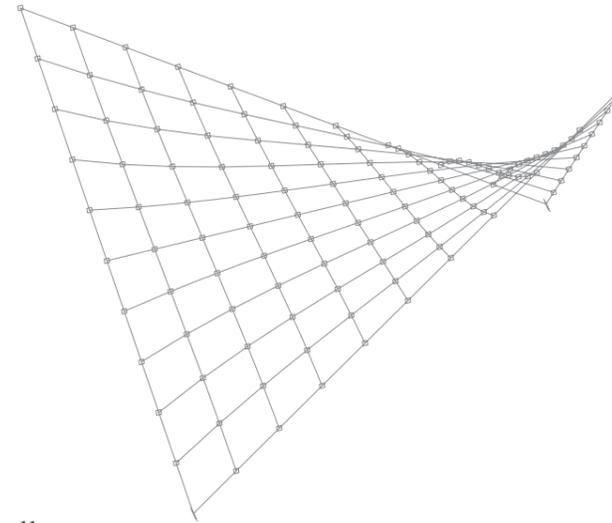
08 Esquemas sobre el comportamiento de una unidad de superficie de un paraboloid hiperbólico frente a esfuerzos de compresión y tracción.



09

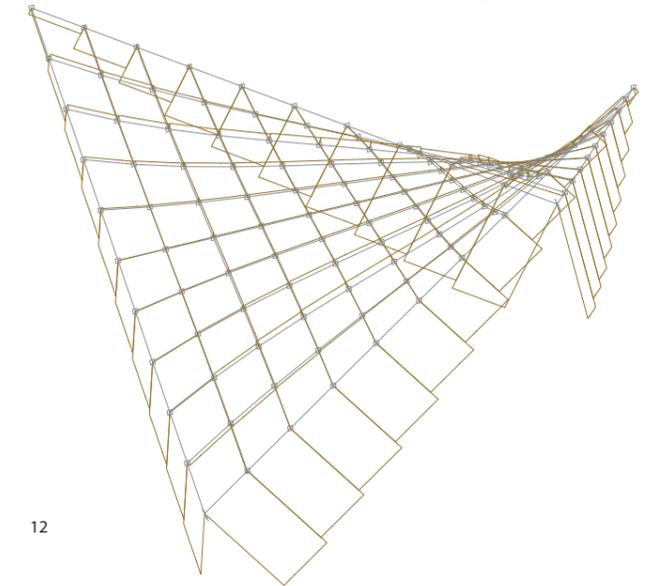
En la parte superior, un paraboloid hiperbólico aislado en su estado base, sin contemplar cargas sobre su superficie. Sobre este se aplicará una carga uniformemente repartida que nos mostrará su comportamiento.

En la parte inferior, dos plantas y alzados, donde se aprecia la deformada que provocan cargas efectivas sobre su superficie, comprobándose que el vértice más alejado del apoyo es aquel donde mayor deformada se produce.



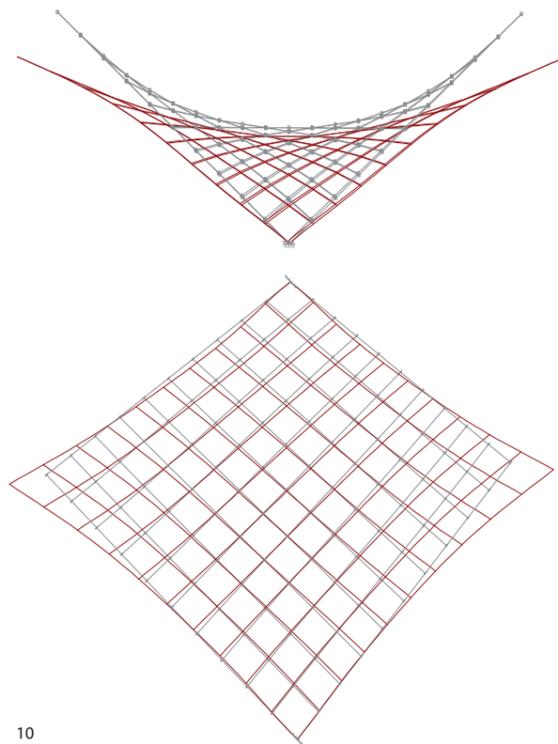
11

Esta figura muestra un paraboloid hiperbólico aislado en su estado inicial, sin contemplar cargas sobre su superficie. Sobre ella se representarán esfuerzos axiales, cortantes y momentos flectores.



12

En esta figura se puede observar como actúa un paraboloid hiperbólico ante esfuerzos axiales, destacan los elevados valores que adquieren los bordes frente a los valores mínimos a lo largo de la superficie interna.



10

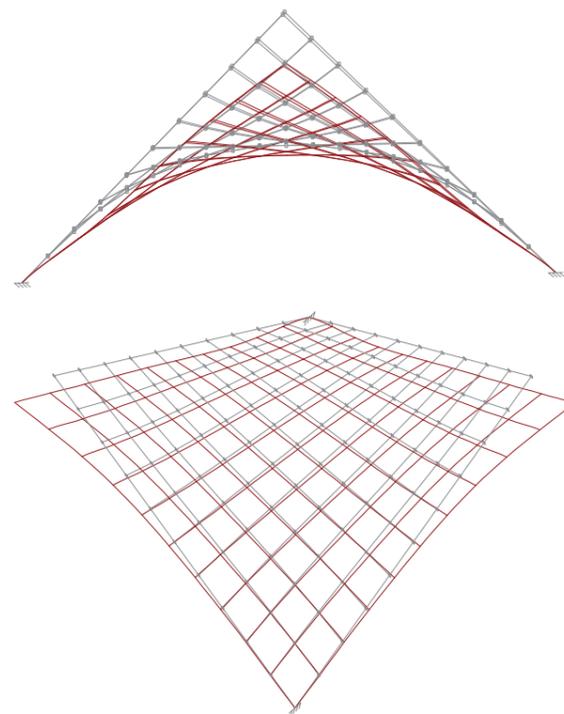
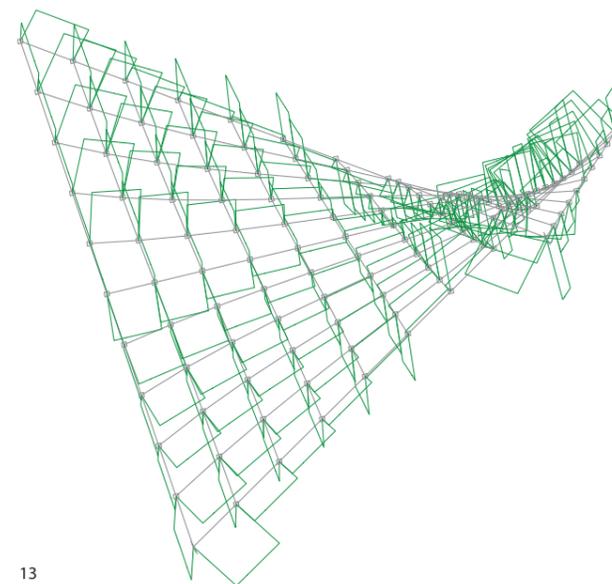
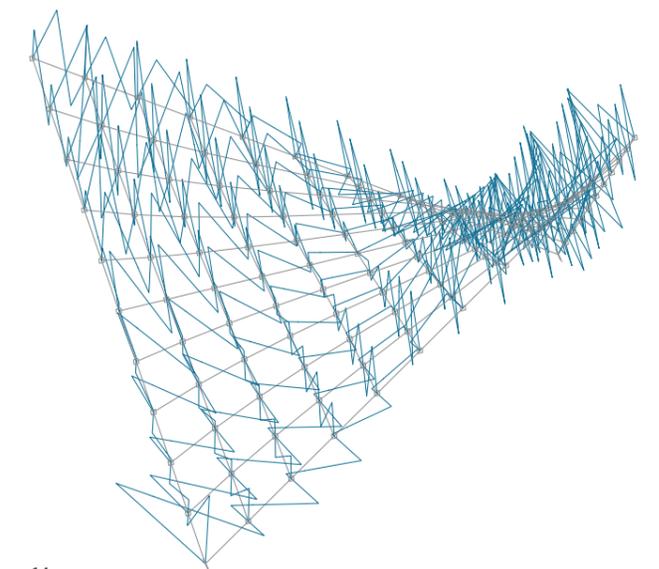


Diagrama que representa la deformada de un paraboloid hiperbólico aislado



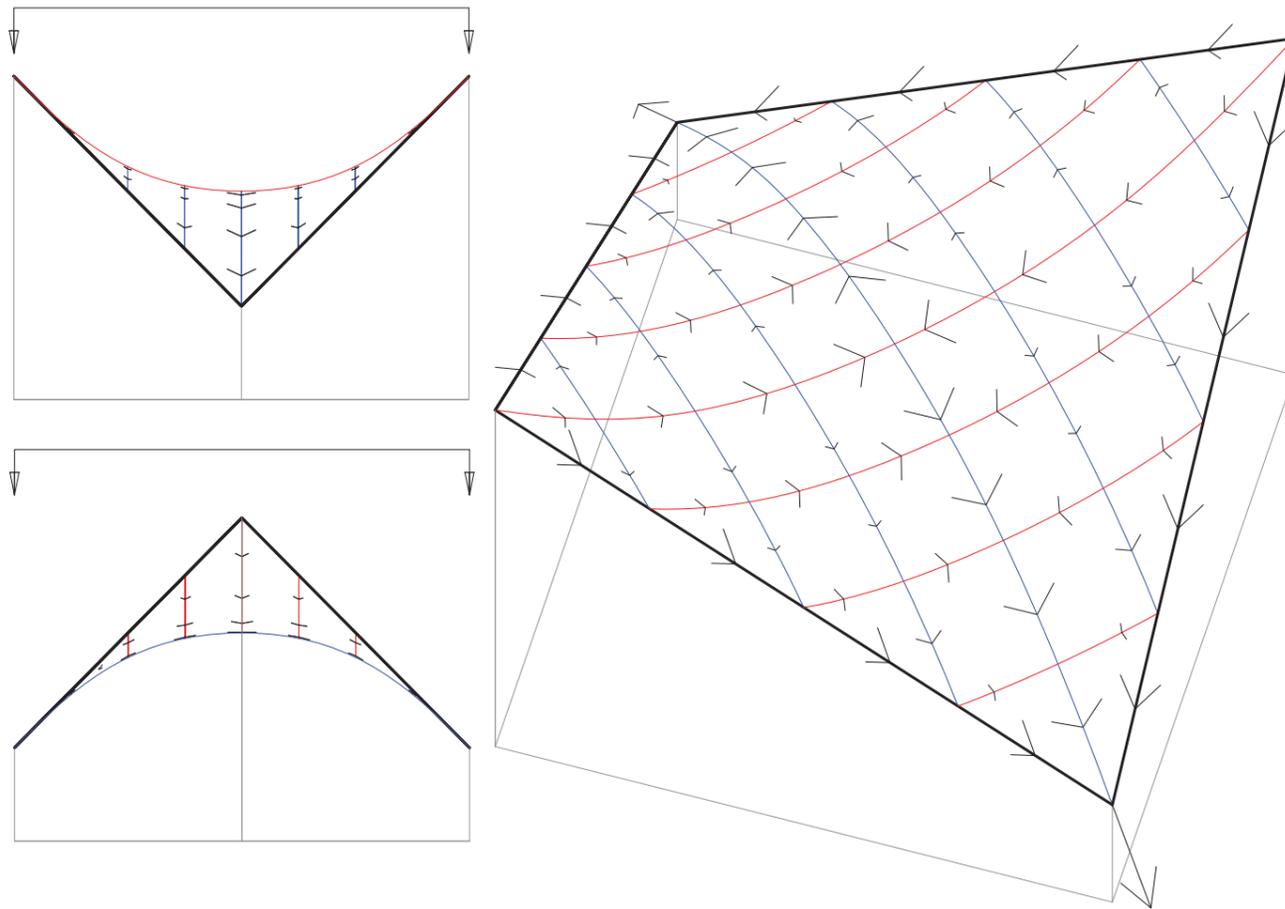
13

En este caso, están representados los esfuerzos cortantes que actúan sobre el paraboloid. Se ve como a medida que nos acercamos a los bordes, los valores aumentan.



14

Por último, esta figura muestra cómo actúan los momentos flectores en la superficie del paraboloid. Los máximos se encuentran en los apoyos y en los voladizos.



15

En el caso de nuestra cubierta, y según las especificaciones de la normativa española sobre acciones en la edificación (cabe mencionar que en el año de construcción, 1960, no existía tal normativa), sobre la cubierta, y más concretamente sobre cada uno de los paraboloides hiperbólicos, recaerán unas fuerzas determinadas que provocan un comportamiento que se puede apreciar en los esquemas.

Por un lado, en la parte superior izquierda de la lámina, observamos el comportamiento para un único y aislado paraboloides hiperbólico, sus cargas, y comportamiento frente a estas acciones.

Sobre el paraboloides hiperbólico actúa una carga repartida, que origina una distribución de cargas a través de los cables y arcos y que va a parar a los apoyos.

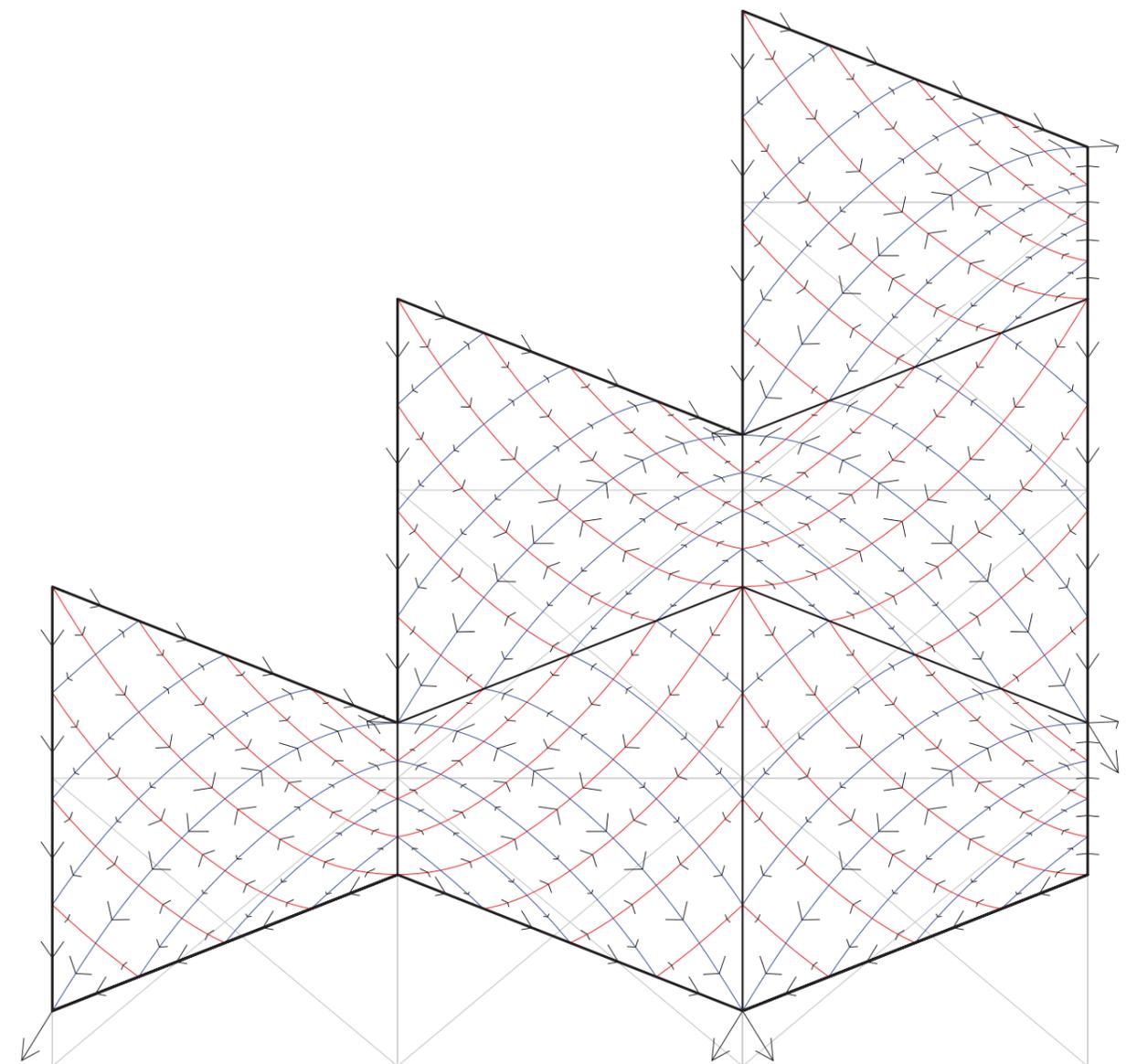
Por otro lado, en la parte inferior derecha de la lámina, vemos el conjunto de la cubierta, y como transmite las cargas repartidas hasta los apoyos. Al estar formada por seis paraboloides, el comportamiento difiere del caso de uno solo aislado, siendo el conjunto el más favorable ya que las generatrices que unen los diferentes elementos sirven como puente de unión entre las cargas, lo que proporciona una estabilidad que evita flexiones y permite trabajar mejor al conjunto de la estructura.

### Ventajas:

- Estructura de membrana
- Pequeño espesor
- Grandes luces con pocos apoyos
- Múltiples combinaciones de superficies

### Desventajas:

- Encofrado (Uso de mano de obra especializada)
- Fisuración por retracción del hormigón
- Inviabilidad de una prefabricación óptima
- Complejidad de cálculo en grandes luces



16

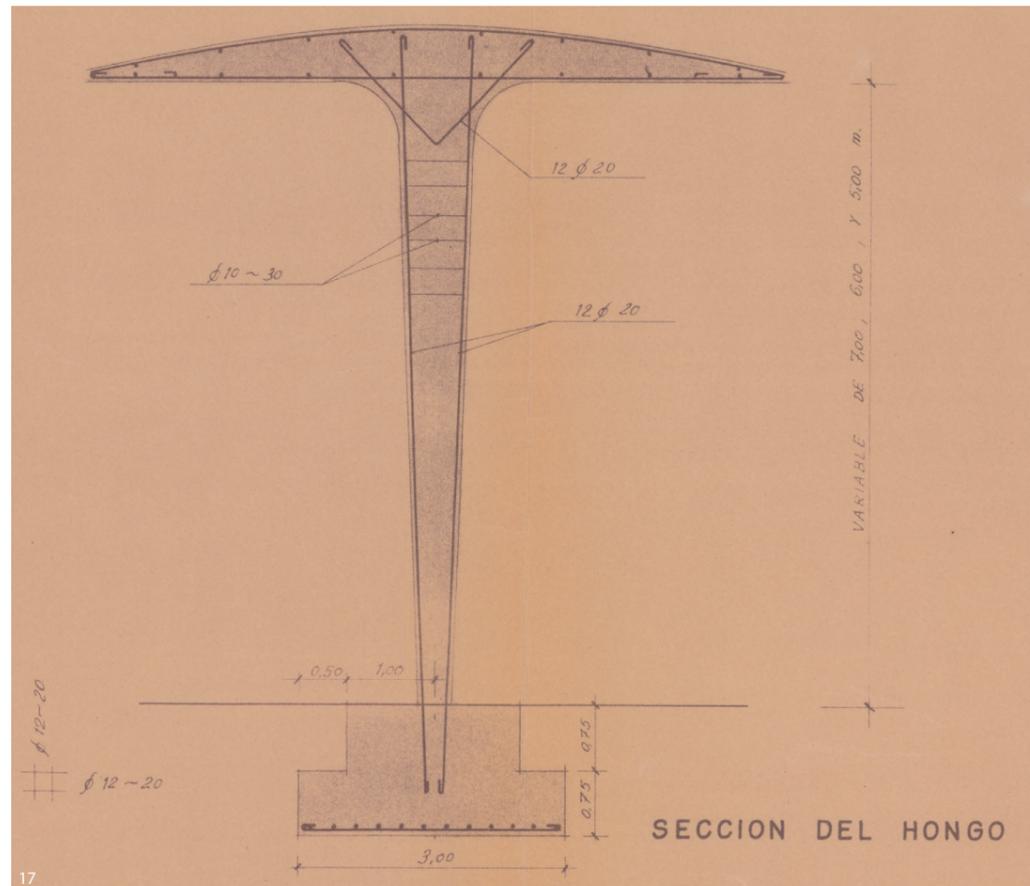


La estructura del Hongo está formada por un pilar vertical de, según en que tipo de hongo se centre el análisis, cinco, seis o siete metros de altura.

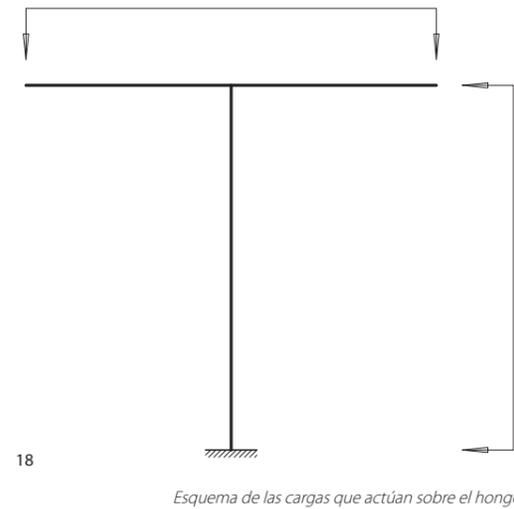
En su parte superior, se dispone una zona horizontal de forma cilíndrica con terminación esférica de ocho metros de diámetro.

Su armado vertical consiste en doce barras de diámetro veinte milímetros atadas con estribos de diámetro diez centímetros cada treinta centímetros.

El armado horizontal consiste en una parrilla inferior y una parrilla superior alabeada de barras de diámetro veinte centímetros.



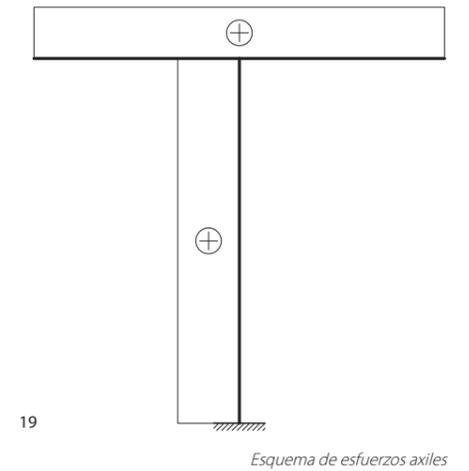
Extracto del plano de estructuras original de proyecto



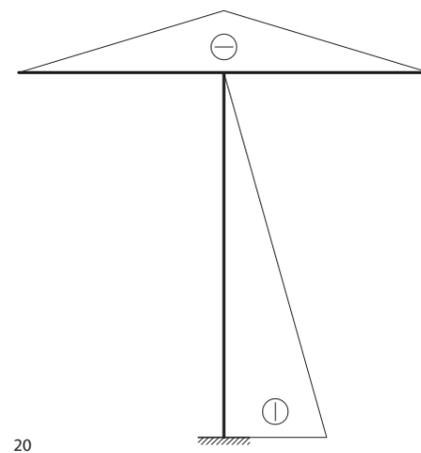
Esquema de las cargas que actúan sobre el hongo

El esquema de la izquierda muestra qué dirección siguen las cargas que actuarán sobre la estructura del hongo, estas cargas vienen determinadas en la actualidad por el Código Técnico de la Edificación.

El esquema de la derecha muestra como se comporta la estructura del hongo ante esfuerzos axiales, siendo estos continuos para toda la superficie, tanto vertical como horizontal.



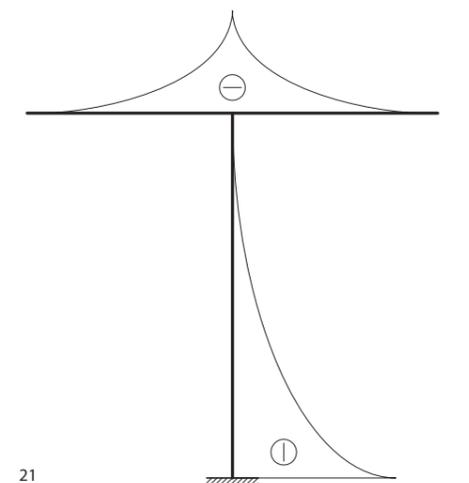
Esquema de esfuerzos axiales



Esquema de esfuerzos cortantes

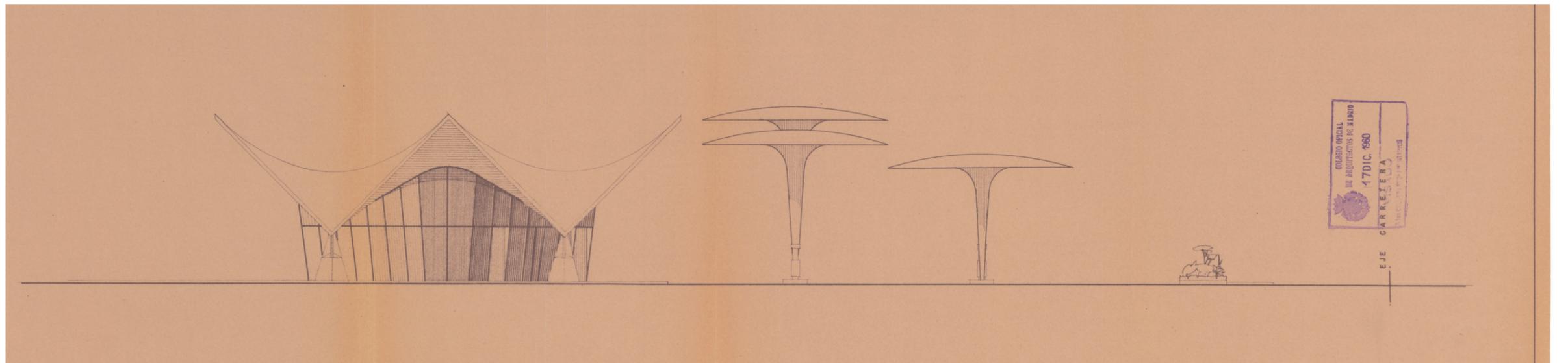
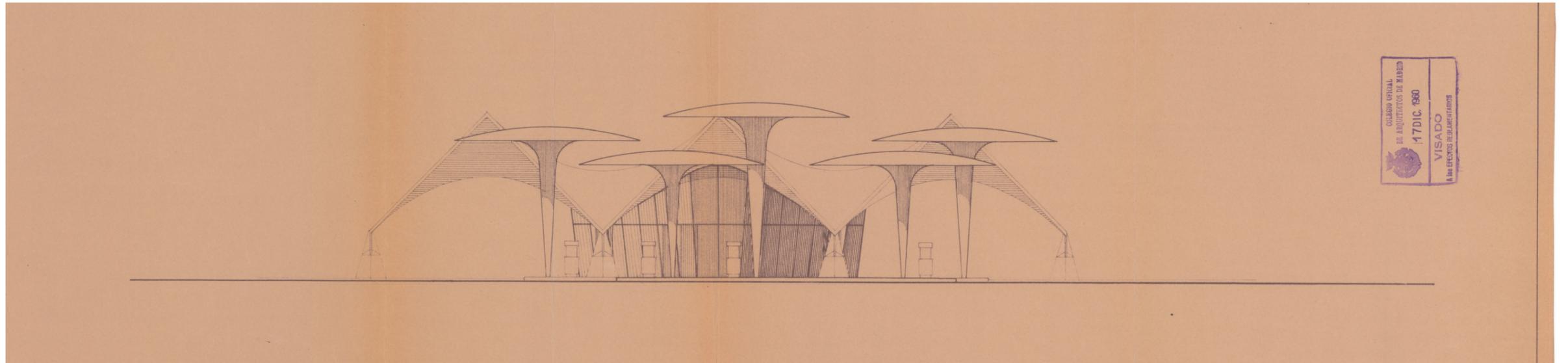
El esquema de la izquierda muestra como se comporta la estructura del hongo ante esfuerzos cortantes, se observa como tiene un pico máximo en el centro superior del pilar, para el cual se colocarán refuerzos.

El esquema de la derecha muestra como se comporta la estructura del hongo ante esfuerzos de momento flector, siendo el máximo en la base inferior del pilar, y quedando neutralizado en la superior.



Esquema de esfuerzos de momento flector

# C ONSTRUCCIÓN





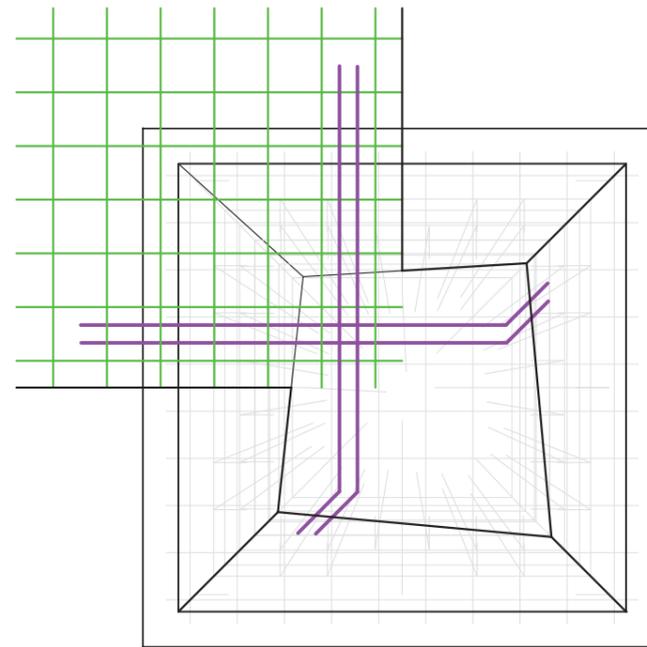
UNIÓN APOYO PARABOLOIDE

Esta unión es clave a la hora del buen funcionamiento de la estructura como se explicó en el capítulo anterior, para no transmitir momentos que modifiquen la distribución de cargas de la superficie laminar.

En este apartado, también se aprecian diferencias con respecto del proyecto, puesto que en este, los apoyos aparecen grafiados con base superior horizontal, y esto no es así en cuatro de los seis apoyos. La diferencia radica en su inclinación, una inclinación que simula la prolongación de los paraboloides.

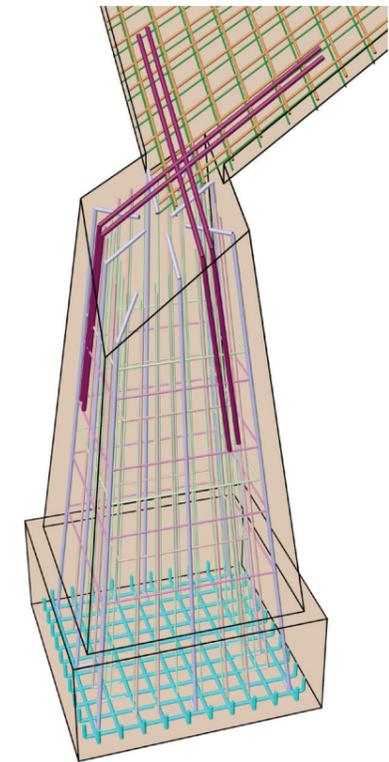
Este hecho es importante a la hora de colocar las armaduras, ya que es un punto crítico.

En la zona de unión, se encontrarán las armaduras de ambos elementos con la distribución de armado del paraboloides, únicamente dos barras en cada sentido se prolongarán sobre el apoyo, algo insuficiente, por lo que se propone que la solución óptima sería colocar dos barras más en cada dirección que se prolonguen desde el interior del paraboloides, pasando por la cara superior del apoyo y doblándose en patilla para terminar con un solape vertical por la zona del apoyo más alejada, con el objetivo de reforzar la zona y evitar roturas y fisuraciones.



01

Escala: 1/15



02

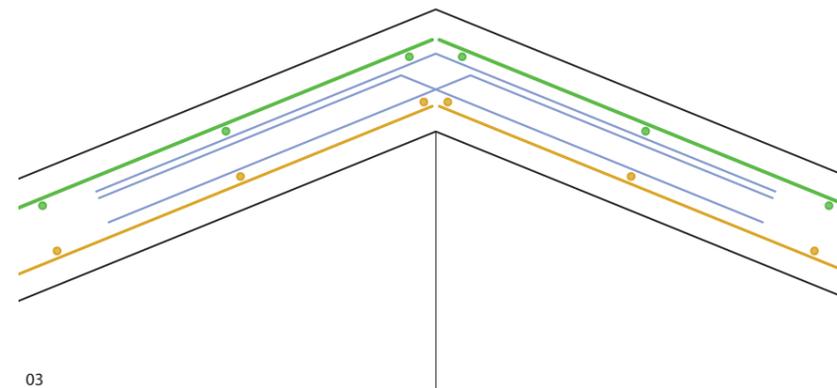
Representación 3D del refuerzo de la unión con el apoyo

UNIÓN PARABOLOIDES

La unión entre los distintos paraboloides es el punto de mayor singularidad de esta superficie. Esto es debido a la continuidad y simplicidad de cada paraboloides por separado.

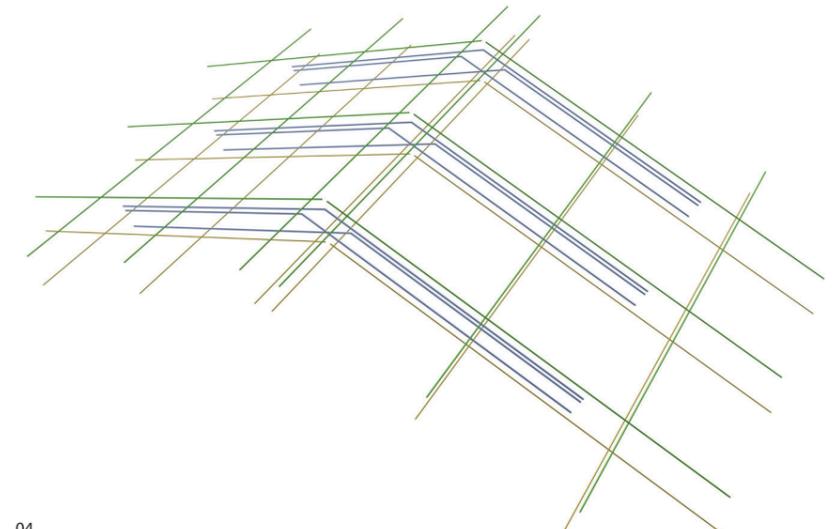
Los paraboloides están armados en dos sentidos perpendiculares por barras absolutamente rectas, esta es una de las grandes ventajas de este tipo de superficies. Este hecho hace que en su unión con otro paraboloides, haya una discontinuidad.

Esta discontinuidad ha de ser solventada de manera que, constructivamente, el armado trabaje de manera continua, y para ello, se propone que la solución óptima sea colocar unos conectores entre las armaduras, de los dos paraboloides a unir, que las aten y de esta manera eviten roturas en este punto de unión.



03

Escala: 1/5



04

Representación 3D del refuerzo de la unión entre paraboloides



**UNIÓN PILAR ZONA HORIZONTAL**

En el encuentro entre la parte superior del pilar, con la parte horizontal del hongo, se aprecia un cambio en la realidad respecto del modelo representado en los planos.

Esto puede ser debido a la complejidad de ejecución de una unión curva entre ambas partes, quedando simplificado esto al convertirla en unión recta.



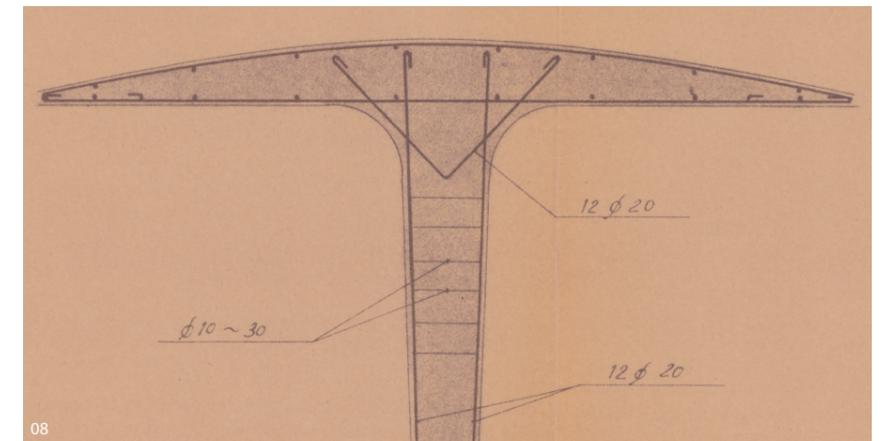
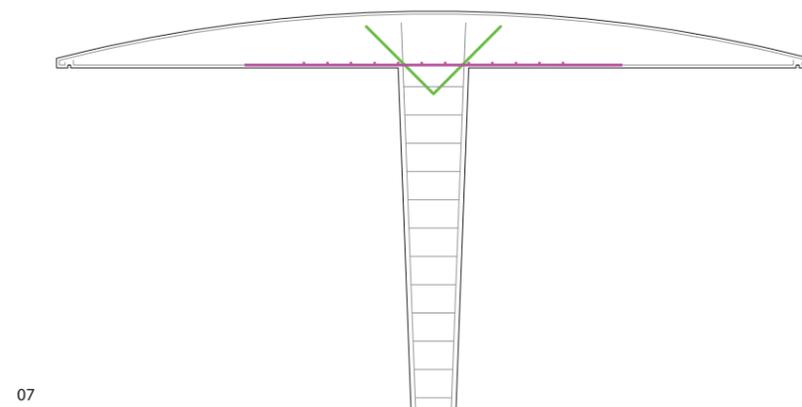
**REFUERZO EN LA UNIÓN SUPERIOR**

La modificación realizada en la ejecución de encuentro entre el cono invertido y la zona horizontal del hongo conlleva que la colocación de armaduras varíe.

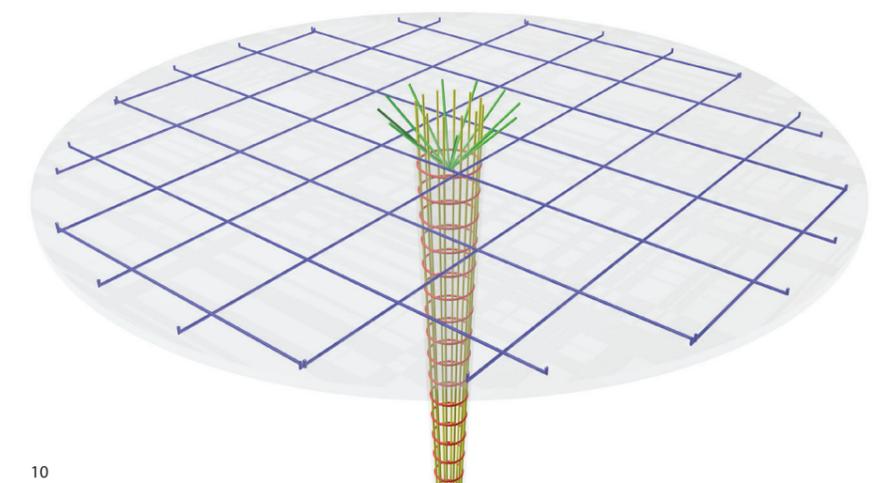
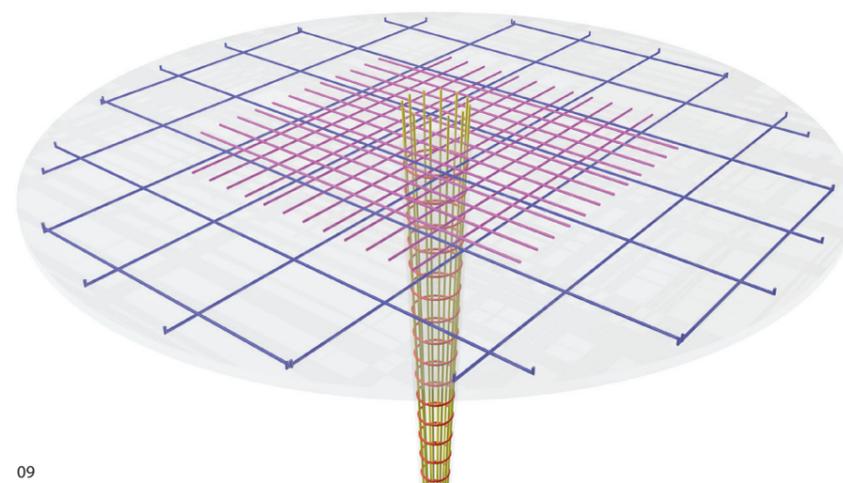
La armadura que está destinada a la absorción de los esfuerzos cortantes, según proyecto, en la zona de unión, tendrá que ser de menor tamaño o tener un ángulo de doblado menor, para poder ser colocada en el lugar que le corresponde.

Además, al haberse visto reducido el refuerzo pensado para resistir los esfuerzos cortantes debido a la modificación en la ejecución de los hongos, se propone añadir un nuevo refuerzo que dote de mayor rigidez a esta unión.

Este refuerzo consiste en una malla en sentido longitudinal y transversal en la zona central de hongo, de esta manera, quedan solventados de manera eficaz los posibles problemas provocados por la modificación en el proceso constructivo de estos elementos.



Escala: 1/75



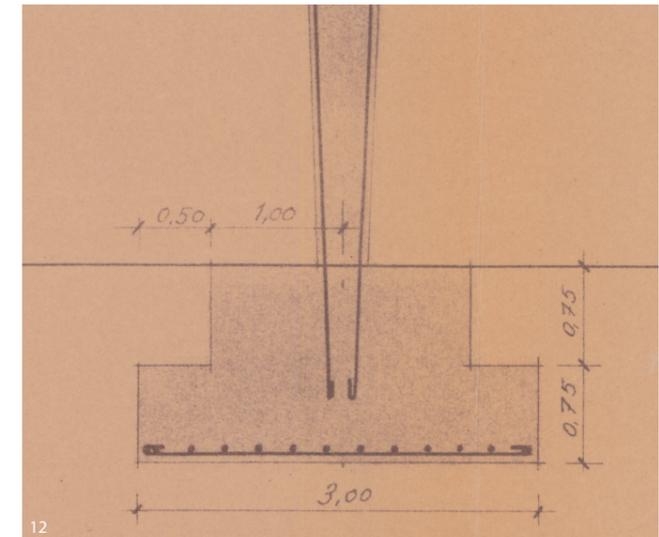
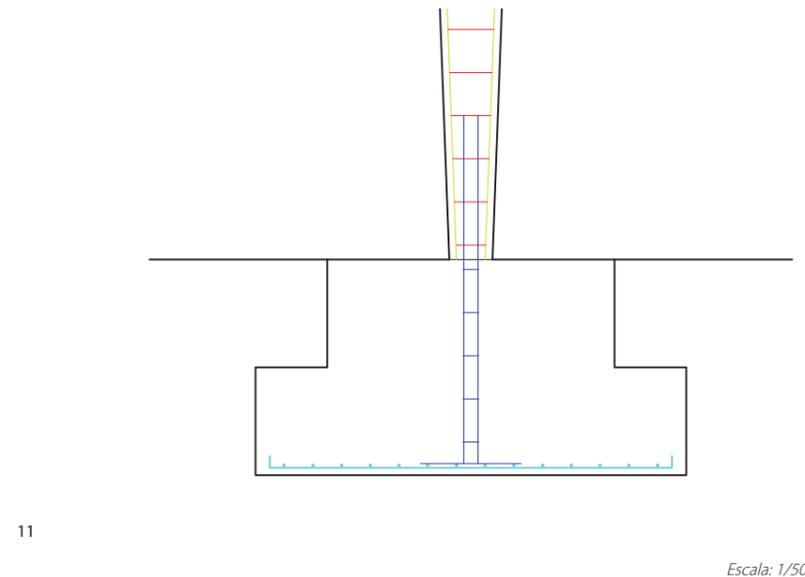


**MODIFICACIÓN EN EL ARRANQUE DE LOS HONGOS**

Las estructuras con forma de hongo vienen definidas según proyecto de tal manera que, durante el proceso constructivo, complicarían mucho su correcta ejecución.

Según el proyecto, las armaduras de la zona vertical, es decir, del cono invertido arrancan, aproximadamente, desde la mitad de la zapata de cimentación. Esto provoca que, constructivamente, no exista ningún apoyo de esta armadura y, consecuentemente, su dificultad a la hora de sujeción. A este factor, se ha de añadir el inconveniente de tener que sujetar, durante el proceso de hormigonado de la zapata, una armadura vertical de hasta siete metros de altura.

Como consecuencia de esto se propone la colocación de una armadura de arranque que apoyará en la zapata y se hormigonará con ella, dejando unas armaduras de espera en la parte superior, las cuales solaparán con las armaduras verticales que, en consecuencia, se habrán visto recortadas en aquella longitud que quedaba embebida en la zapata, y de esta manera, simplificar el proceso de ejecución del arranque de todas y cada una de las armaduras de las estructuras en forma de hongo de este proyecto.

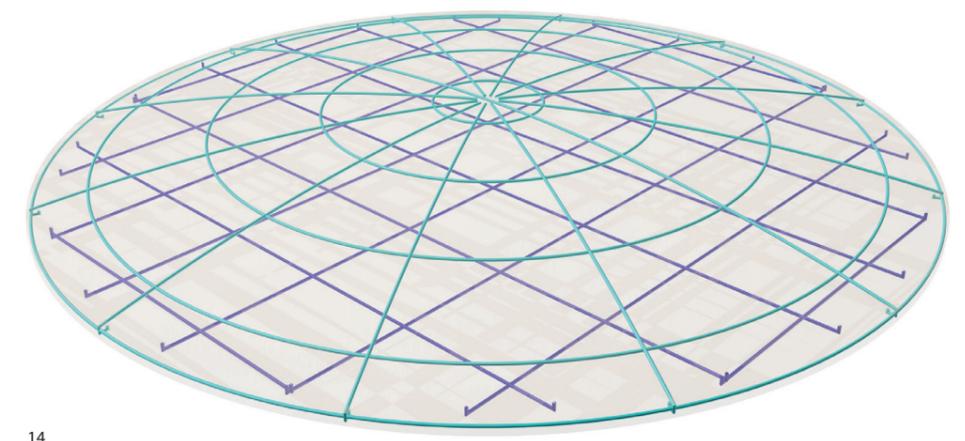
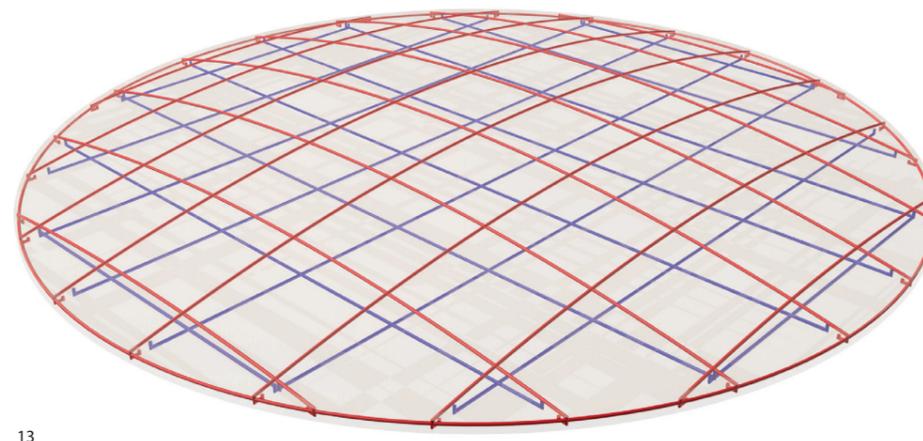


**ALTERNATIVA EN LA PARRILLA SUPERIOR ESFÉRICA DE LOS HONGOS**

La particular forma que adquieren los hongos en su parte superior, una forma esférica de un elevado radio, provoca que la correcta ejecución de su armadura pueda verse afectada por esta forma peculiar.

Según el proyecto original, se plantea una estructura en forma de retícula, con la salvedad de que las armaduras no son rectas, sino que siguen la curvatura establecida por la esfera. Esto conlleva que el doblado de las barras situadas en los extremos de la retícula, es decir, las de menor longitud, puedan originar problemas a la hora de adquirir la curvatura deseada.

Para evitar esta situación, se propone la colocación de un armado superior que difiere del establecido en proyecto en su forma, pasando de ser una retícula en cuadrícula a tener una forma radial, en la que las armaduras longitudinales serán arcos que girarán alrededor del eje central del hongo, y las armaduras transversales serán circunferencias concéntricas al eje del hongo. Con esto se evita el doblado de unas armaduras de una longitud mínima y se consigue una superficie armada de manera eficaz.





**ESTUDIO DEL PROYECTO**

El primer paso para abordar la ejecución material de este proyecto será el estudio del conjunto de información facilitada, planos, memorias, etc, para conocer con exactitud las características de la edificación, ubicación, entorno, etc.

Tras realizar el estudio previo, se procederá al visitar el solar, con el objetivo de reconocer el terreno sobre el que se va a construir la edificación, identificar la finca y sus lindes, puntos idóneos para la colocación del acceso rodado, situar las infraestructuras pertinentes (agua, alcantarillado, electricidad, telecomunicaciones, etc.) así como redes municipales de alcantarillado, electricidad, telecomunicaciones, etc, tanto enterradas como aéreas, para evitar conflictos durante la obra.

**COMIENZO DE LA OBRA.**

Una vez se han realizado todos los pasos previos, se comienzan los trabajos en el solar.

El primer paso es colocar el vallado de seguridad, que cierre el perímetro del centro de trabajo separando e identificando claramente los límites de la obra.

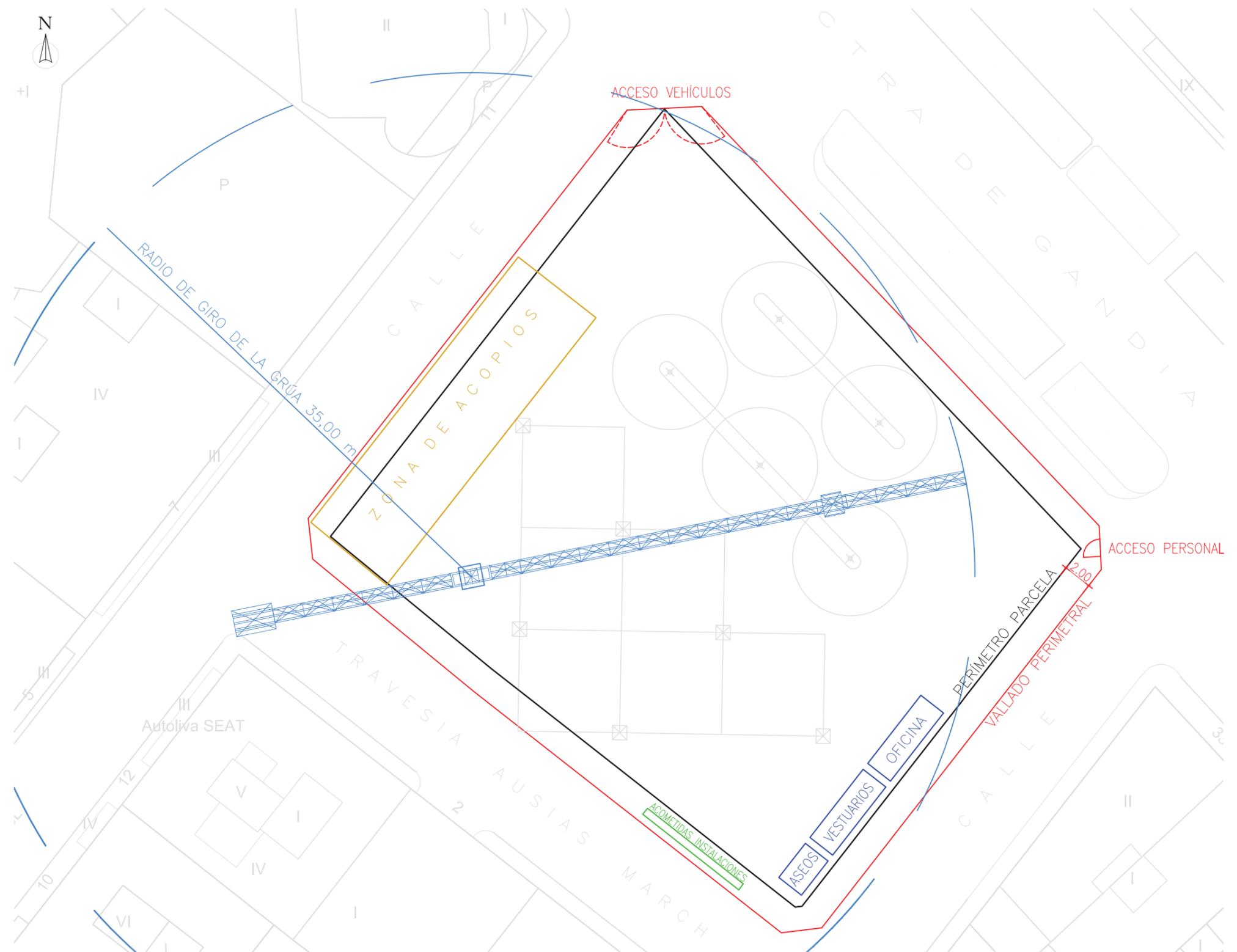
Posteriormente se procederá con el establecimiento de casetas de obra, vestuarios, comedor, almacén de materiales, etc.

Se determinará una zona de acopios en la cual se depositará el material que vaya llegando al centro de trabajo.

A continuación, se realizarán los enlaces a las redes públicas de abastecimiento que dotarán a la obra del suministro necesario de agua, energía, etc.

Por último, se procederá a colocar la grúa, se ha de buscar un lugar estratégico para que, con la menor longitud de brazo posible, se alcance la totalidad de lugares que requieran de ello.

Una vez finalizado estas actividades iniciales, se comenzarán los trabajos de excavación.





**EJECUCIÓN DE LA EXCAVACIÓN**

**E**n el caso de que fuera necesario, desbroce y limpieza del terreno.

**M**ovimiento de tierras para alcanzar la cota general del nivel sobre el que en un futuro se realizarán las pavimentaciones.

**L**a retirada de tierra extraída del solar se realizará a través de camiones volquete por la zona de acceso determinada para ello en el plano de emplazamiento anteriormente detallado.

**R**eplantar todos los elementos de la obra y fijar niveles de referencia, mediante encamillado de las diferentes líneas, tanto de los paraboloides como de los hongos.

**E**xcautación de los cimientos, tanto de las zapatas de los hongos como de los apoyos de los paraboloides y las fosas para alojamiento de los depósitos, con una máquina retroexcavadora.

**P**erfilado y refino de los bordes de las cimentaciones, que se realizará de forma manual.

**C**omprobación de las dimensiones y niveles de las excavaciones abiertas.

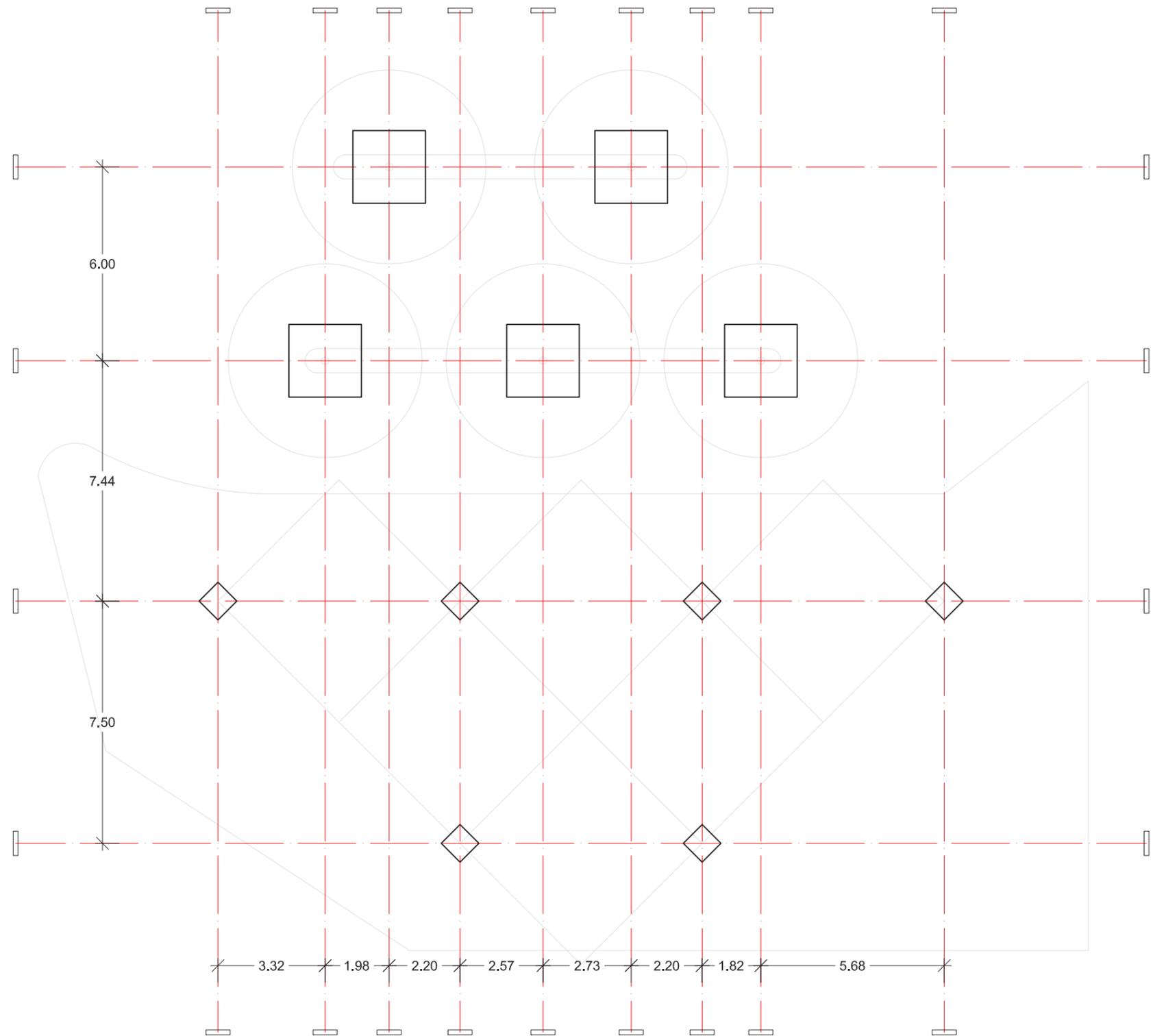
**V**ertido de hormigón de limpieza en todos los cimientos, no viene determinado en proyecto, pero se considera muy aconsejable su ejecución.

**F**errallado de las zapatas colocando las parrillas y toda la armadura de los apoyos de la cubierta y de los hongos, en este último se añade la armadura de arranque que no viene en proyecto.

**C**olocar toma de tierra, no viene en proyecto.

**H**ormigonado de la cimentación a través de cubilote con ayuda de la grúa torre, vibrando todo el hormigón vertido, y posterior vibrado.

**C**olocación de las armaduras verticales de los hongos y las armaduras de refuerzo en la unión con la parte superior horizontal.





**DESCRIPCIÓN GENERAL**

La zona de mayor singularidad y complejidad constructiva de esta estructura son sus apoyos.

Estos apoyos tienen una altura de 2'00 metros con forma piramidal, y unas dimensiones en su base inferior de 0'80 por 0'80 metros y en su base superior de 0'40 por 0'40 metros, en planta.

Cabe destacar el gran número de armaduras que forman el armado del apoyo, distinguiendo hasta tres tipos diferentes de barras distribuidas en 48 barras, según proyecto.

**DESCRIPCIÓN DE LOS CIMIENTOS**

El cimiento que soporta el peso de la cubierta, tiene unas dimensiones de 1'10 por 1'10 metros de base y 0'50 metros de profundidad, y está armado con una malla de diez barras de acero en cada sentido de 12 milímetros de diámetro.

Su unión con el apoyo se realiza por prolongación recta de las barras que arman el apoyo y su atado con la malla de la zapata.

**EJECUCIÓN DE LOS APOYOS**

Para la ejecución de los apoyos, hay que recordar que las armaduras de estos se colocaron previo hormigonado de las zapatas.

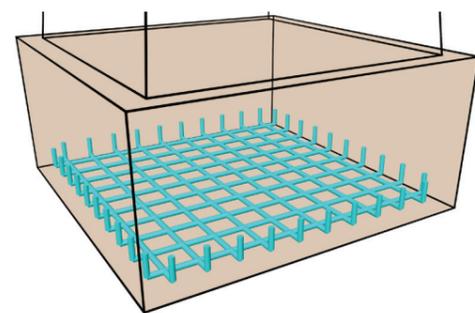
En primer lugar se procede a colocar las armaduras de refuerzo en la zona superior de los paraboloides y su prolongación en patilla a lo largo del apoyo, esto se realiza para facilitar su atado con las armaduras del apoyo.

Tras este paso, se colocará el encofrado de los apoyos, para ello se utilizarán tres encofrados diferentes, uno para cada tipo de apoyo. Este encofrado ha tenido que ser previamente aplicado con una capa de desencofrante.

El proceso de hormigonado se realizarán en dos tandas al disponer de un modelo para cada tres pilares, de tal manera que su ejecución no será simultánea.

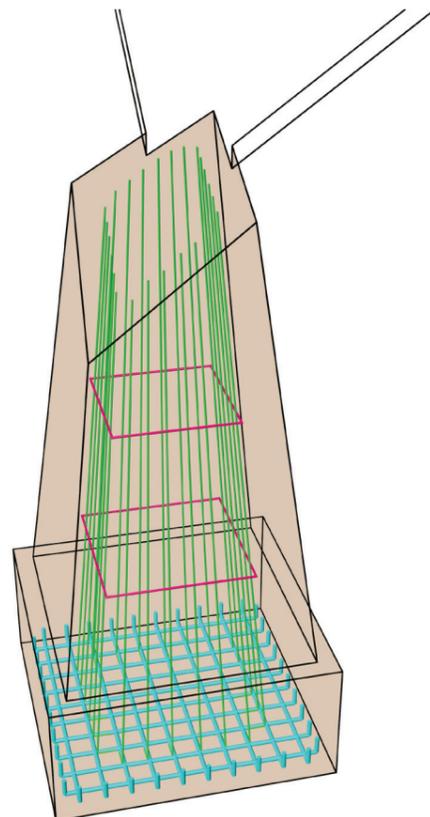
Por último, se procederá al desencofrado una vez transcurridos los días necesarios para el correcto fraguado y endurecimiento del hormigón.

En este momento, los apoyos habrán quedado totalmente hormigonados y con las esperas de los refuerzos saliendo de la estructura del hormigón, preparados para solapar con la estructura de los paraboloides.



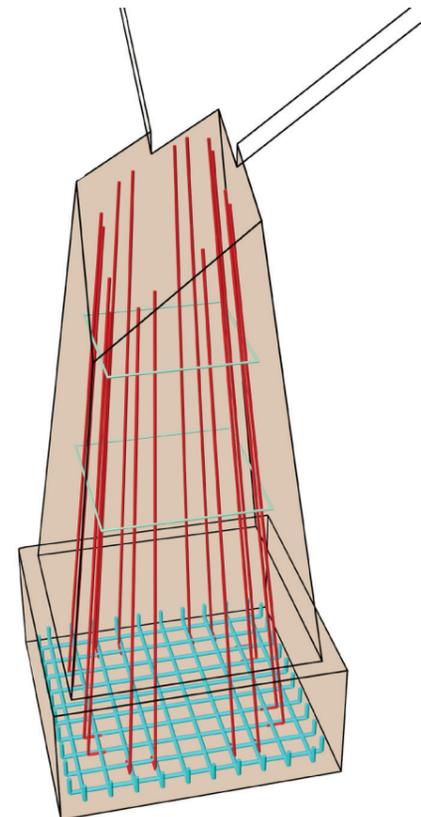
17

Imagen de la cimentación de los apoyos del paraboloides



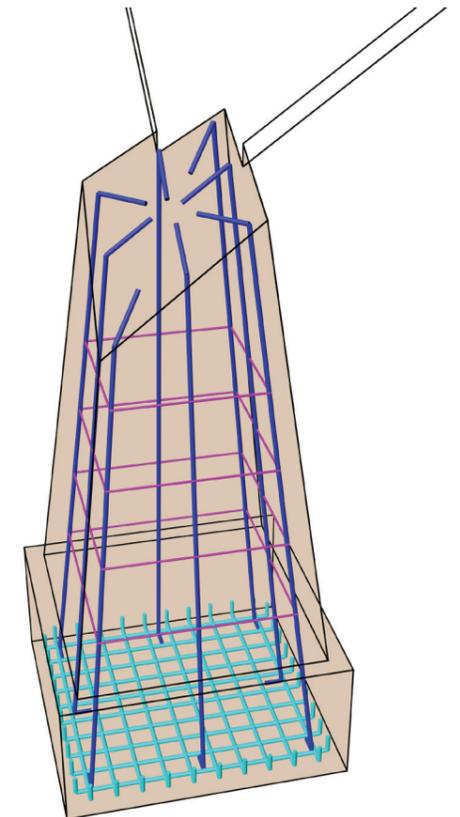
18

Imagen del armado del barras de 5 mm de diámetro



19

Imagen del armado del barras de 8 mm de diámetro



20

Imagen del armado del barras de 12 mm de diámetro



## DESCRIPCIÓN GENERAL

La cubierta de este proyecto está formada por seis paraboloides hiperbólicos de dimensiones cuadradas de 7 por 7 metros.

Su armado consiste en dos mallas colocadas en su parte superior e inferior, con una cuantía de siete barras de diámetro 8 milímetros por cada metro lineal y ocho barras de diámetro 5 milímetros por cada metro lineal, respectivamente.

Todo ello, recubierto por una capa de 8 centímetros de espesor (9 según muestras tomadas in situ) de un hormigón de 400 Kg/cm<sup>2</sup>, que adaptado a la nomenclatura actual, se correspondería con 40 N/mm<sup>2</sup>.



Toma de muestras del espesor de los paraboloides in situ

## EJECUCIÓN DE LA CUBIERTA

El primer paso para la consecución de la cubierta será replantear los puntos singulares de los paraboloides sobre el terreno, es decir, su perímetro.

A continuación, situar en altura los puntos replanteados sobre el terreno con ayuda de medios auxiliares, estos estarán colocados sobre durmientes en el caso de puntales, y tacos en caso de andamios.

Una vez hecho esto, se procederá a unir estos puntos singulares mediante vigas de madera.

Sobre las cuatro vigas principales (una por cada una de las directrices de los paraboloides), se apoyarán unas vi-



Encofrado de la cubierta del restaurante del "Parc Oceanografic" de Valencia (2006)

gas secundarias separadas a una distancia de 50 cm en uno de los dos sentidos únicamente.

De igual manera que en un forjado convencional, las vigas se han de apuntalar cada cierta distancia para evitar su flexión, se estima una distancia de entre 70 cm y 1 m de distancia. Para colocar estos puntales, se pueden aprovechar las patas de los andamios cuando sea posible, en este caso, se ha de dejar una posible holgura para nivelar esta viga con respecto a las demás.

El siguiente paso será la colocación del entablillado, de madera de 1 cm de anchura (toma de medidas in situ) y un grosor estimado de las tablillas de en torno a 2 cm en adelante, dependiendo siempre de las vigas secundarias.

Tras la colocación del tablero completo, se marcará de nuevo el perímetro para colocar los parapastas.

Una vez finalizado el encofrado completo, se comprobarán los niveles para asegurarse de que la ejecución se ha realizado de manera correcta.

La aplicación de desencofrante en toda la superficie de tablillas será el siguiente paso, muy importante para que no se produzcan problemas a la hora de desencofrar, puesto que estamos ante una superficie de hormigón visto donde el mayor atractivo recae en la cara inferior precisamente.

A continuación se colocará la ferralla y los refuerzos, los separadores se convierten en esenciales en esta estructura así como los testigos para dejar la superficie uniforme, ya que estamos ante una masa de hormigón armado de tan solo ocho centímetros de espesor.



Hormigonado proyectado de la cubierta del restaurante del "Parc Oceanografic" de Valencia (2006)

Tras el ferrallado, se ha de realizar un humedecido previo de toda la superficie para que la madera no absorba la escasa agua que tiene el hormigón utilizado en este caso.

Se procede al hormigonado. Este será proyectado con una dirección ascendente desde los apoyos hasta los vértices de los paraboloides. Tras este paso y durante el proceso de endurecimiento, se realizará un curado exhaustivo de la superficie durante, al menos, una semana.



Detalle de borde libre de la cubierta del restaurante del "Parc Oceanografic" de Valencia (2006)

Desencofrado. Se comienzan a aflojar ciertos puntos de apoyo de las vigas principales y secundarias de manera intercalada para que la estructura comience a entrar en carga. Progresivamente se aflojarán el resto de apoyos hasta que finalmente la estructura queda libre de apoyos.

Tras este paso, se procede a quitar el entablillado de toda la superficie de tablillas, progresivamente.

Finalmente se desmontan los andamios y puntales dejando libre la estructura.



**DESCRIPCIÓN GENERAL**

La estructura de los hongos está formada por una zapata cuadrada de hormigón armado desde la cual arranca un pilar del mismo material, arriostrado con cercos y unido a una parte horizontal alveada en su zona superior y plana en su inferior.

**DESCRIPCIÓN DE LOS CIMIENTOS**

La base de la zapata es cuadrada, con unas dimensiones de 3'00 por 3'00 metros y con una altura total de 1'50 metros.

Su geometría es ciertamente peculiar, ya que está compuesta por una parte inferior con unas dimensiones citadas anteriormente y altura la mitad del total, y una parte superior de base 2'00 por 2'00 metros y una altura correspondiente a la mitad restante del total.

Esta forma característica hace que su ejecución sea, a su vez, atípica. Para poder realizarla, se tendrá que colocar un primer encofrado con las dimensiones de la base inferior de la zapata, para posteriormente, situar sobre este molde de encofrado, otro con las dimensiones de la parte superior de la zapata.

**DESCRIPCIÓN DE LA UNIÓN ZAPATA - PILAR**

En cuanto a la unión de las armaduras del pilar del hongo, se aprecia en los planos cómo no tiene un arranque que solidarice esta unión con la armadura de la zapata, si se ejecutase de esta manera, las armaduras verticales se colocarían previo hormigonado de la zapata, quedando embebidas una parte y ya situadas tras el fraguado y endurecimiento del hormigón de la zapata, pero la complejidad de esta solución hace pensar que la solución constructiva óptima sea la colocación de una armadura de arranque que quedará embebida en el hormigón, para posteriormente enlazar las armaduras de espera salientes con la estructura del pilar.

**EJECUCIÓN DE LOS PILARES**

Para la ejecución del pilar, se utilizará un encofrado de madera compuesto por dos elementos, cada uno con forma, la mitad del tronco del cono, que se unirán de manera vertical.

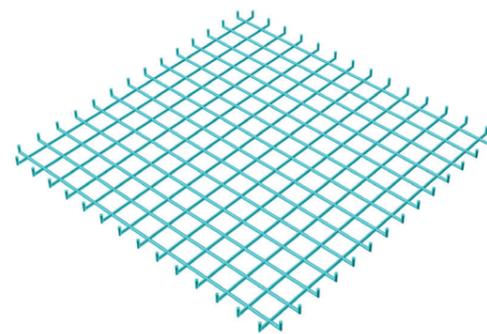
Dada la forma peculiar del encofrado (truncocónico), su elevado coste y pretendiendo su máximo aprovechamiento, se reutilizará para todos los pilares; esto es posi-

ble porque al tener solo cinco pilares, la madera es capaz de admitir tal número de puestas en obra. Antes de la colocación del encofrado se aplicará desencofrante.

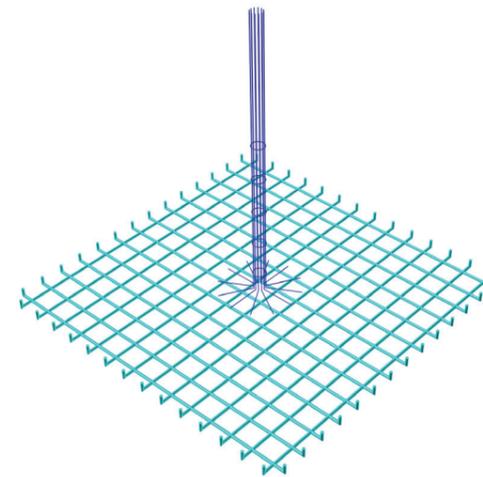
Primero se ejecuta el pilar más elevado, con un encofrado truncocónico con tablillas de madera y una longitud de siete metros. Después se realizan los pilares de seis metros, de manera no simultánea, cortando el sobrante

del encofrado anterior para convertirlo en uno de seis metros. Por último, se vuelve a cortar el encofrado a la altura de cinco metros y se realizan los dos últimos pilares de esta altura, de igual manera, no simultáneamente.

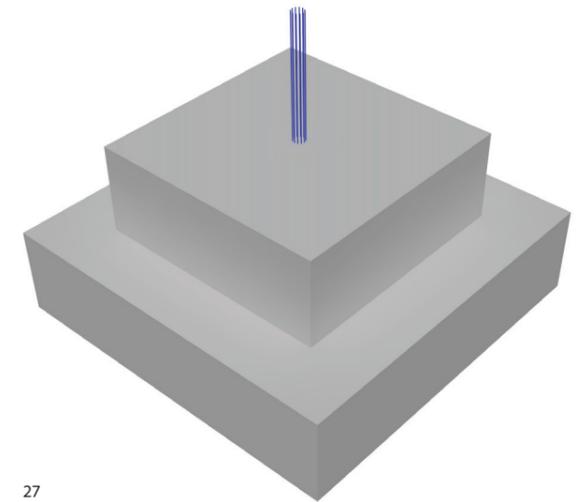
Correspondientemente con el momento del encofrado de cada pilar se realizará su hormigonado, curado y posterior desencofrado para ser reutilizado.



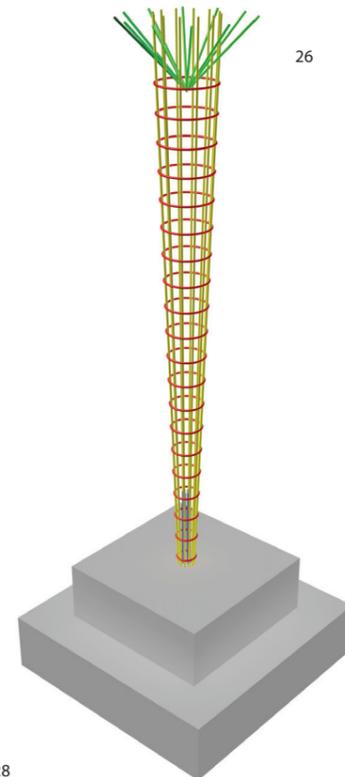
25



26



27



28



29

**EJECUCIÓN ZONA SUPERIOR HORIZONTAL**

Para el armado de la parte superior horizontal de los hongos, se colocará un andamio alrededor del pilar.

Sobre el andamio, y utilizando este como apoyo, se coloca el encofrado horizontal de la superficie del hongo.

Sobre la superficie del encofrado se marcarán las dimensiones del hongo y el goterón.

El encofrado tendrá la suficiente holgura perimetral para que, aparte de colocar el parapastas, se pueda trabajar sobre él. En todo su perímetro se colocarán unas barandillas de protección.

Tras disponer de todos los elementos de seguridad, se comenzará a trabajar sobre el encofrado, y el primero paso es aplicar una capa de desencofrante ya que, al igual que los paraboloides, esta superficie quedará vista en todo su conjunto.

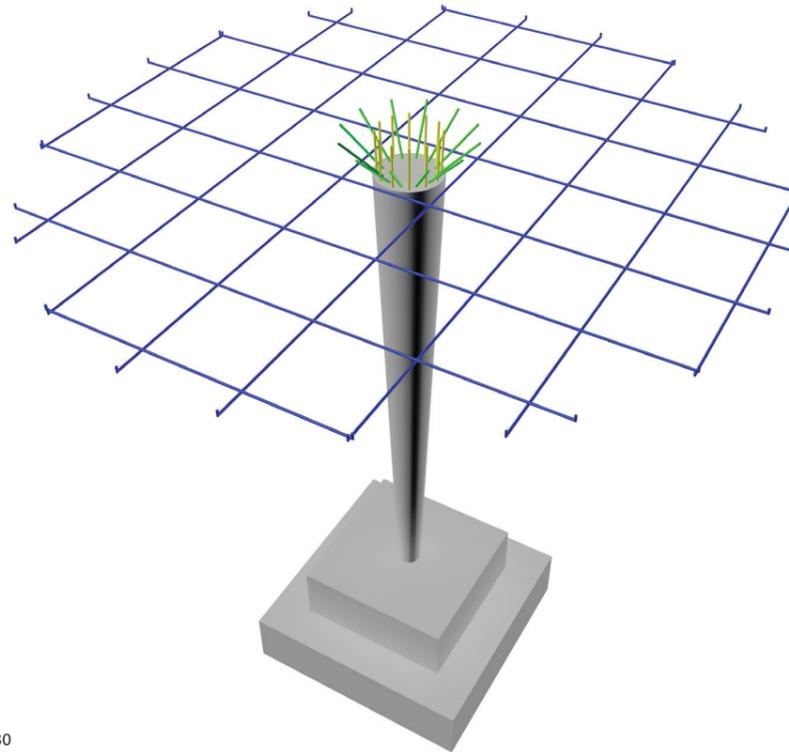
Tras este paso, se procede al armado. Primeramente se monta la parrilla inferior y, tras esta, se coloca la superior ayudada por separadores, al igual que en el paraboloide, en gran número para disminuir las posibles diferencias en las alturas de las armaduras, así como testigos, ya que al ser una superficie curva la ejecución requiere de su uso.

Previo al hormigonado, se humectará la superficie para evitar que la madera absorba el agua perteneciente al hormigón.

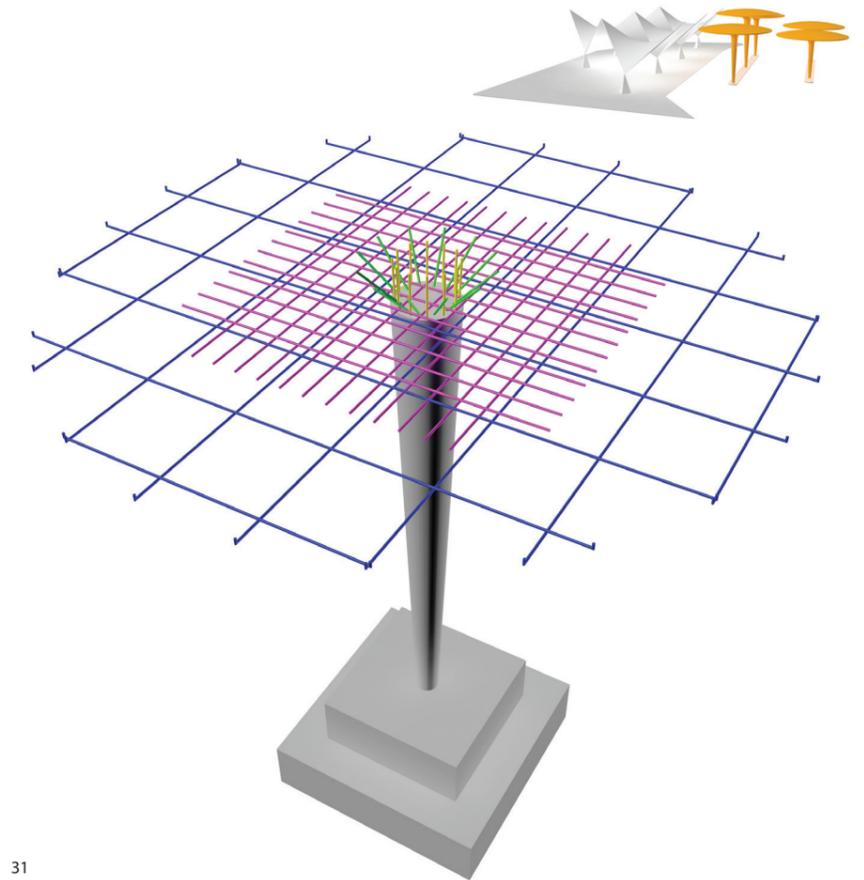
Una vez preparada la superficie, se procede al hormigonado. En este tipo de superficies, es importante la colocación de testigos, para controlar en todo momento la altura en cada punto de la superficie, para que el resultado final sea el esperado. Se recomienda usar hidrofugante al igual que en los paraboloides, ya que en el presupuesto no viene determinado.

Después del hormigonado, se realizará el curado de la superficie, y tras el endurecimiento, se realizará el desapuntado, desde el extremo, hasta el centro, para que vaya entrando en carga progresivamente.

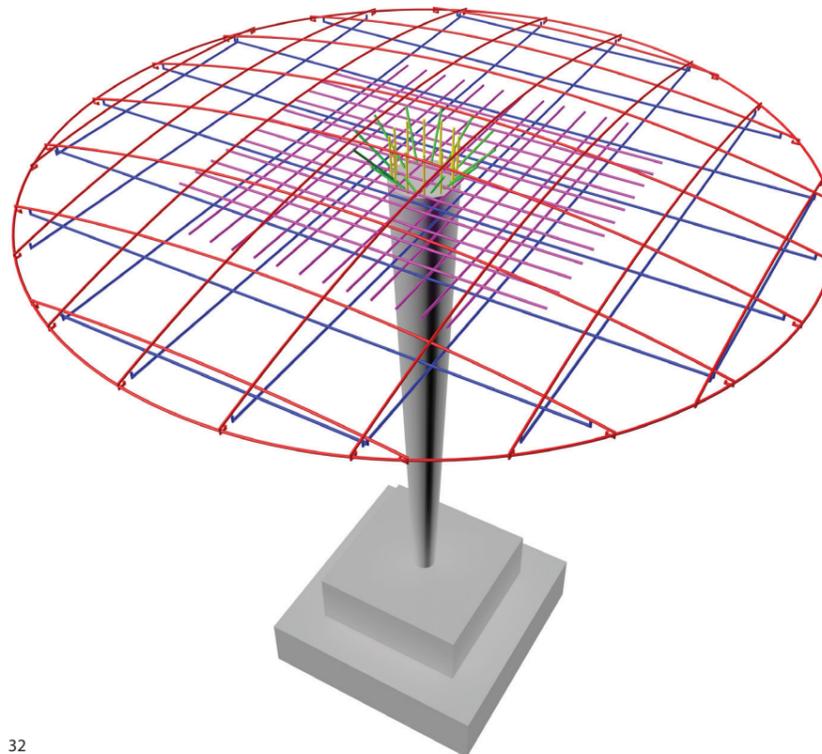
Para finalizar, se procederá al desmontaje del andamio.



30



31



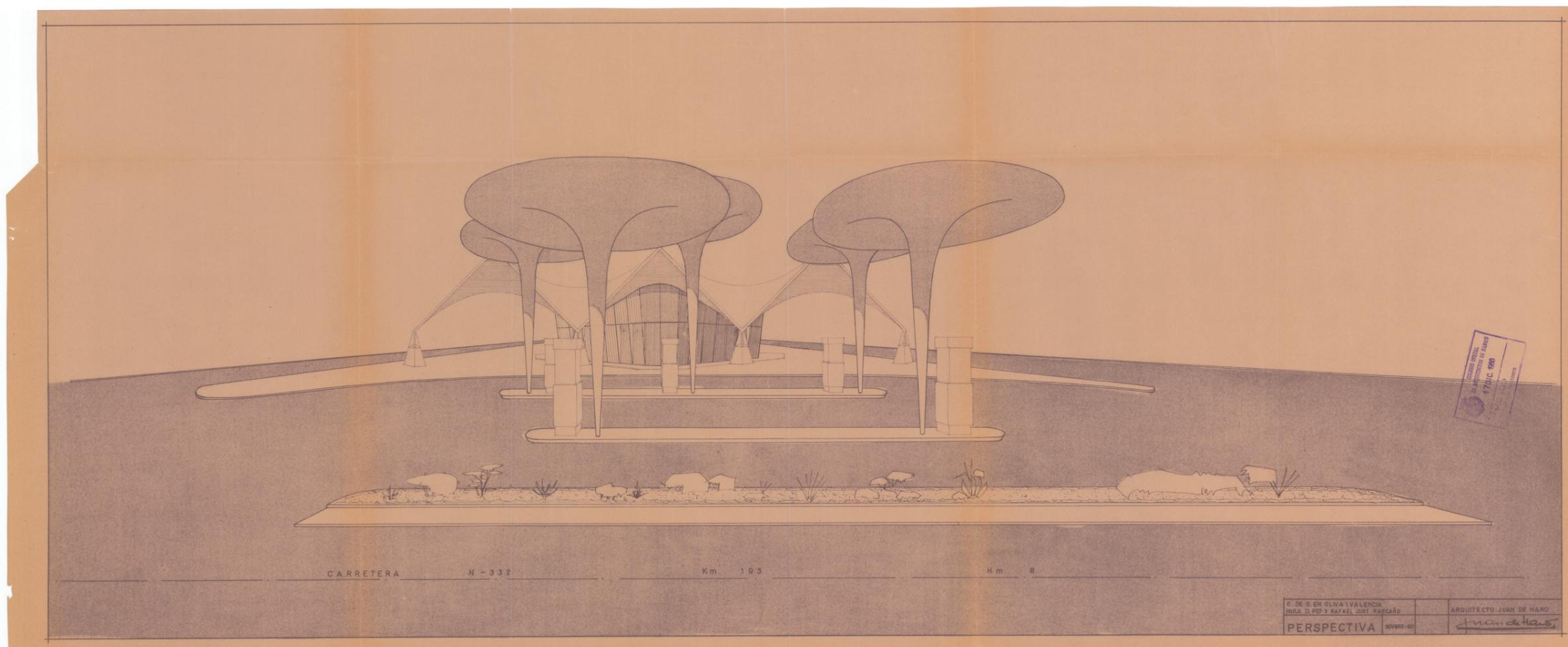
32



33



# C ONCLUSIONES





El siguiente análisis de la cubierta de paraboloides hiperbólicos está definido en la tesis doctoral del profesor Francisco Javier Sanchis Sampedro, de título "La geometría de las Superficies Arquitectónicas. Análisis formal geométrico de la Ciutat de les Arts i de les Ciències de Valencia", y viene definido de la siguiente manera:

#### COEFICIENTE DE IDONEIDAD GEOMÉTRICA

Coeficiente que recoge una valoración cualitativa como conclusión a los análisis realizados sobre un edificio o parte de él, centrados en su forma geométrica y las consecuencias que este diseño tiene desde el punto de vista estructural y constructivo.

Recoge tres aspectos con su valoración independiente, la forma geométrica, la coherencia entre estructura y geometría y la aplicabilidad de la geometría durante el proceso constructivo.

El "coeficiente de idoneidad" resultará de la suma de los tres parámetros anteriores, pudiendo ser 0 en el caso de un elemento donde la geometría no se ha utilizado correctamente en ninguna de los tres aspectos comentados, o puede ser 6 si es un buen ejemplo de utilización de la geometría en el diseño de arquitectura."

#### FORMA GEOMÉTRICA

La superficie geométrica puede haber sido utilizada en el diseño de manera limpia y exacta o haberse adaptado a la forma deseada. Se valorará con un 2 la geometría utilizada de manera más correcta y con un 0 la que ha sufrido excesivas modificaciones para adaptarse al diseño desde su forma original.

*"La geometría de esta construcción destaca por encima del resto de características, el paraboloide hiperbólico es una demostración de destreza constructiva que permite ser ejecutada tal y como ha sido concebida en los planos, sin sufrir ningún tipo de variación con respecto de la idea inicial del arquitecto".*

Valoración: 2 Puntos

#### COHERENCIA ESTRUCTURA/GEOMETRÍA

En ocasiones el uso de una determinada geometría ayuda a un mejor comportamiento estructural. Otras veces el empleo de una forma necesita de elementos estructurales auxiliares para poder soportar las cargas. Se ha valorado con un 2 el primer caso en el que estructura y geometría son coherentes, y con un 0 el caso en que la geometría no solo no ha sido coherente con el sistema estructural sino que ha necesitado de una estructura auxiliar para ejecutarse.

*"La simplicidad y limpieza de la que goza esta construcción se culmina en una conjunción perfecta entre estructura y geometría, su forma implícita permite distribuir las cargas de manera tal que, únicamente con seis apoyos de pequeña magnitud en comparación con el conjunto, esta estructura quede perfectamente definida estructuralmente, trabajando de manera idónea sin necesidad de ningún elemento ajeno a ella misma".*

Valoración: 2 Puntos

#### APLICABILIDAD DE LA GEOMETRÍA DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO

Durante la ejecución de una superficie singular, la geometría puede colaborar a realizar los despieces del material, diseñar los encofrados, organizar el proceso constructivo. Si en el elemento analizado sucede este hecho se ha valorado con un 2. Si por el contrario no se ha utilizado la geometría durante la construcción de una determinada superficie, y además, de haberse utilizado se hubiera optimizado algunos de los procesos, materiales, etc. se valorará con un 0 en este apartado.

*"La geometría, en el particular caso del paraboloide hiperbólico durante el proceso constructivo, tiene especial importancia, su creación a partir de generatrices rectas adquieren todo el protagonismo en el diseño de ejecución, permitiendo realizar un encofrado de tablillas rectas en su totalidad para dar lugar a una superficie curva en su conjunto global".*

Valoración: 2 Puntos

Teniendo en cuenta los tres aspectos analizados, la valoración final obtenida por esta edificación será de **6 puntos**, por considerar la geometría el factor principal en forma, estructura y construcción.



**E**l proyecto desarrollado fue, desde sus inicios, todo un desafío personal, ya que enfrentarse algo tan poco habitual y parcialmente desconocido siempre es difícil inicialmente.

**E**ste proyecto me ha servido para ampliar horizontes, abrir la mente y darme cuenta de que formas geométricas alternativas a lo común y establecido son posibles de llevar a cabo y, además, con muchas ventajas.

**E**l estudio de las estructuras laminares me ha ayudado a entender su funcionamiento, ventajas y aplicaciones dentro de la edificación, en este caso, aplicada a superficies singulares.

**P**or último, en la parte inferior aportó unas pinceladas de cada uno de los apartados y las conclusiones personales que he obtenido tras finalizar por completo su análisis.

#### GEOMETRÍA

**E**l paraboloides hiperbólico es una superficie con una geometría particular, la doble curvatura que adquiere, sumada con su combinación entre sí, crean un elemento de gran atractivo visual.

**E**n la edificación estudiada, se puede apreciar la limpieza y simplicidad que el arquitecto quiso imprimir a todo el conjunto, consiguiendo esa belleza de la que gozan estas formas geométricas.

**L**as estructuras fungiformes, u hongos, le añaden peculiaridad al conjunto de la estación de servicio, aportando geoméricamente un elemento de características únicas al combinar tres figuras como son el cono, la esfera y el cilindro.

#### ESTRUCTURA

**E**l paraboloides hiperbólico se caracteriza estructuralmente por su comportamiento como estructura laminar, hecho que permite su pequeño espesor sin que ello perjudique al conjunto de la estructura.

**L**a cubierta de la estación de servicio está ejecutada con un espesor de ocho centímetros para cubrir superficies de hasta doce metros únicamente con dos apoyos, hecho que diferencia a esta estructura de la gran mayoría de ellas.

**L**os hongos se comportan estructuralmente como un voladizo circular sobre un pilar, es destacable la armadura en la zona de unión entre la zona horizontal y vertical al producirse grandes esfuerzos cortantes sobre el pilar.

#### CONSTRUCCIÓN

**E**l paraboloides hiperbólico es un elemento de gran dificultad constructiva, su encofrado, a partir de tablillas de entre uno y dos centímetros de espesor, hace que su creación sea una tarea reservada para especialistas únicamente.

**E**l método de ejecución utilizado en esta cubierta, a pesar de la época de construcción, denota, por su resultado actual, una gran dedicación y empeño por conseguir una superficie limpia, elegante y espectacular.

**L**a complejidad de las estructuras fungiformes reside en el escaso espesor y curvatura de su parte superior, hecho que hizo de la colocación de armaduras una tarea de minuciosa atención con un exitoso resultado final apreciable.





FUENTE BIBLIOGRÁFICA

FECHA DE CONSULTA

<b>P</b> royecto de Ejecución. <i>Autor: Juan de Haro</i>	
<b>S</b> itio Web - Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.	17/04/2013
<b>S</b> itio Web - Ayuntamiento de Oliva.	07/04/2013
<b>S</b> itio Web - Fundación Eduardo Torroja.	17/04/2013
<b>S</b> itio Web - Wikipedia.	17/04/2013
<b>L</b> ibro - Las Superficies Geométricas en la Arquitectura. <i>Autor: Francisco Javier Sanchis Sampedro</i>	
<b>L</b> ibro - Geometría para ingenieros, Volumen 1. <i>Autor: Carlos Cobos, Jesús Martín Salinas, Antonio Rodríguez Domínguez</i>	
<b>A</b> rchivo Web - El Borde Libre y Félix Candela. <i>Autor: Luis Javier Sanz Balduz</i>	
<b>A</b> rchivo Web - Diseño Óptimo de Forma y Armado de Láminas de Hormigón. <i>Autor: Antonio Tomás Espín</i>	
<b>A</b> rchivo Web - Cubiertas formadas por Paraboloides Hiperbólicos: Ventajas en su Funcionamiento Estructural y en su Construcción. <i>Autor: Mónica Morales Segura</i>	
<b>A</b> rchivo Web - Análisis de Tipologías Estructurales: Bóveda, Lámina, Cúpula y Paraboloides. <i>Autor: Ignacio Requena Ruíz</i>	
<b>A</b> rchivo Web - Finite element model analysis of works authored by Félix Candela. <i>Autor: Javier Oliva Quecedo</i>	
<b>A</b> rchivo Web - Láminas Anticlásticas. Guía de Estudio de la Universidad Nacional de la Plata. <i>Autor: Ángel Maydana (Facultad de Arquitectura y urbanismo)</i>	



APARTADO	# IMAGEN	FUENTE	FECHA DE CONSULTA	PÁGINA	
INTRODUCCIÓN	01 - 02.	Sitio Web: <a href="http://www.todocoleccion.net">www.todocoleccion.net</a>	03/03/2013	02	
	03 - 05.	Elaboración propia		02	
	06.	Sitio Web: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid	14/06/2013	03	
	07.	Sitio Web: Wikipedia	25/05/2013	04	
	08 - 09.	Sitio Web: Google Maps	01/06/2013	04	
	10.	Sitio Web: Ayuntamiento de Oliva	01/06/2013	05	
	11.	Sitio Web: Google Maps	01/06/2013	05	
	12 - 13.	Sitio Web: Panoramio	08/04/2013	06	
	14 - 16.	Sitio Web: <a href="http://www.sagradafamilia.cat">www.sagradafamilia.cat</a>	21/04/2013	06	
	17.	Sitio Web: <a href="http://www.hormigon.mecanica.upm.es">www.hormigon.mecanica.upm.es</a>	05/06/2013	06	
	18.	Sitio Web: <a href="http://www.asociacionlatrocha.blogspot.com.es">www.asociacionlatrocha.blogspot.com.es</a>	05/06/2013	06	
	19.	Sitio Web: <a href="http://www.traveler.es">www.traveler.es</a>	05/06/2013	06	
	GEOMETRÍA	01 - 23.	Elaboración propia		07 - 10
		ESTRUCTURA	01 - 08.	Archivo Web: Láminas Anticlásticas. Guía de Estudio de la Universidad Nacional de la Plata. <i>Autor: Ángel Maydana (Facultad de Arquitectura y urbanismo)</i>	
	09 - 14.		Archivo Web: Diseño Óptimo de Forma y Armado de Láminas de Hormigón. <i>Autor: Antonio Tomás Espín</i>		12
	15 - 16.		Elaboración propia		13
		17.	Proyecto de Ejecución		14
		18 - 21.	Elaboración propia		14
	CONSTRUCCIÓN	01 - 21.	Elaboración propia		15 - 21
22.		Libro: Las Estructuras de Félix Candela <i>Autor: Colin Faber</i>		21	
23 - 24.		Proyecto Final de Grado <i>Autor: Leticia Martínez</i>		21	
25 - 33.		Elaboración propia		21	

