







En primer lugar, agradecer al Ayuntamiento de Oliva por la atención y los servicios prestados, en concreto a D. Juan Ramón Porta Sancho, Arquitecto Técnico Municipal, por su disposición, cercanía y ayuda a la hora de recopilar información y documentación. También agradecer a D. Fidel Castelló, Mánager de Planta en Refresco Iberia S.L.U., por su amabilidad y colaboración en nuestra visita a sus instalaciones.

A mi familia, por su apoyo y confianza, sin ellos, no habría sido posible realizar este largo trayecto.



# ÍNDICE

01. PROPUESTA PFG	8
02. DOCUMENTACIÓN DE SUPERFICIE	12
03. ANÁLISIS GEOMÉTRICO	18
04. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	24
05. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO	32
06. CONCLUSIONES	42
07. BIBLIOGRAFÍA	44



# INTRODUCCIÓN

El proyecto desarrollado a continuación es realizado en el Taller 14\_Superficies Arquitectónicas Singulares, impartido por Francisco Javier Sanchís Sampedro, arquitecto y profesor de la Universidad Politécnica de Valencia en el departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica.

La nave de Inter-Fruit España S.A., arquitectura industrial realizada por el doctor arquitecto Pablo Pintado y Riba en 1965, destacada por la utilización de paraboloides hiperbólicos en la construcción industrial, situada en Oliva (Valencia).

Hemos de plantearnos dos cuestiones: ¿Por qué ese tipo de construcciones, rompiendo con lo común de aquella época? ¿De donde se nutre para tal proyecto?

Nos trasladamos a Oliva, ciudad dedicada tradicionalmente a la agricultura, en este caso nos centraremos en el tratamiento de la naranja, motivo por el cual se lleva a cabo la construcción de la nave. Nace de una necesidad y se desarrolla sin un precedente constructivo en la zona...





**OLIVA**  
01\_PROPUESTA DE PFG



### Oliva Comunidad Valenciana

**Oliva** es un municipio de la **Comunidad Valenciana**, España. Está situado en el sureste de la provincia de Valencia, en la comarca de **la Safor**, con una población aproximada de 28.400 habitantes y una superficie de 59,61 Km2.

Con una longitud de costa de 10 Kms, bordeadas a lo largo de casi toda su longitud por dunas que separan los huertos de naranjos y el mar.

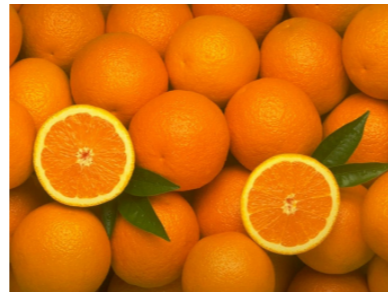
La tradición económica de la ciudad ha sido principalmente agrícola, con el predominio del **cultivo de naranjo**, aunque desde los inicios de los años 90 ha comenzado a manifestarse un notable **crecimiento industrial y turístico**.

Coordenadas: Latitud y longitud: 38°55' Norte y 0°07' Oeste

Fuente: Wikipedia



Foto 1.1 Perspectiva de Oliva desde el aire



### La naranja Un producto típico de Valencia

La **naranja** es una fruta cítrica comestible, obtenida del naranjo dulce, del naranjo amargo y de naranjos de otras especies o híbridos. Es un hesperidio carnoso de cáscara más o menos gruesa y endurecida, y su pulpa está formada típicamente por once gajos llenos de jugo, el cual contiene mucha vitamina C, flavonoides y aceites esenciales.

La «**naranja valenciana**» (en inglés Valencia late: 'Valencia tardía') es una de las variedades dulces usadas en España para la extracción de jugo. Pese a su nombre, esta variedad no guarda ninguna relación de origen con la Comunidad Valenciana, si bien, es una de las variedades que más se cultivan en ella, junto a la navel y navelina.

**España** es uno de los principales productores mundiales, con 2.617.700 de toneladas en el año 2009 (según fuente FAO).

Fuente: Wikipedia



Foto 1.2 Arbol naranjo



### Inter-Fruit España S.A. Actualmente Refresco Iberia

La directiva de **Inter-Fruit España S.A.** decide construir unas instalaciones capaces de almacenar y elaborar la naranja de sus cooperativistas, para ello contratan los servicios de **Pablo Pintado y Riba**, el cuál se encarga de proyectar el complejo industrial.



Foto 1.3 Instalaciones Refresco Iberia 01



Foto 1.4 Instalaciones Refresco Iberia 02





Foto 1.5 Foto de Pablo Pintado y Riba

## PABLO PINTADO Y RIBA

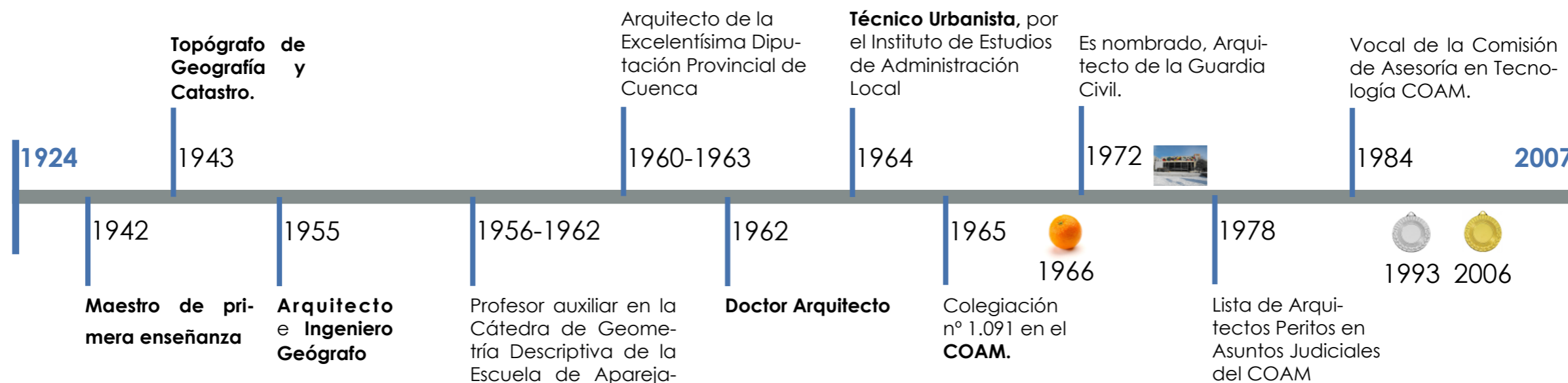
(Madrid, 18 de Julio de 1924 - Madrid, 10 de Febrero de 2007)

Hijo de maestros vinculados a la Institución Libre de Enseñanza, el arquitecto Pablo Pintado y Riba (Madrid, 1924) se educó en los valores del regeneracionismo español y permaneció fiel a ellos durante toda la vida. Al terminar la Guerra Civil, su padre, Sidonio, un pedagogo y esperantista que formó parte del Consejo Escolar del Ministerio de Educación en 1936, fue fusilado después de un juicio sumarísimo en Cambrils.

Fue un alumno brillante de **Arquitectura** en la Escuela de Madrid (actual **Escuela Técnica Superior de Arquitectura** de la Universidad Politécnica de **Madrid**).

En el año **1958** recibe el **Premio Nacional de Arquitectura**.

Fuente: Biblioteca COAM

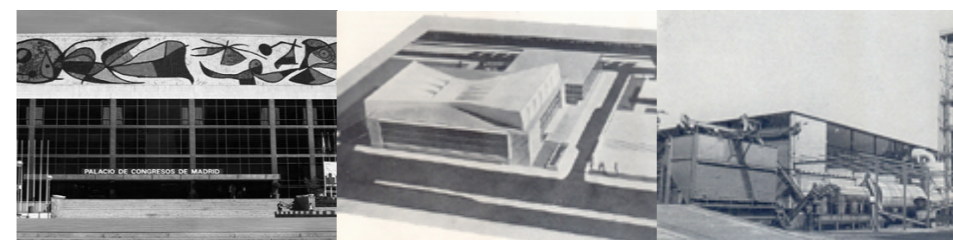


 **CONSTRUCCIÓN PALACIO DE CONGRESOS EN MADRID, 1972**

 **CONSTRUCCIÓN DE INTER-FRUIT S.A, 1966**

 **MEDALLA DE PLATA DEL COAM**

 **MEDALLA DE ORO DEL COAM**





# INTER-FRUIT ESPAÑA

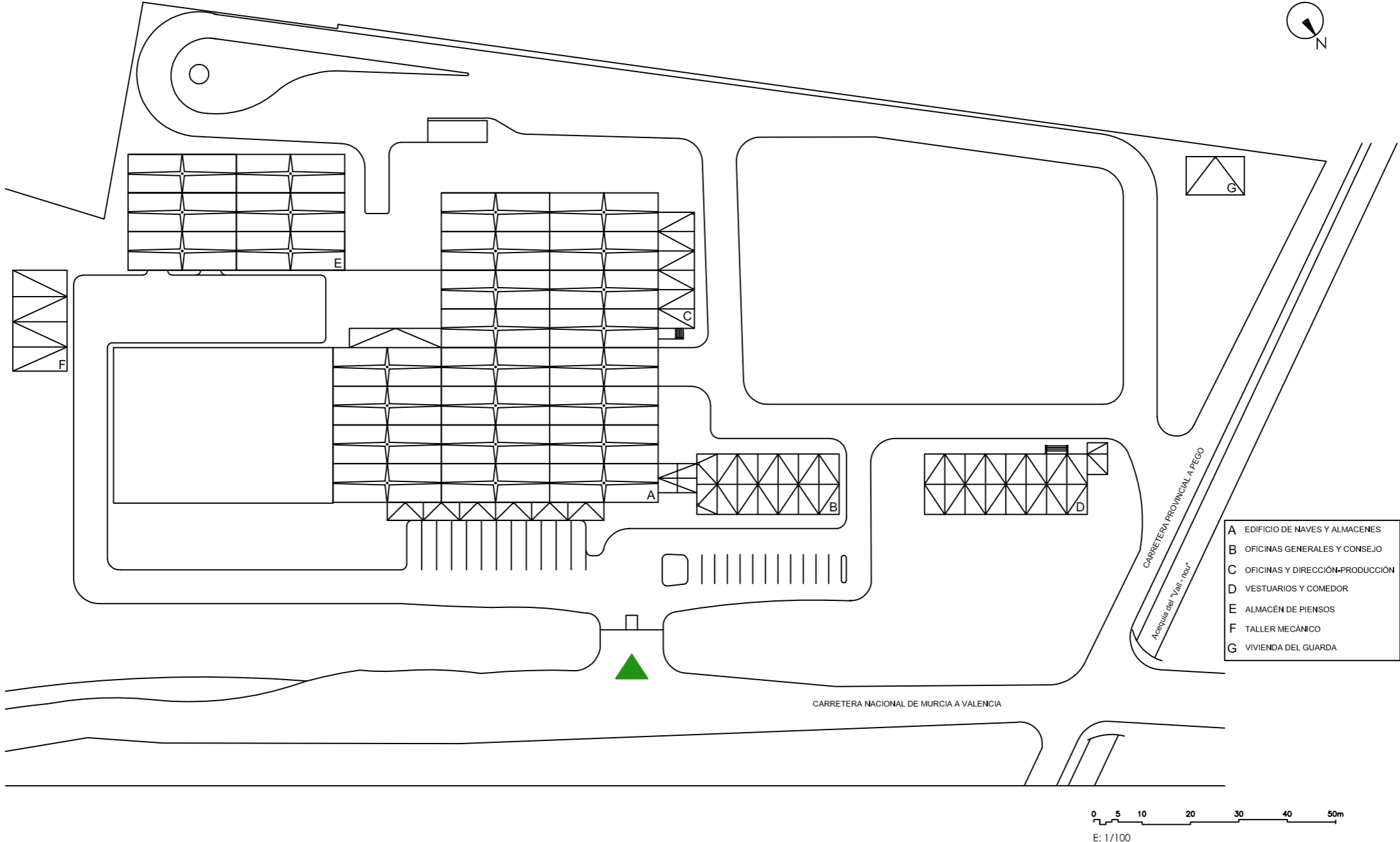
02\_DOCUMENTACIÓN DE SUPERFICIE





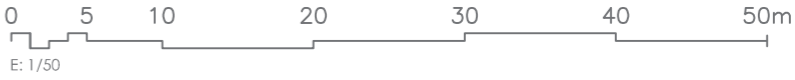
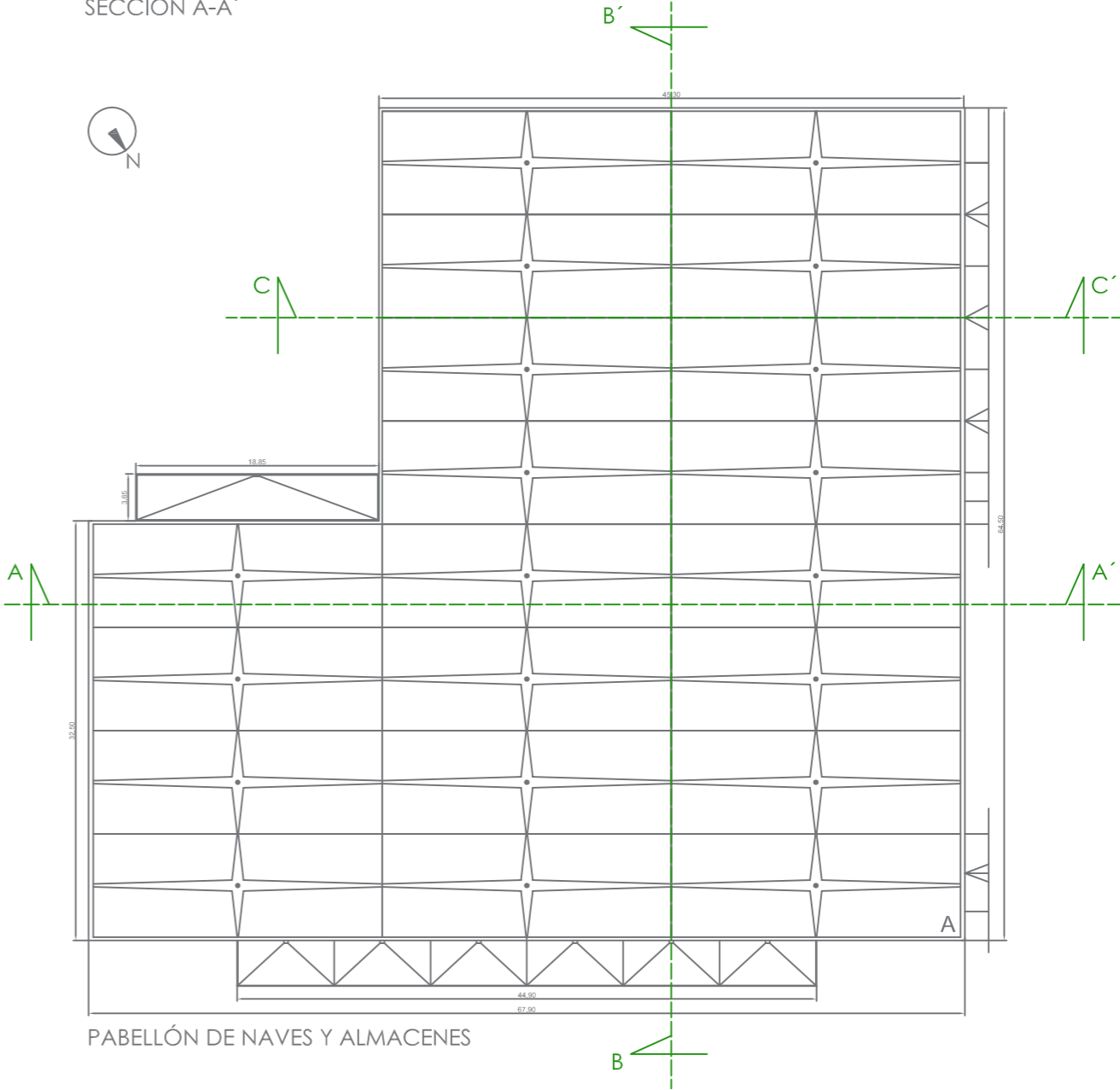
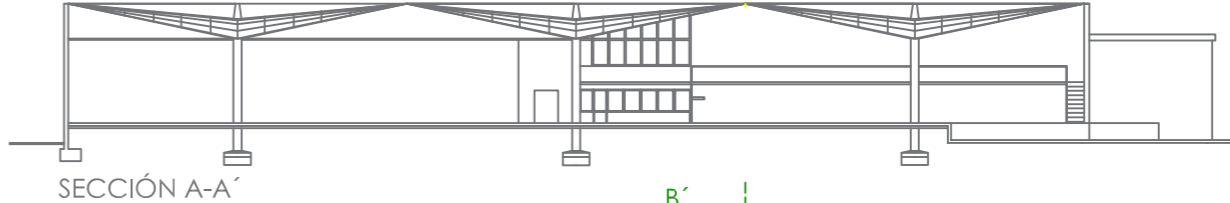
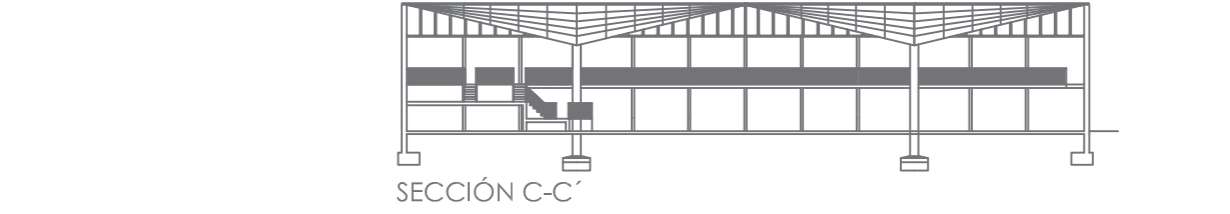
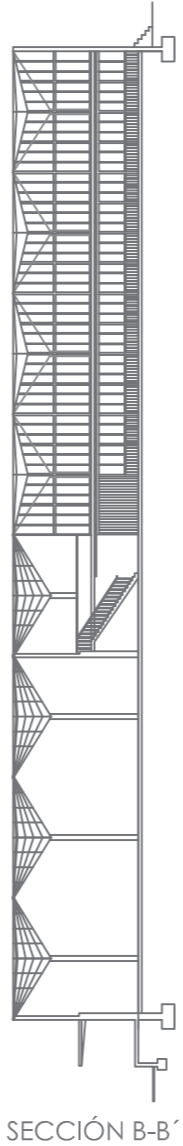
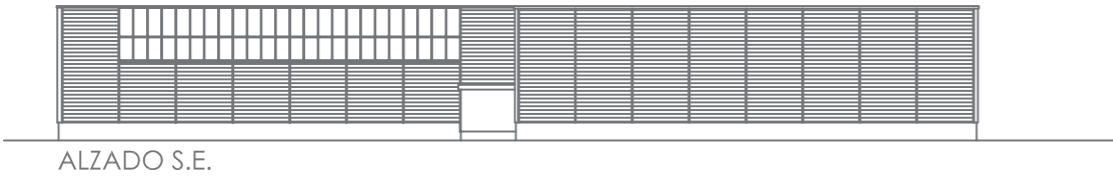
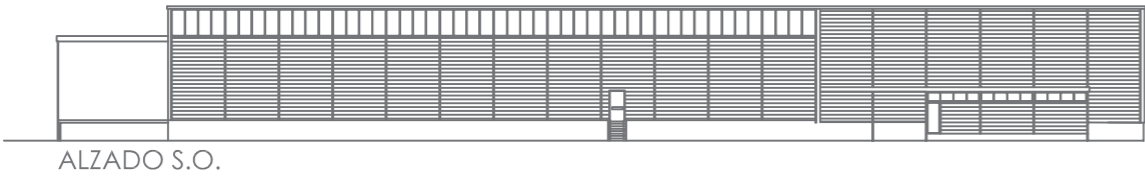
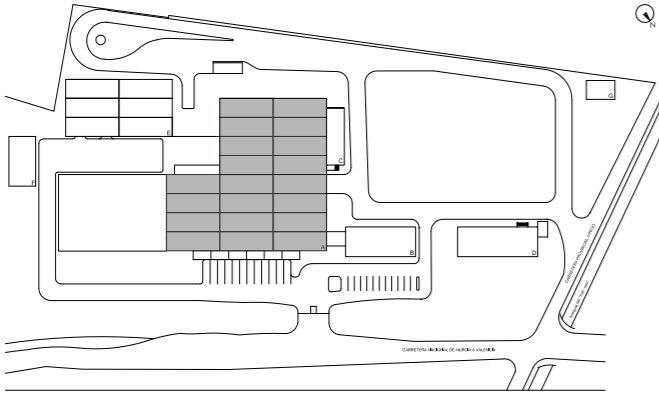


**VISTA GENERAL INTER-FRUIT ESPAÑA S.A.**  
**(Ctra N-332, Km 206,9-Oliva\_Valencia)**

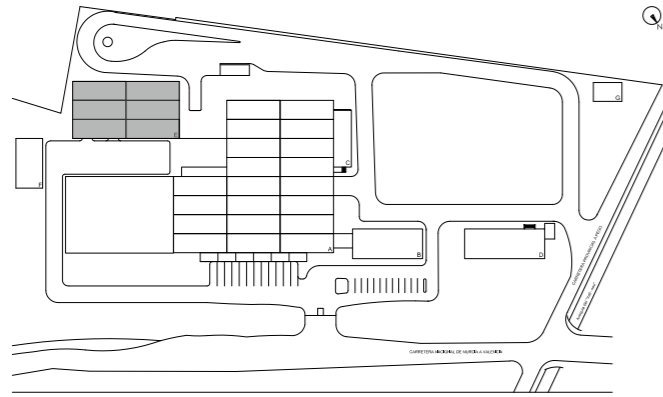


**PLANO 1.** Vista general en planta del complejo Interfruit-España S.A.

**EDIFICIO DE NAVES Y ALMACENES  
(Pabellón A)**



## ALMACÉN DE PIENSOS (Pabellón E)



### DATOS TÉCNICOS

**PROMOTOR:** INTER-FRUIT ESPAÑA S.A.

**PRESIDENTE:** D. JUAN SIVERA ROIG

**ARQUITECTO:** D. PABLO PINTADO Y RIBA

**FECHA DE SELLADO DEL PROYECTO EN COLEGIO DE ARQUITECTOS:** 13 de Enero de 1965

**AÑO DE CONCESIÓN DE LAS LICENCIAS:** 12 de Marzo de 1965 - Modificación: 14 de Abril de 1965

**AÑO DE COMIENZO DE LA CONSTRUCCIÓN:** 1965

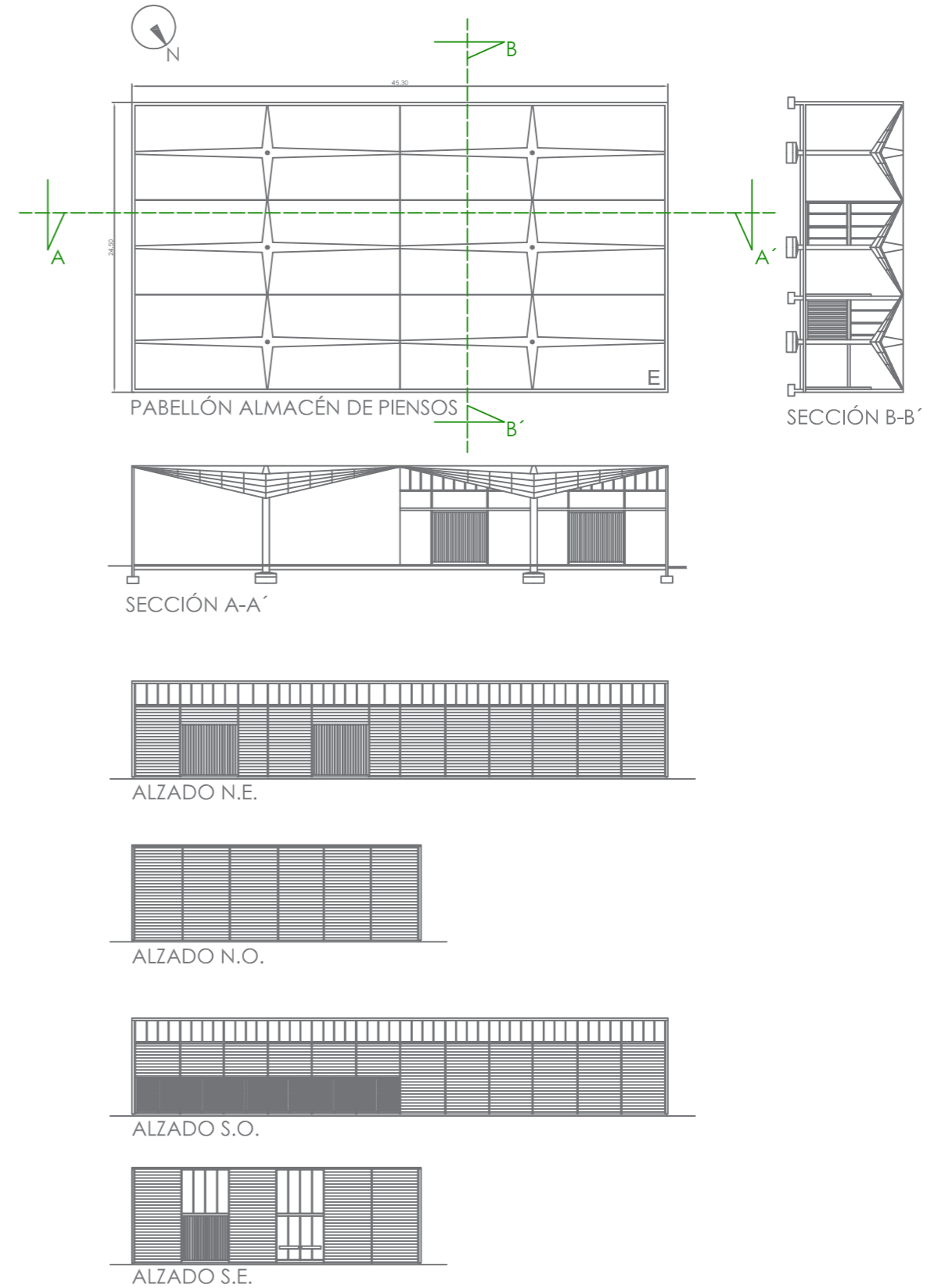
**PRESUPUESTO GENERAL:** 12.095.810,04 ptas

**COSTE DE LOS PARABOLOIDES:**

PABELLÓN	PRESUPUESTO GENERAL	COSTE DE PARABOLOIDES
Naves y almacenes	6.532.398,40 ptas	2.436.322,63 ptas
Almacén de piensos	1.966.663,62 ptas	696.004,94 ptas

#### REFERENCIA DE MATERIALES UTILIZADOS:

- Hormigón armado para cimentación, muros de contención, columnas, paraboloides hiperbólicos...
- Perfiles de acero para cerramientos y estructuras interiores.
- Ladrillos cerámicos para particiones.
- Ladrillo cara vista en fachadas.
- Carpinterías metálicas.







# PARAGUAS INVERTIDO

## 03\_ANALISIS GEOMETRICO

## ¿Qué o quién pudieron influir en sus diseños?



**Antonio Gaudi (1852-1926)**

Este arquitecto, con un sentido innato de la geometría y el volumen, tuvo su época de mayor auge de la mano del **modernismo** (finales XIX-principios XX) yendo más allá del mismo, creando su estilo personal basándose en la observación de la naturaleza, fruto por el cual utilizó las formas geométricas **regladas**, como el **paraboloide hiperbólico**, el hiperboloide, el helicoide y el conoide. El paraboloide hiperbólico fue una de las superficies regladas utilizadas con más frecuencia en la **Sagrada Familia** de Barcelona (1882-actualidad).



**Le Corbusier (1887-1965)**

Charles Édouard Jeanneret-Gris, a partir de 1920, conocido como Le Corbusier, teórico de la arquitectura, arquitecto, diseñador y pintor suizo nacionalizado francés. Fue el arquitecto pionero en la construcción en **hormigón armado**.

Le Corbusier, junto con el arquitecto **Iannis Xenakis**, y con motivo de la Exposición Universal de Bruselas en 1958, diseñaron el **Pabellón Philips**, una construcción efímera en la que se utilizó una composición asimétrica de **9 paraboloides hiperbólicos**, que se conformaban mediante piezas rectas de hormigón prefabricado de aproximadamente 1,5 metros de anchura y 6 centímetros de espesor, sustentados por cables tensores en ambas caras.



**Eduardo Torroja (1899-1961)**

Este Ingeniero de caminos, fue además de profesor, constructor e investigador, en su tiempo, fue el máximo especialista en construcciones de **Hormigón**.

En la actualidad, los alumnos de Ingeniería de Caminos, estudian sus planteamientos y desarrollos, incluso alumnos como **Félix Candela**, el cual siguió continuando sus conceptos.

Es pionero en utilizar elementos geométricos singulares de hormigón, en algunas de sus obras, como por ejemplo la cubierta del **Mercado de Abastos de Algeciras**, **cubiertas y graderíos del Hipódromo de la Zarzuela** y el **Frontón de Recoletos** en Madrid...



**Foto 3.1** Mercado de Abastos de Algeciras (1935)



**Félix Candela (1910-1997)**

Arquitecto español, exiliado a México tras la guerra civil, fue el creador de los **paraboloides hiperbólicos** y de los **paraguas invertidos**.

Fue el diseñador y constructor del **primer paraguas invertido de hormigón**, con unas dimensiones de **10 x 10 metros, y 4cm de espesor**, con un peralte de 1,00 metro.

Candela dispone de un portafolio de apuntes, en el que se describen diferentes tipos de paraguas, y diferentes aplicaciones en construcción de naves industriales, aparcamientos para vehículos, etc. incluso llegó a plantearlo para la construcción de viviendas.



**Foto 3.2** Iglesia de la Medalla Milagrosa (1954-1955), Félix Candela, utilizó paraguas invertidos para su construcción.

..Muchos arquitectos e ingenieros han experimentado con las estructuras laminares. Sólo un hombre, Félix Candela, logró convertirlas en una obra maestra.

**FREI OTTO**

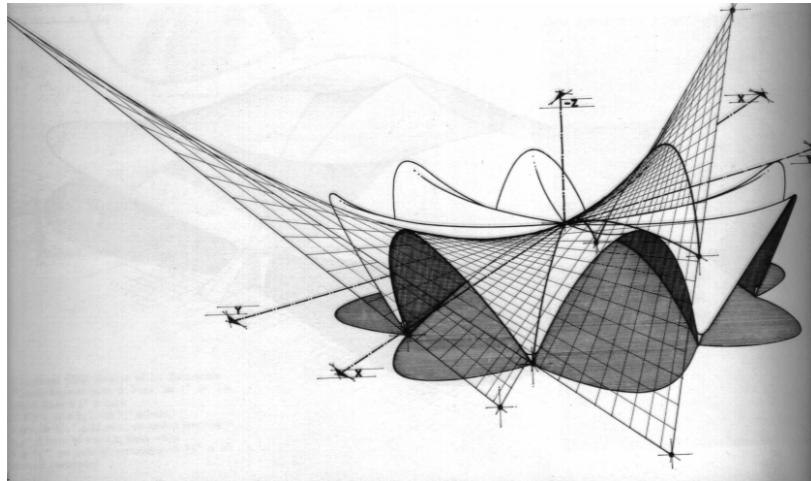
## ¿Qué es un paraboloides hiperbólico?

**Paraboloides:** todos los planos verticales forman parábolas.

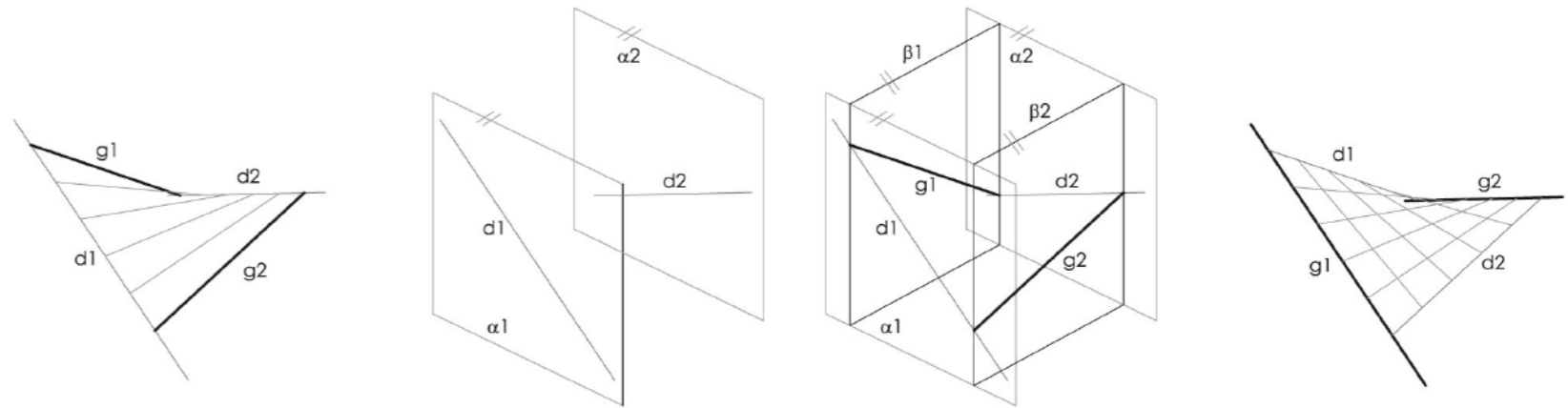
**Hiperbólico:** todos los planos horizontales forman hipérbolas.

Es una superficie reglada, no desarrollable y alabeada. Se genera a partir de dos planos paralelos ( $\alpha 1$  y  $\alpha 2$ ), con dos directrices rectas ( $d 1$  y  $d 2$ ), no paralelas entre sí, pero contenidas en esos dos planos paralelos. La generatriz ( $g 1$  y  $g 2$ ) corta a las dos rectas directrices y es paralela al plano director ( $\beta 1$  y  $\beta 2$ ). **Foto 3.4**

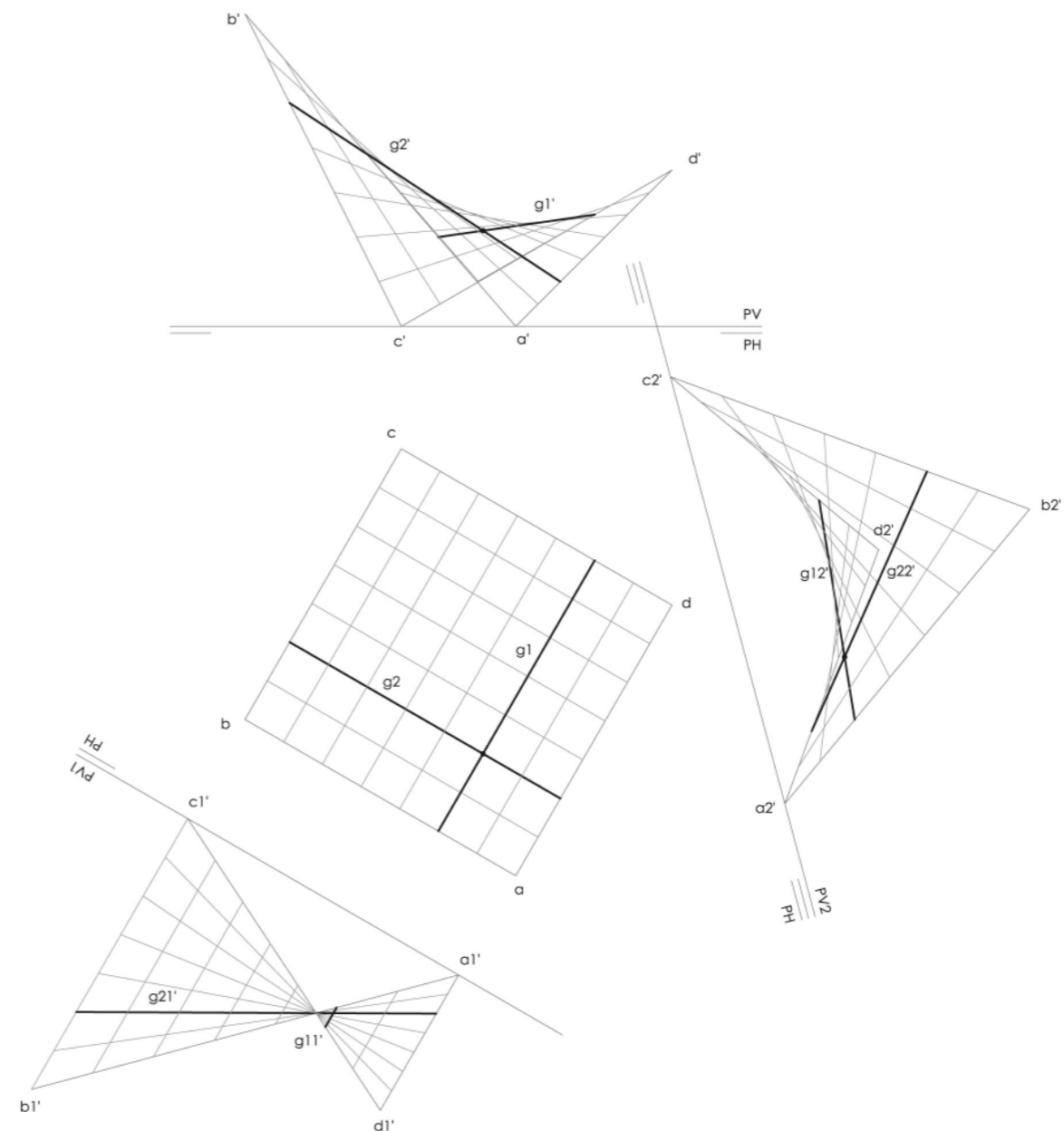
Habitualmente en geometría, esta superficie se suele representar apoyada en un cuadrilátero alabeado, siendo dos de los lados las directrices y los otros dos generatrices.



**Foto 3.3** Análisis de Colin Faber del Restaurante de los Manantiales de Félix Candela.



**Foto 3.4** Generación de un paraboloides hiperbólico 01



**Foto 3.5** Generación de un paraboloides hiperbólico 02



## ¿Qué es un paraguas invertido?

Es una unidad formada por 4 paraboloides hiperbólicos apoyados sobre un pilar central, utilizado en cubiertas con el fin de cubrir grandes espacios.

Es una superficie de doble curvatura o anticlástica, conocidos como paraboloides hiperbólicos o hypars.

Capaz de distribuir esfuerzos por parábolas, lo que le permite bajar el espesor, hasta aproximadamente unos 4-5cm, en estructuras de hormigón armado, no es común utilizar estos espesores.

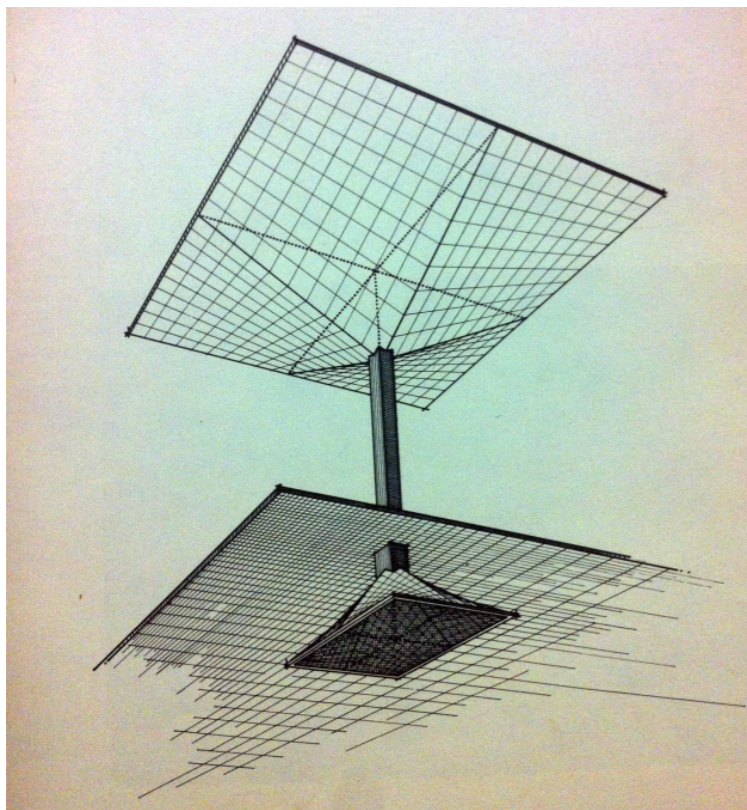
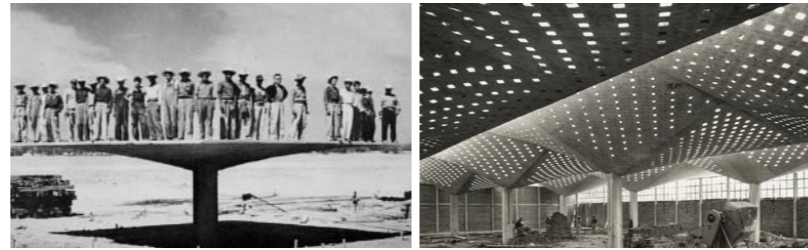


Foto 3.6 Perspectiva de paraguas invertido.



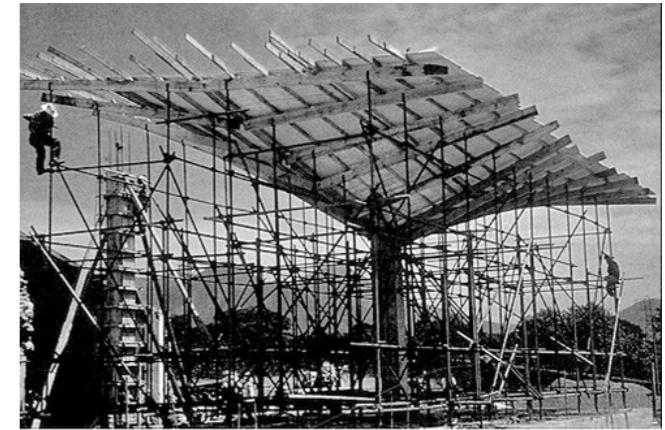
Algunos de los ejemplos de paraguas invertidos. En la primera imagen, la prueba de Felix Candela de los paraguas invertidos en México. En la segunda imagen, los paraguas invertidos aplicados a la industria.



Foto 3.7 Paraguas Invertido en Interfruit (interior falso techo)



Foto 3.8 Paraguas Invertido en Interfruit 01 (interior de nave)



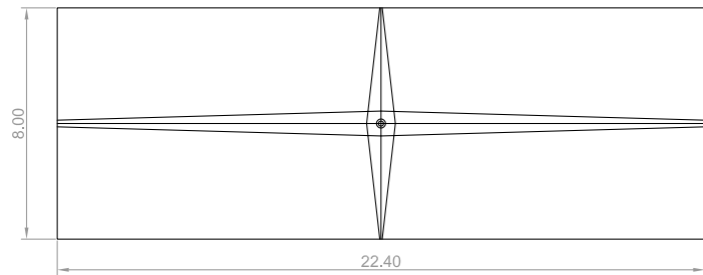
Los diseños de Norman Foster para Repsol, son una reinterpretación de los paraguas invertidos de Candela, con otros materiales y un agregado de color.



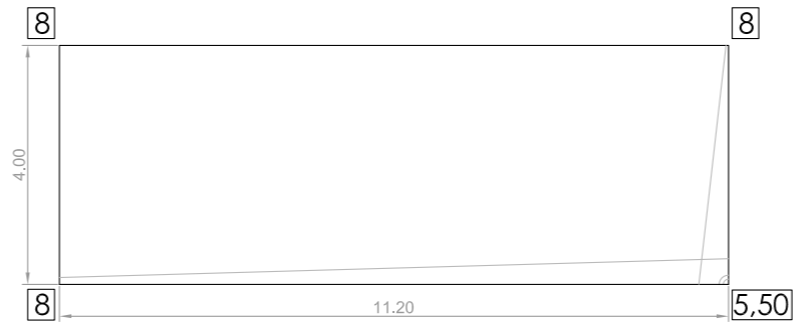
Foto 3.9 Paraguas Invertido en Interfruit 02 (interior de nave)



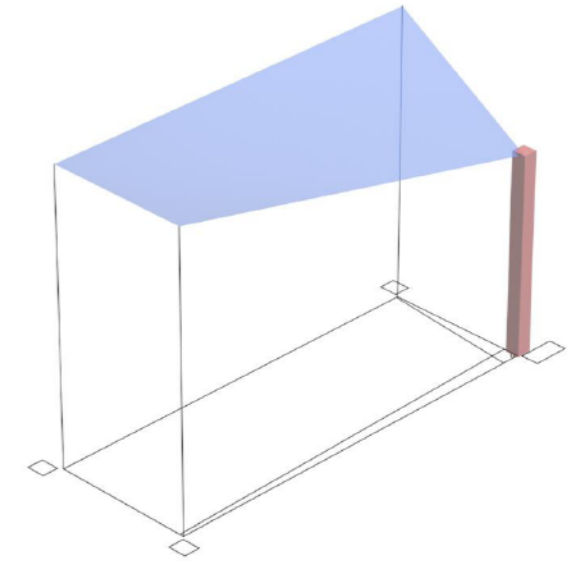
## Generación de un paraguas invertido...



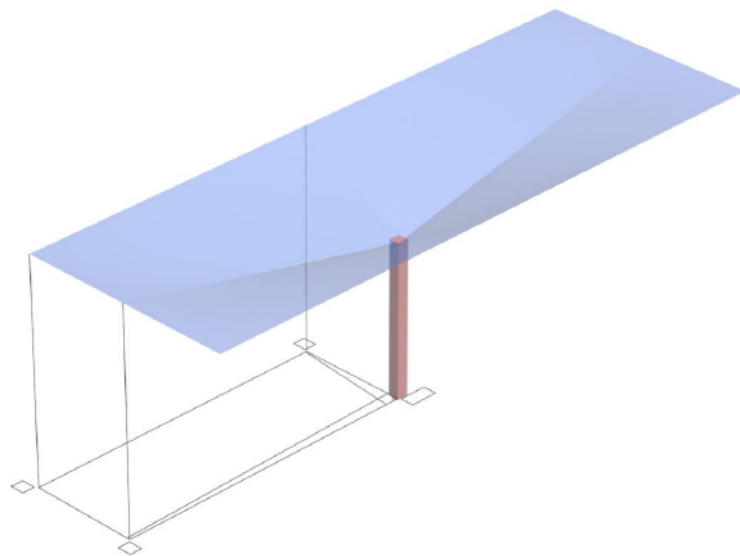
**Paso 1.** Planta de un **paraguas invertido** (4 paraboloides hiperbólicos).



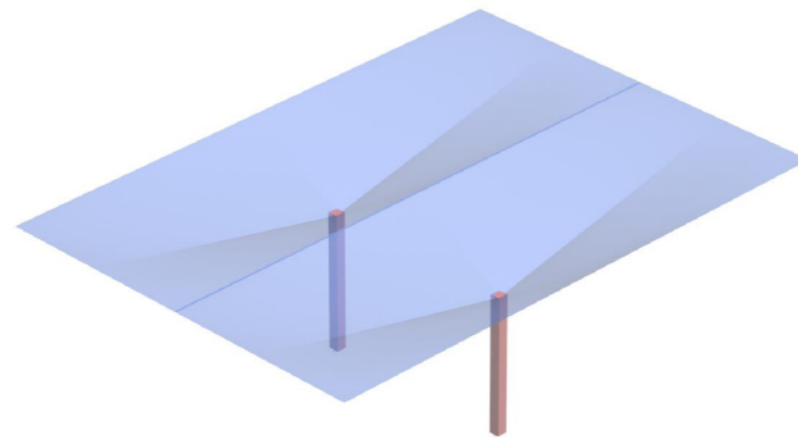
**Paso 2.** Planta de un **paraboloides hiperbólico (cotas de altura)**



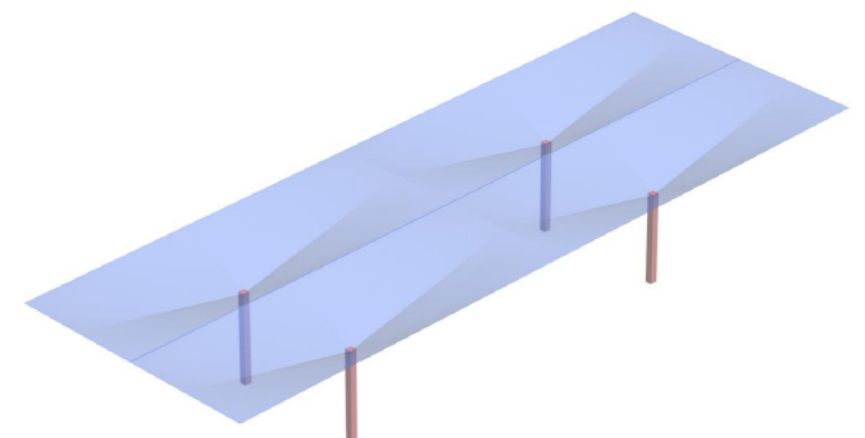
**Paso 3.** Levantamos el paraboloides hiperbólico sobre el pilar, y con las cotas anteriormente citadas.



**Paso 4.** Realizamos los otros 3 paraboloides hiperbólicos alrededor del pilar, generando nuestro paraguas invertido.



**Paso 5.** Generamos en anchura, los paraboloides necesarios.



**Paso 6.** También los generamos en su longitud.



# ESTRUCTURAS DE MEMBRANA

## 04\_ANÁLISIS ESTRUCTURAL

## ¿Qué son y cómo funcionan las estructuras de membrana?

Los **esfuerzos de membrana** son aquellos que se reparten de manera uniforme en el espesor de la lámina y actúan paralelamente al plano tangente a la superficie de la misma en cada punto. **Foto 4.2.**

La condición necesaria, aunque no siempre suficiente, es que, para que no existan flexiones, la superficie que constituye el cascarón, ha de ser de **doble curvatura**, es decir, que ha de tener una forma geométrica inamovible para que no se produzcan alargamientos y acortamientos de un tamaño considerable.

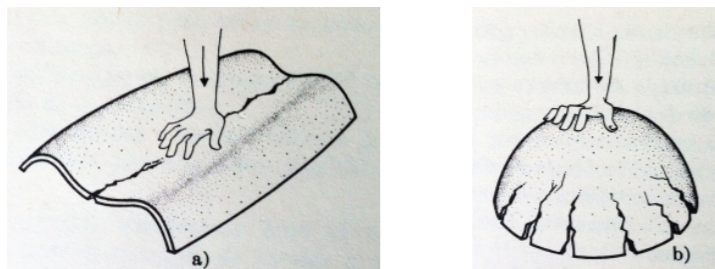
Actualmente, con los materiales que utilizamos en construcción (hormigón armado), es casi imposible que se produzcan tales variaciones, aunque pueden llegar a producirse si los valores de compresión y tracción sobrepasan el límite elástico del material.

**En definitiva**, una superficie de doble curvatura, que sea flexible completamente, pero inextensible, tiene una forma inmutable bajo la acción de cualquier carga que le sea sometida.

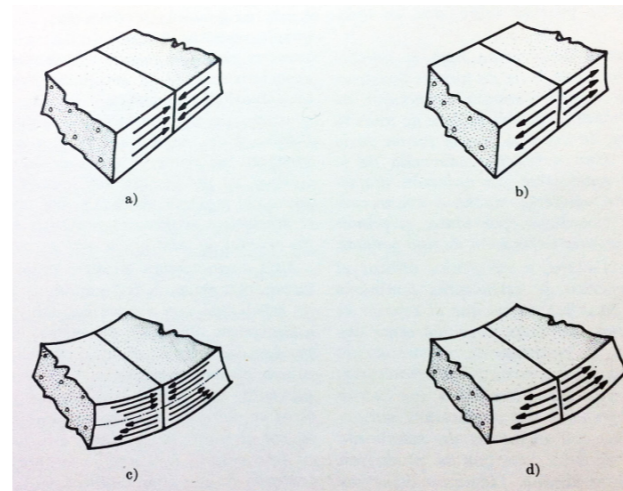
## ¿Qué son superficies de doble curvatura?

Las **superficies de doble curvatura** en el caso de los paraboloides hiperbólicos, tienen rectas en las direcciones de las generatrices. La forma de esa generatriz puede ser constante o variable, y el movimiento puede ser guiado por varias líneas y planos o directrices planas, produciendo una variedad infinita de superficies.

La diferencia fundamental entre el comportamiento estructural de las superficies de curvatura simple y doble curvatura puede observarse fácilmente en la manera de romperse.



**Foto 4.1** Comparación de curvatura simple y doble curvatura:  
a) Rotura por flexión de una lámina de curvatura simple  
b) Rotura por alargamiento de una lámina de doble curvatura

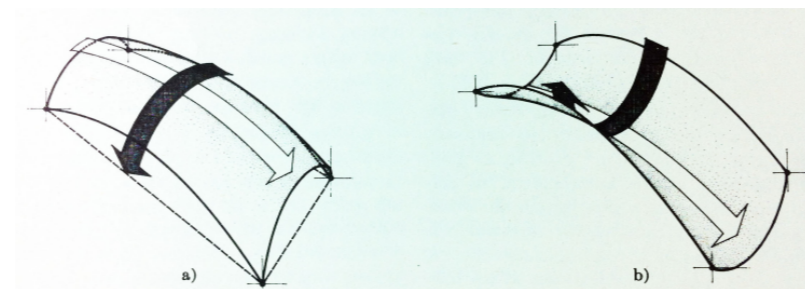


**Foto 4.2** Comparación de esfuerzos de membrana y esfuerzos a flexión.  
a) Esfuerzos de membrana a compresión.  
b) Esfuerzos de membrana a tracción.  
c) Esfuerzos de flexión pura.  
d) Esfuerzos de flexión compuesta o compresión excéntrica

## ¿Qué es una superficie anticlástica?

Las superficies de doble curvatura son las que dan lugar al nombre de cascarón propiamente dichas, y se clasifican de acuerdo a su forma en dos grandes grupos (superficies sinclásticas y anticlásticas).

En las **superficies anticlásticas** las curvas principales van dirigidas en sentidos opuestos como en una silla de montar (ejemplo es el hiperboloide, que se obtiene retorciendo un cilindro formado por hilos sujetos en dos círculos de la base), en cambio, en las **superficies sinclásticas** las dos curvaturas principales en cada punto, van dirigidas en el mismo sentido (ejemplo cúpula esférica)



**Foto 4.3** Comparación de superficie sinclástica y anticlástica.  
a) Superficie sinclástica.  
b) Superficie anticlástica.

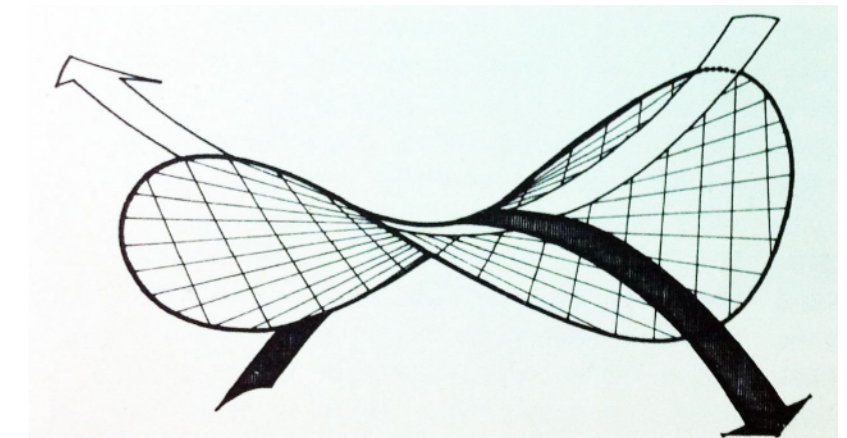
## ¿Qué material utilizamos para su construcción?

Para este tipo de construcciones, el material utilizado es el **hormigón armado**, un material económico y fácilmente localizable. Una de las principales ventajas que tiene este material, es que es **moldeable**.

La forma se consigue mediante los moldes de madera (encofrados), entre las superficies anticlásticas de definición geométrica sencilla, existe un grupo llamadas regladas, que presentan la propiedad de estar creadas por rectas que se mueven a lo largo de toda la superficie, esta propiedad puede utilizarse ventajosamente en el montaje de la cimbra y del encofrado, colocando las piezas de madera en las direcciones de las generatrices rectas. **Foto 4.4.**

Tipología utilizada por el arquitecto en los paraguas invertidos:

- Cubiertas de **hormigón armado de 350Kg/m<sup>2</sup>**, de **4cm** de espesor.



**Foto 4.4** Paraboloide hiperbólico, generatrices rectilíneas.



## Formación de los paraguas invertidos...

El paraguas se obtuvo de la siguiente forma:

Tenemos un rectángulo, cuyos lados son definidos por los puntos 1, 2, 3 y 4. Si dejamos caer en el eje de las Z su centro  $C'$ , una distancia  $d1$ , obtenemos el punto C, que unido con los puntos medios de las rectas A y B, se forman los cuadrilátero alabeados, así formados constituyen las líneas de contorno de los cuatro paraboloides hiperbólicos.

En nuestro proyecto, los paraguas invertidos tienen una distancia  $dist1 = 8,00$  metros y  $dist2 = 22,40$  metros.

Las cotas de los puntos 1, 2, 3 y 4 son de  $+8,00$  metros, y la cota del punto C es de  $+5,50$  metros. La distancia  $d1 = 2,50$  metros.

La superficie de cada paraboloides se obtiene, dividiendo cada par de lados opuestos del cuadrilátero, en partes iguales, y uniendo esas partes con líneas rectas, así es como materializamos los dos sistemas de generatrices rectas de nuestra superficie. Cada sistema es paralelo a un plano director.

Cada punto de la superficie es la intersección de dos líneas o generatrices rectas contenidas en la misma. Si el ángulo de los planos formados por  $ACA'$  y  $BCB'$  es de  $90^\circ$ , se dice que es un paraboloides equilátero.

Las secciones planas paralelas a los planos bisecantes del diedro director  $X1Y$  son parabólicas. Se les llama parábolas principales y están, respectivamente, curvadas hacia arriba, como en AB, o curvadas hacia abajo como en  $2C$ , es lo que se denomina superficie **anticlástica** o de **doble curvatura inversa**.

## Introducción a la catenaria...

La catenaria es la curva que describe una cadena, cuerda o cable ideal y perfectamente flexible, con su masa distribuida uniformemente por unidad de longitud, suspendida por sus extremos y sometida a un campo gravitatorio uniforme.

La forma catenaria es precisamente la forma del eje baricéntrico que **minimiza** las **tensiones**. Un arco en forma catenaria invertida es precisamente la forma de tener **solo** esfuerzos de **compresión**, y así **evitar** esfuerzos **cor-tantes** y **flectores**.

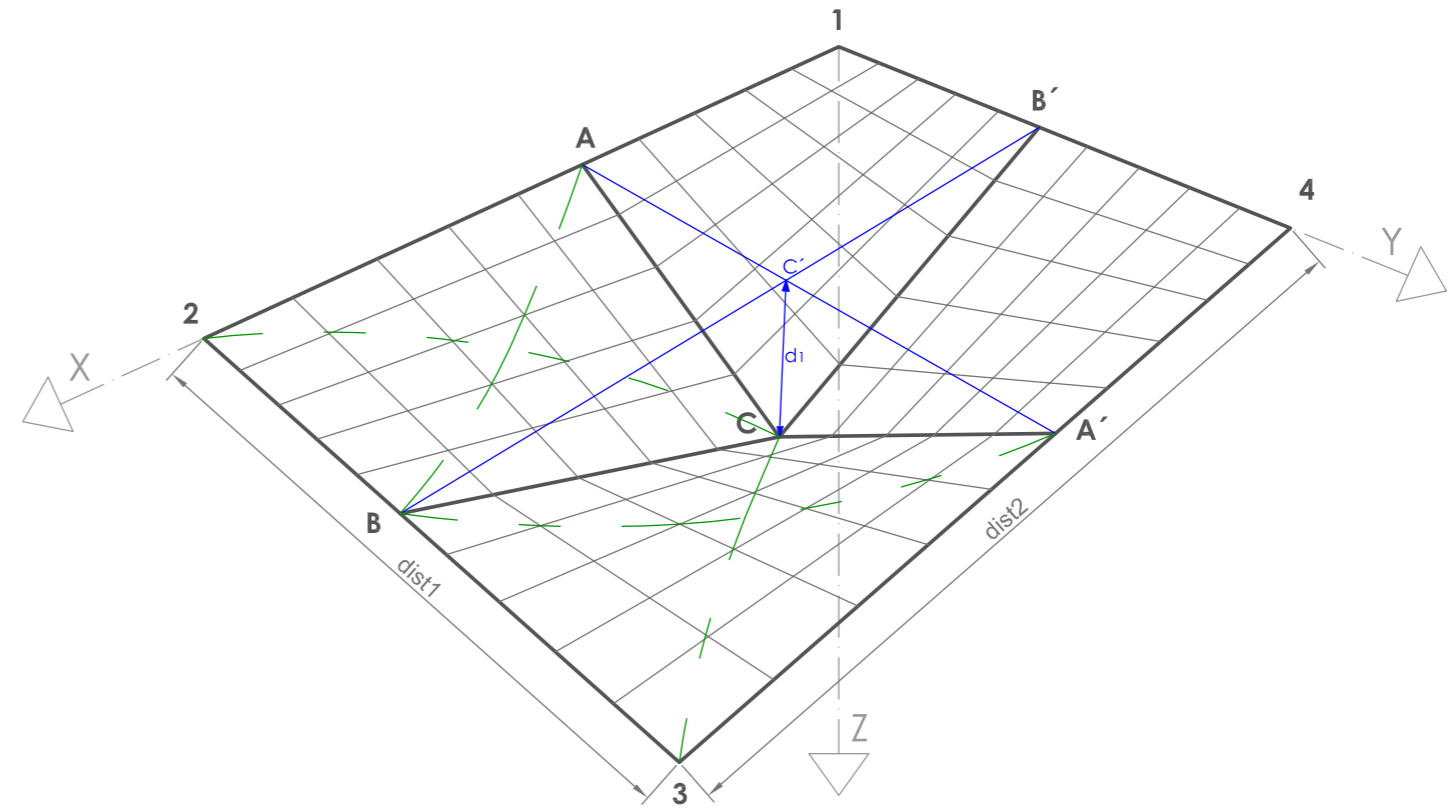


Foto 4.5 Análisis del paraguas invertido.

## ¿Qué es el borde libre?

En las estructuras de los paraboloides hiperbólicos, desaparecieron las vigas o zunchos de borde, el descubrimiento de borde libre por Félix Candela, fue en la construcción del edificio de la Bolsa, en el que tuvo que resolver las ecuaciones generales de esfuerzos que recibía ese borde.

Intuyó que se producían esfuerzos normales a lo largo del borde curvo.

Existen dos tipos de esfuerzos, los que se reciben en el borde a través de las generatrices, y los tangenciales a lo largo del borde, aunque éstos pueden anularse, a condición de que sean transferidos a través de las generatrices, a miembros rígidos (que pueden ser las aristas de unión o los apoyos).

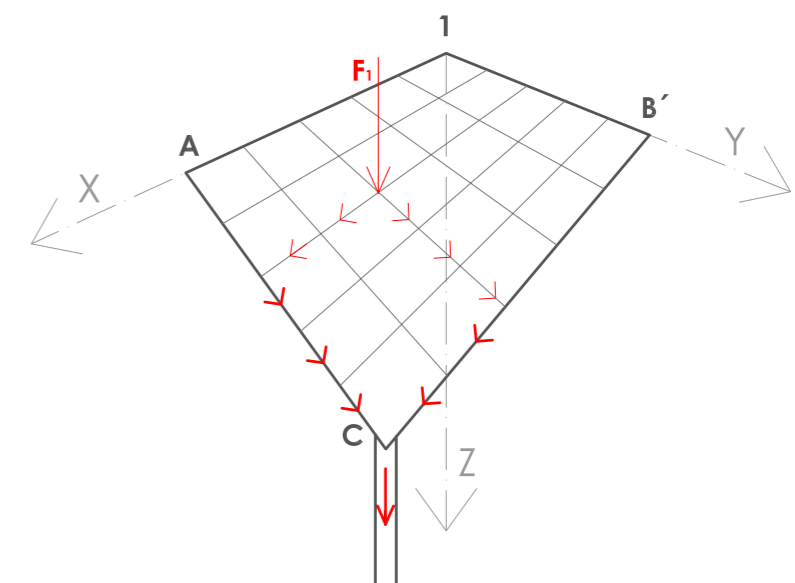


Foto 4.6 Esquema borde libre en paraboloides hiperbólico

## Solicitaciones según el CTE-DB-SE-AE:

### 1. ACCIONES PERMANENTES:

#### 1.1 Peso Propio

El peso de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, la tabiquería, todo tipo de carpinterías, revestimientos (como pavimentos, guarnecidos, enlucidos, falsos techos), rellenos (como los de tierras) y equipo fijo.

#### 1.2 Pretensado

La acción del pretensado se evaluará a partir de los establecido en la Instrucción EHE.

#### 1.3 Acciones del terreno

Las acciones derivadas del empuje del terreno, tanto las procedentes de su peso como de otras acciones que actúan sobre él, o las acciones debidas a sus desplazamientos y deformaciones, se evalúan y tratan según establece el DB-SE-C.

### 2. ACCIONES VARIABLES:

#### 2.1 Sobrecarga de uso

La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso (equipos pesados, acumulación de materiales en bibliotecas, almacenes o industrias).

#### 2.2 Acciones sobre barandillas y elementos divisorios

La estructura propia de las barandillas, petos, antepechos o quitamiedos de las terrazas, miradores, o balcones o escaleras deben resistir una fuerza horizontal, uniformemente distribuida, y cuyo valor característico se obtendrá de la tabla 3.3. del CTE-DB-SE-AE.

#### 2.3 Viento

La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de sus superficie, así como la dirección, de la intensidad y del racheo del viento.

### 2.4 Acciones Térmicas

Los edificios y sus elementos están sometidos a deformaciones y cambios geométricos debidos a las variaciones de la temperatura ambiente exterior. La magnitud de las mismas depende de las condiciones climáticas del lugar, la orientación y de la exposición del edificio, las características de los materiales constructivos y de los acabados o revestimientos, y del régimen de calefacción y ventilación interior, así como el aislamiento térmico.

### 2.5 Nieve

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos de los paramentos exteriores.

### 3. ACCIONES ACCIDENTALES:

#### 3.1 Sismo

Las acciones sísmicas están reguladas en la NSCE, Norma de la construcción sismorresistente: parte general y edificación.

#### 3.2 Incendio

Las acciones debidas a la agresión térmica del incendio están definidas en el DB-SI.

#### 3.3 Impacto

Las acciones sobre un edificio causadas por un impacto dependen de la masa, de la geometría y de la velocidad del cuerpo impactante, así como de la capacidad de deformación y de amortiguamiento del cuerpo como del elemento contra el que impacta.

#### 3.3 Otras acciones accidentales

En los edificios con usos tales como fábricas químicas, laboratorios o almacenes de materiales explosivos, se hará constar en el proyecto las acciones accidentales específicas consideradas, con indicación de su valor característico y su modelo.

## Solicitaciones en nuestro edificio:

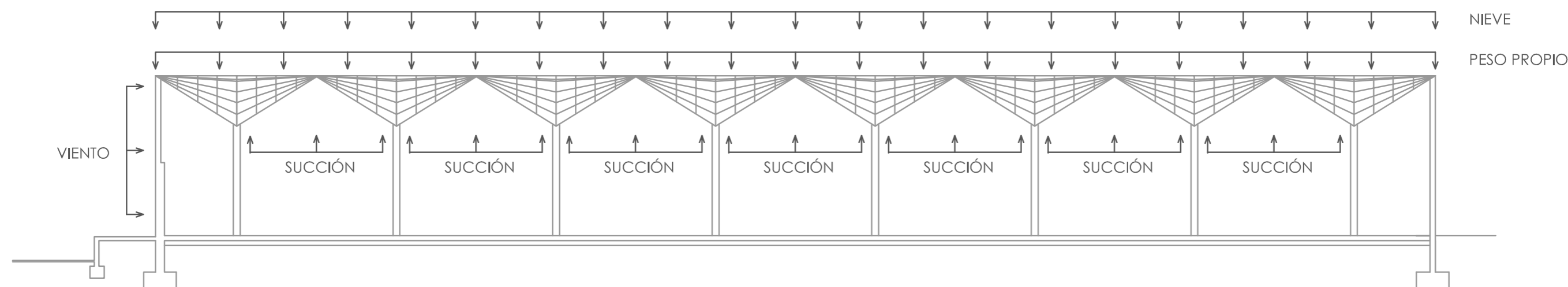


Foto 4.7 Solicitaciones de nuestro edificio

## Como se transmiten en un paraguas los esfuerzos...

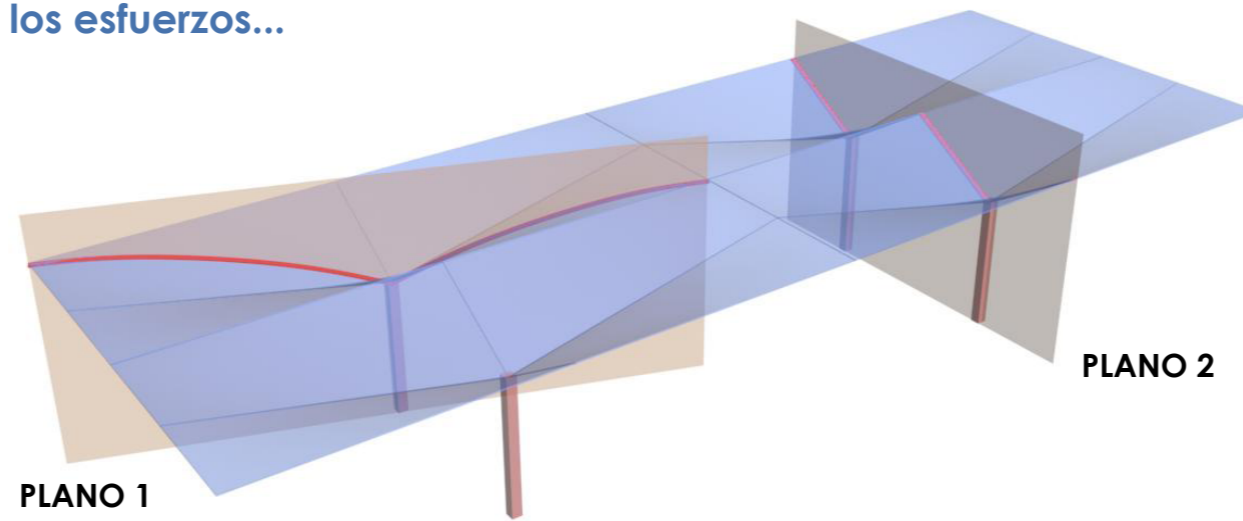


Foto 4.8 3D paraguas invertido

### SECCIÓN POR PLANO 1:

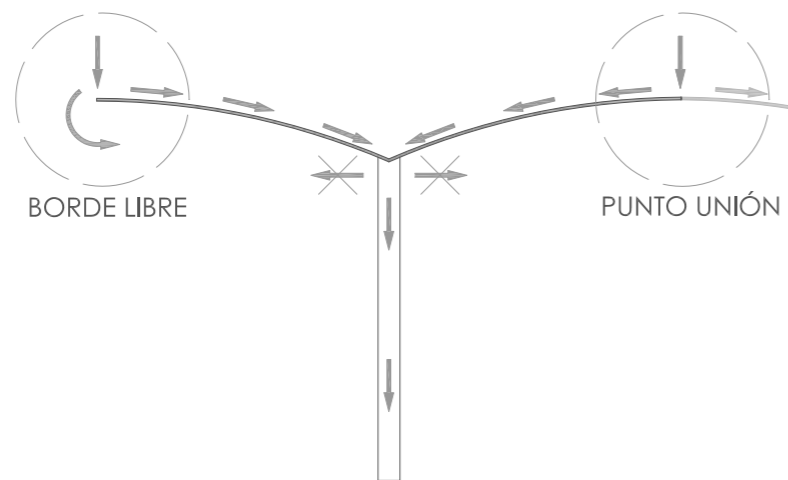


Foto 4.9 Distribución de cargas 01

En la sección por el plano 1, vemos como se distribuyen las cargas en forma de parábola a lo largo de toda la superficie, hasta llegar al nudo con el pilar, en el cual nos aparecen tres fuerzas, dos en sentido horizontal opuestas, las cuales se contrarrestan, y una vertical, que se transmite a lo largo del pilar hasta llegar a la cimentación y el terreno. Tenemos que prestar atención a los dos puntos marcados, borde libre y punto de unión entre paraboloides. En el punto de unión, la carga vertical, se distribuye por parábolas a lo largo de toda la estructura, mientras que en el borde libre o voladizo, nos aparece un momento, causado por que la distribución de la carga vertical, sólo se realiza en un sentido, ya que en otro no tenemos una estructura anexa. El momento es el que nos produce las flechas en los extremos, causados por el propio peso de la estructura, por lo que hemos de armar esas partes.

### SECCIÓN POR PLANO 2:

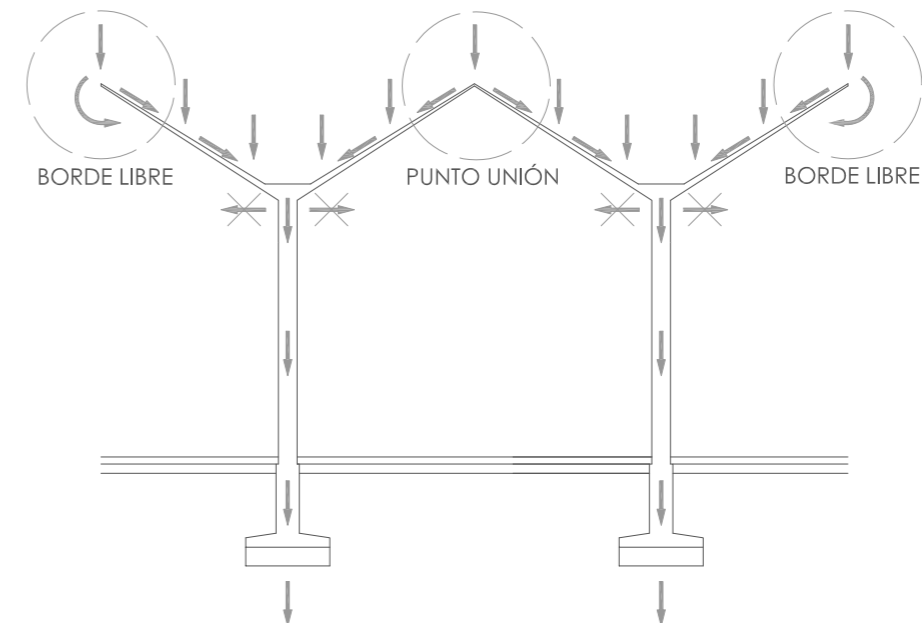


Foto 4.10 Distribución de cargas 02

La sección que producimos por el plano 2 nos lleva a analizar dos puntos principalmente: la sección nos representa la línea de unión de los paraboloides hiperbólicos en su lado mas corto, y coincide con lo que en páginas anteriores he explicado sobre el borde libre. La línea de sección de la estructura es recta y coincide con la directriz del paraboloide hiperbólico, su distribución de cargas por la estructura hacia el nudo con el pilar, en el cual aparecen dos fuerzas horizontales, que se contrarrestan, y una vertical, que se transmite por el pilar hasta llegar a la cimentación y al terreno. Al igual que en el caso anterior, nos aparece un momento en el voladizo, que tenemos que reforzar.

## Deformaciones que se producen en los paraguas invertidos...

### 1º PARAGUAS EXPERIMENTAL:

Félix Candela, que fue el diseñador y constructor del primer paraguas invertido de hormigón, con unas dimensiones de 10 x 10 metros, y 4cm de espesor, y con un peralte respecto del suelo de 1,00 metro, se pudo observar en el descimbrado, que su flecha era escasa y en las esquinas se produjeron deflexiones de cerca de 5cm, aunque la estructura mostró tendencia a vibrar con el viento.

### PARAGUAS EXPERIMENTAL (LAS ADUANAS):

En la obra de "Las Aduanas", otro de los paraguas experimentales de Candela, éste con una dimensión de 8 x 8 metros, tuvo una flecha de 60cm, incluso sin plantearle la prueba de carga, el paraguas se flexionó en sus esquinas, aunque disponía de un considerable refuerzo y gran espesor (8,3 cm), después de su descimbrado, se subieron al cascarón veinticinco trabajadores y las flexiones no aumentaron, lo que hizo suponer que eran inevitables en paraguas de este tipo, al menos que aumente la flecha del mismo.

### PARAGUAS EXPERIMENTAL (CASA DE NOVEDADES):

Otra de sus obras, en las que utilizó paraguas invertidos, fue en "La Casa de Novedades" en los Jardines del Pedregal de México, concretamente en la Casa N°4, la que fue techada con un paraguas asimétrico, cuyo brazo más corto fue sujetado a una pared. La casa N°5 quedó bajo un paraguas cuadrado de 7,5m de lado, que tenía una segunda flecha de 1,10m.

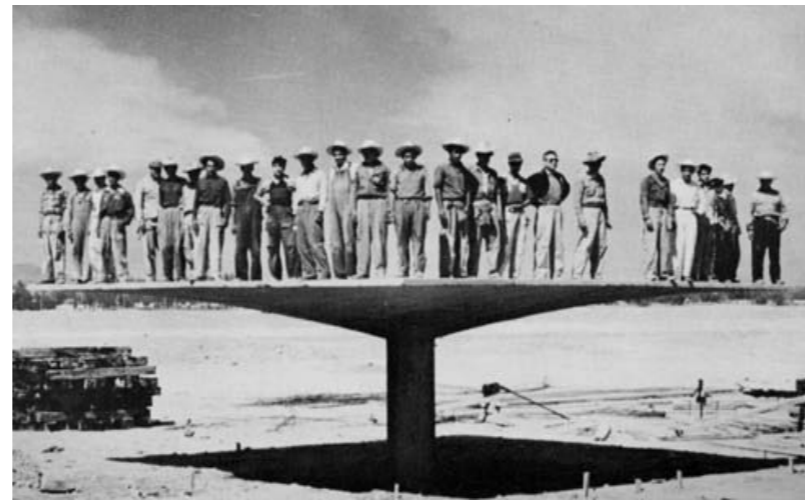


Foto 4.11 Paraguas experimental de Félix Candela

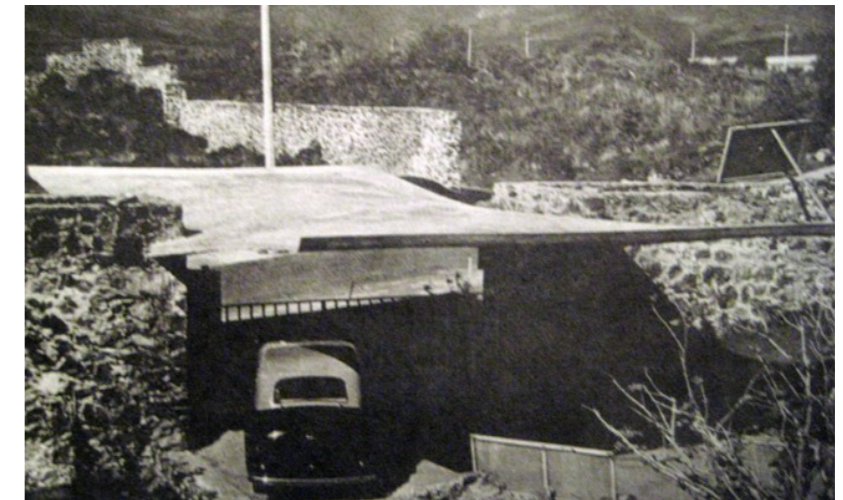


Foto 4.12 Obra de Felix Candela de La Casa de Novedades

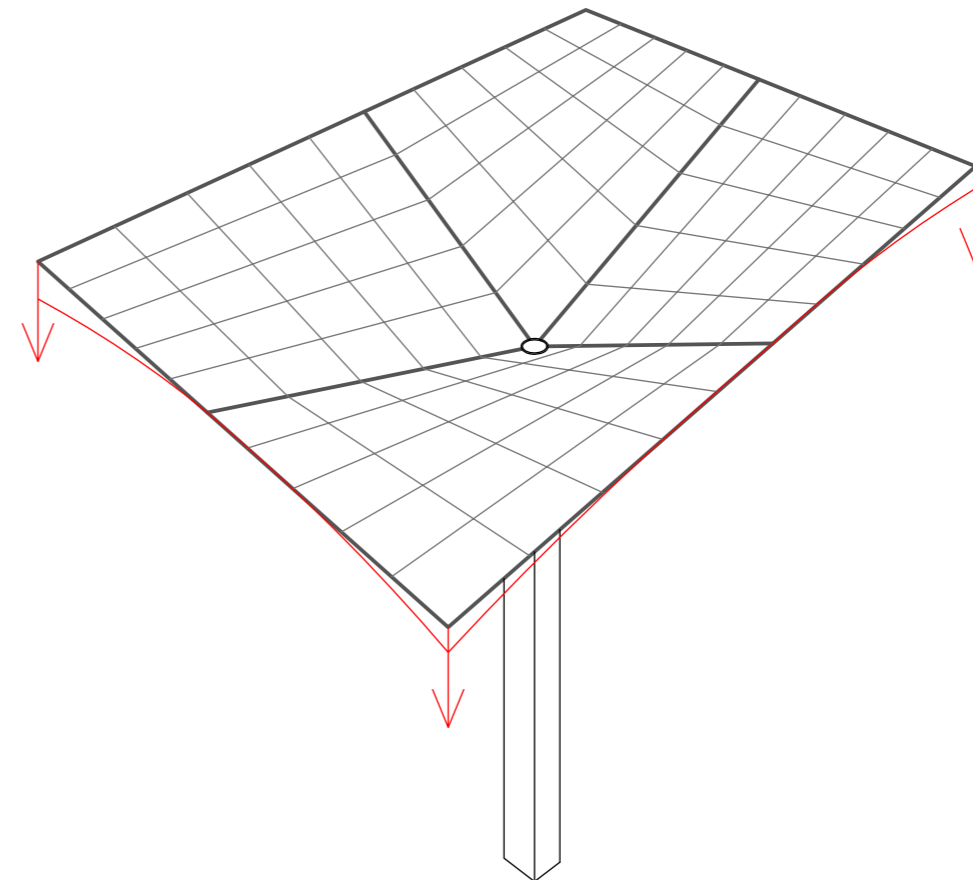


Foto 4.13 Esquema deformaciones en paraguas.



## Uso actual de los paraguas e intervenciones

En la actualidad, y por motivos sanitarios, ya que en estas naves se albergan productos alimentarios, se han realizado una serie de reformas en las naves de los paraboloides hiperbólicos, que han afectado a su estructura y a su estética, de una forma bastante grave.

Estamos ante un edificio protegido, con una estructura singular y como tal, se tenía que haber actuado en las reformas o remodelaciones que han sufrido en el paso de los años.



Foto 4.14 Apertura de huecos en paraboloides hiperbólicos 01

O bien por necesidades de ventilación, paso de instalaciones, etc. se han realizado unas aperturas en la estructura de membrana, eliminando una de sus principales características, y es que los esfuerzos se reparten en todo el espesor de la lámina.

Esto también causa la oxidación de la armadura de reparto, debilitando gravemente su sentido estructural. Podemos observar en las fotografías 4.14, 4.15 y 4.16 el daño causado.



Foto 4.15 Apertura de huecos en paraboloides hiperbólicos 02



Foto 4.16 Apertura de huecos en paraboloides hiperbólicos 03



Foto 4.17 Estructura del falso techo, colgada de los paraboloides.

A la hora de colocar el falso techo, optaron por colgarlo de los paraboloides, es una mala opción, ya que cada punto, además de producirle agujeros y grietas, le produce una carga puntual en sentido vertical, que cuando se calculó, no se tuvo en cuenta.

El peso del falso techo puede producirle deformaciones.

Una de las soluciones por la que podrían haber optado es por realizar una estructura propia, sin tener que dañar la estructura de cubierta.



# ¿CÓMO LO CONSTRUIMOS?

## 05\_ANÁLISIS CONSTRUCTIVO

## DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LOS PARAGUAS INVERTIDOS

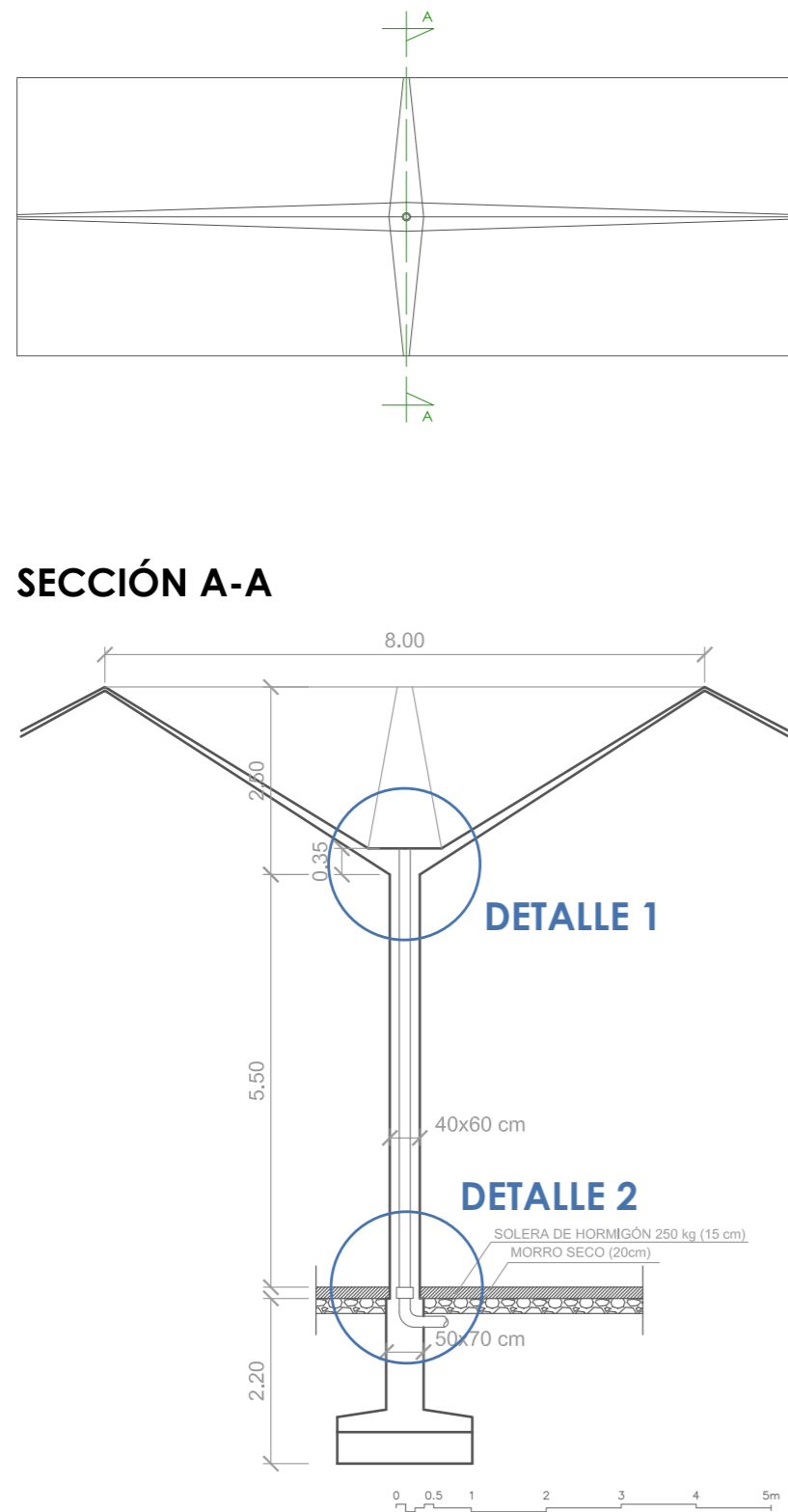


Foto 5.1 Sección por pilar de paraguas invertido.

### DETALLE 1.1- UNIÓN PILAR-PARABOLOIDES

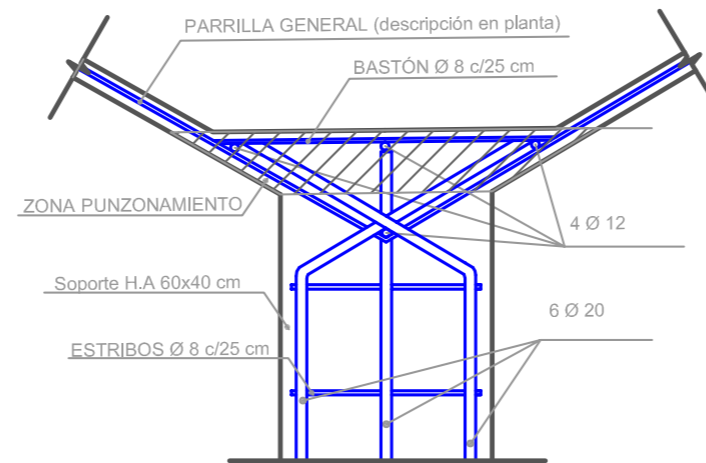


Foto 5.2 Bastón de unión pilar-paraboloides

El bastón es la unión entre el soporte y los paraboloides hiperbólicos, este aumento de sección de hormigón y su correspondiente refuerzo de armado es para absorber el punzonamiento que produce en la unión.

### DETALLE 1.2- UNIÓN ENTRE PARABOLOIDES

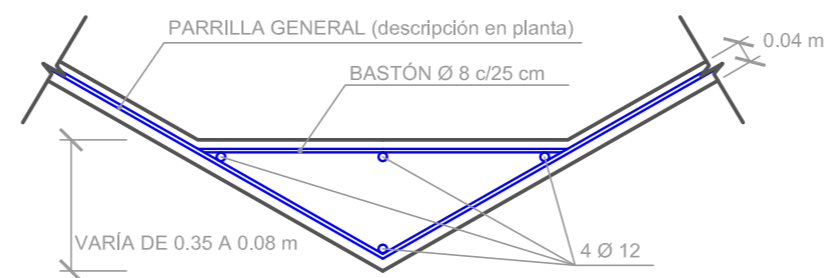


Foto 5.3 Bastón de unión entre paraboloides

En el bastón de unión entre paraboloides, al igual que en el descrito anteriormente, podemos observar también el aumento de sección, que varía de 0,08 cm a 0,35 cm, siendo 0,08 cm en el borde del paraguas y va aumentando de tamaño hasta 0,35 cm cuando nos acercamos al pilar, ya que la concentración de cargas que se recogen, aumenta hasta su transmisión al pilar.

### DETALLE 2.- REDUCCIÓN DE PILAR

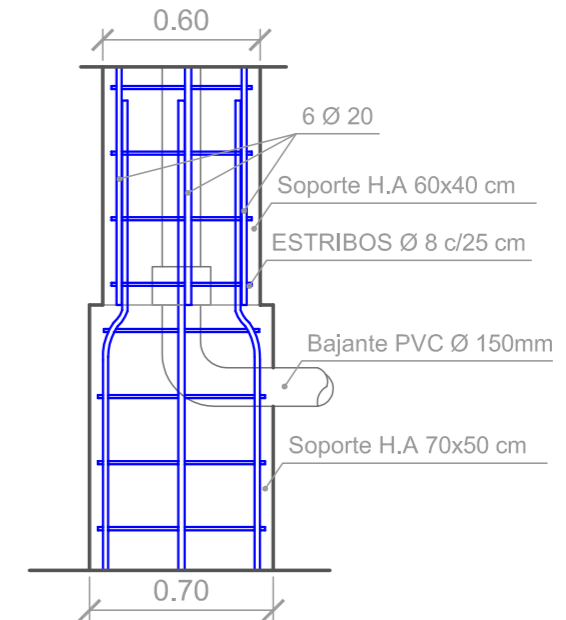
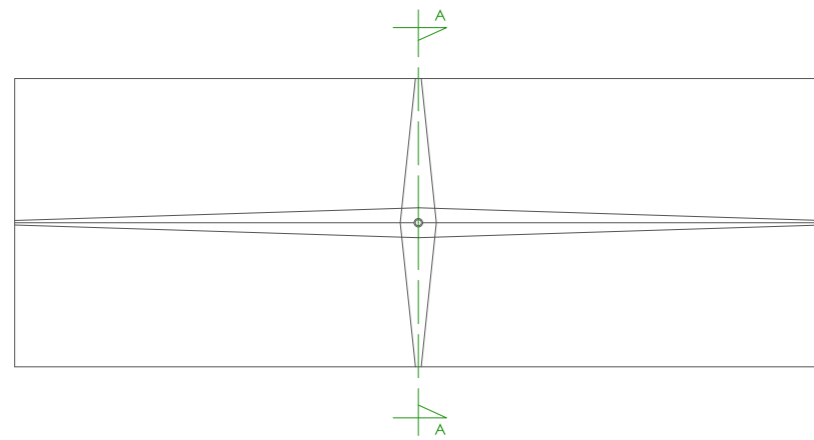


Foto 5.4 Reducción de pilar y evacuación de aguas pluviales

En este detalle, se puede observar una disminución de la sección del pilar, que pasa de un soporte de 60x40cm a uno de 70x50cm, que es el que llega a cimentación. La bajante se aloja en el interior del soporte y discurre a lo largo del mismo desde que recoge el agua en el paraboloide hasta llegar bajo la solera de hormigón y los 20cm de morro seco o zahorra, después se conecta con la red de saneamiento para su evacuación.





### SECCIÓN A-A

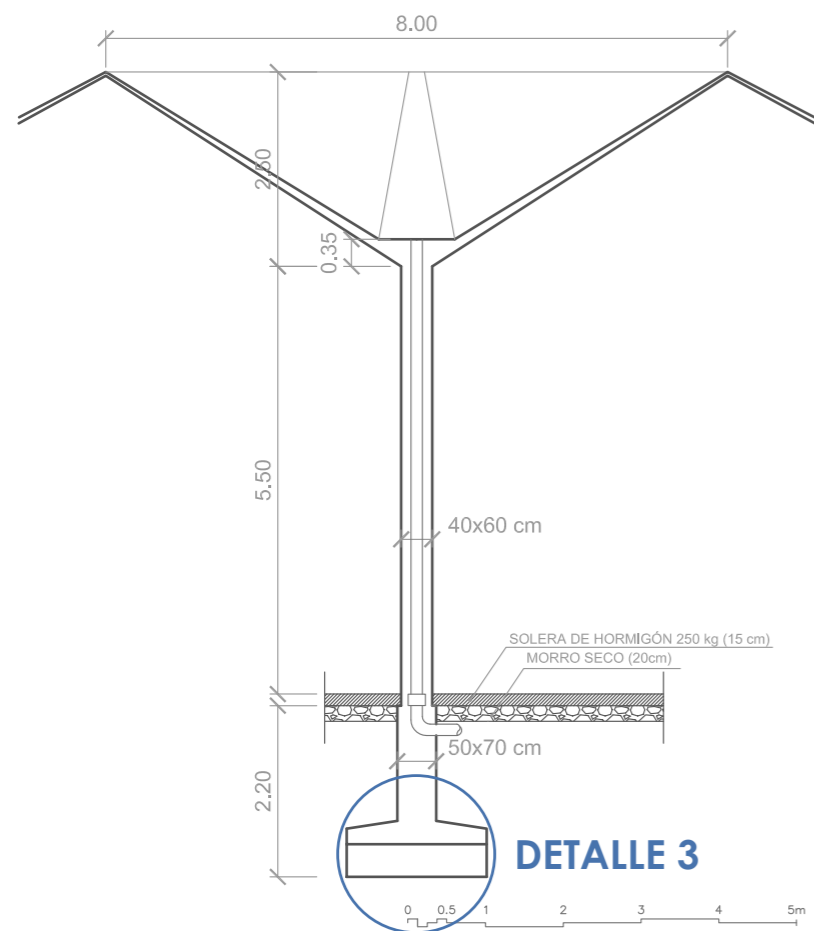


Foto 5.5 Sección por pilar de paraguas invertido.

### DETALLE 3.- CIMENTACIÓN

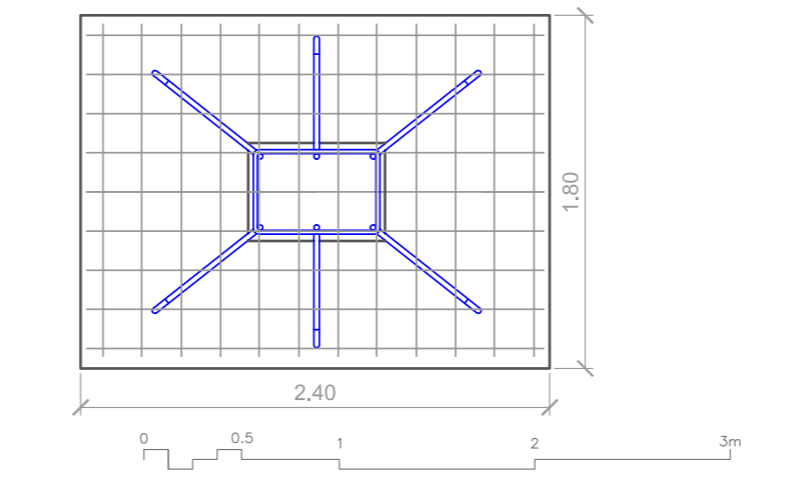
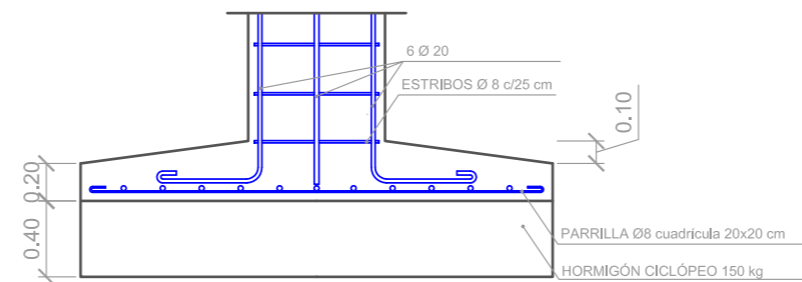


Foto 5.6 Cimentación por zapatas aisladas.

La cimentación del complejo se realiza sobre zapatas aisladas de dimensiones 1,80 x 2,40 m. La zapata está sobre una superficie de 0,40 m de espesor de hormigón ciclópeo de 150 Kg que hace de hormigón de limpieza. Dentro de la zapata podemos observar una parrilla de 15x15cm realizada con redondos de 8mm de espesor, sobre ella se levantan los enanos que nos sirven de arranque de los pilares, hasta una cota de +2,20m con una dimensión de 0,50 x 0,70 m.

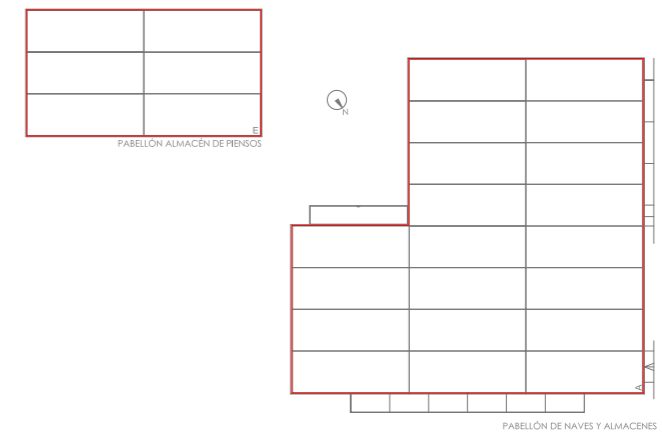


Foto 5.7 Mono localización del cerramiento

### DETALLE 4.- ACABADO PERIMETRAL

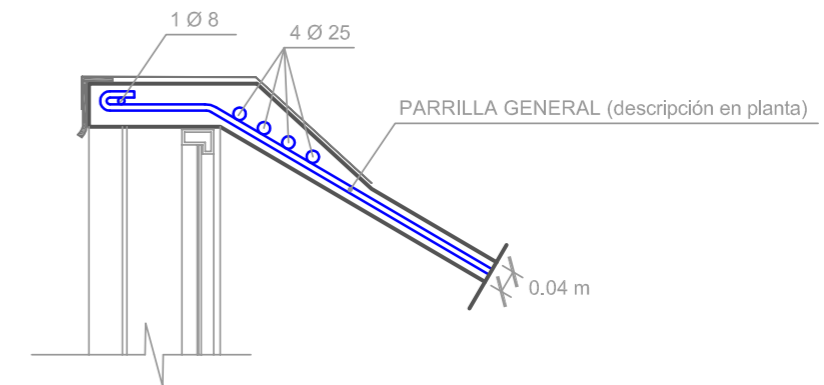


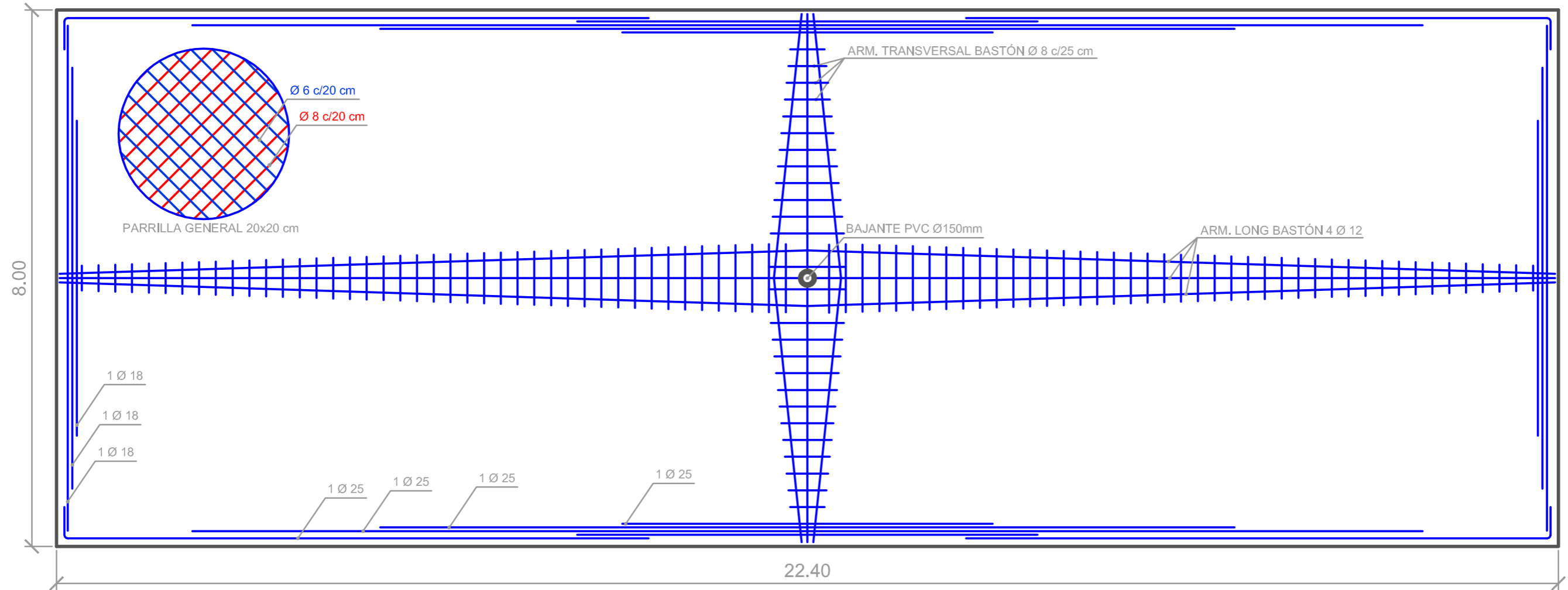
Foto 5.8 Acabado perimetral con cerramiento

El acabado perimetral de cerramiento se realiza mediante el encuentro del paraguas con el muro y las carpinterías, este encuentro no se considera apoyo, ya que el paraguas invertido se una estructura que se sujeta independientemente.

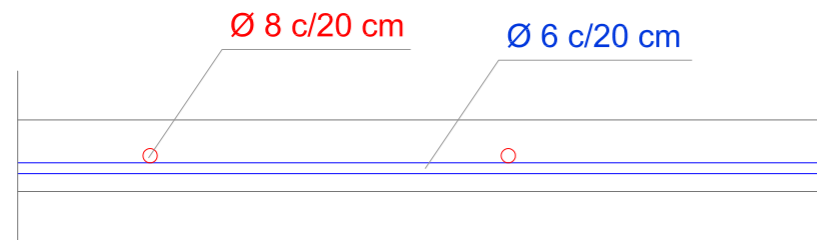
Encontramos lo que en apartados anteriores expliqué sobre el borde libre, ese refuerzo perimetral en forma de zuncho para la absorción de los esfuerzos que se producen, se realiza con el armado que podemos observar en el detalle, en la zona donde se produce el encuentro, y con el fin de absorber cortante, se colocan 4 redondos de 25mm, en el borde se coloca un redondo de 8mm para delimitar el perímetro.

También se ha colocado una lámina impermeabilizante para evitar filtraciones de agua en el interior.

## VISTA EN PLANTA DEL ARMADO DEL PARAGUAS INVERTIDO



## ARMADURA BASE DE LA MEMBRANA



**Foto 5.9** Armado Base de la membrana.

La membrana, con 4 cm de espesor, tiene armadura base en dos direcciones, en el plano superior se puede observar su colocación en el paraguas invertido. Esta armadura sirve para repartir los esfuerzos que se reciben en la superficie hacia los puntos fuertes, como son las uniones de los paraboloides (bastón, anteriormente descrito).

## PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS PARAGUAS INVERTIDOS

Para los siguientes apartados, al no tener suficiente documentación para saber cómo se ejecutaron los paraguas invertidos en aquella época, explicaré como se ejecutarían actualmente.

### 1º REALIZACIÓN DE LA CIMENTACIÓN CON ZAPATAS AISLADAS

Se realiza el movimiento de tierras por medios mecánicos, para la apertura de zanjas, pozos de cimentación y arquetas y zanjas de saneamiento, se realiza una capa de hormigón de limpieza, de aproximadamente 10cm de hormigón 150 Kg, se arman todas las zapatas y las vigas riostras con su armado correspondiente, en el caso de las zapatas, con la parrilla inferior y las esperas de los pilares.

Se procede a la colocación del hormigón de 350 Kg en cimentación por medio de camión hormigonera.



Foto 5.10 Camión hormigonera

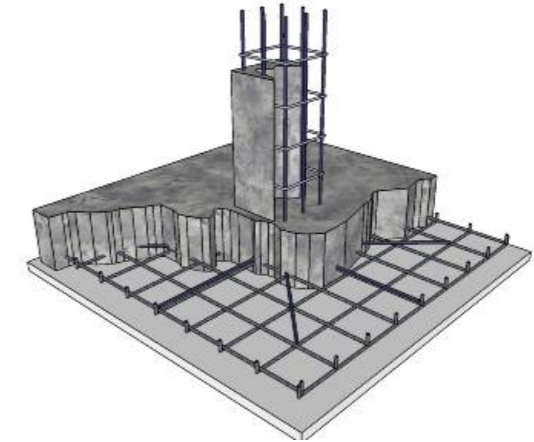


Foto 5.11 Ejemplo hormigonado de zapatas aisladas

### 2º EJECUCIÓN DE LOS PILARES

Una vez realizada la cimentación, se actúa sobre la junta de dilatación, dejándola rugosa para una mejor adherencia con el nuevo hormigón. Se procede a la colocación de la armadura del pilar sobre la de espera, uniéndola y colocando unos separadores que garantizarán el recubrimiento.

Se coloca el encofrado de los pilares, se desconoce el tipo de encofrado utilizado, ya que se realizó en el año 1965, aunque por la fecha, los tableros serían de madera de pino. Se ha de dejar previsto el tubo de evacuación de aguas pluviales en el interior del soporte.

Se procede a la colocación del hormigón de 350 Kg en todos los soportes por medio de camión hormigonera y cubilote en grúa autopulsada.

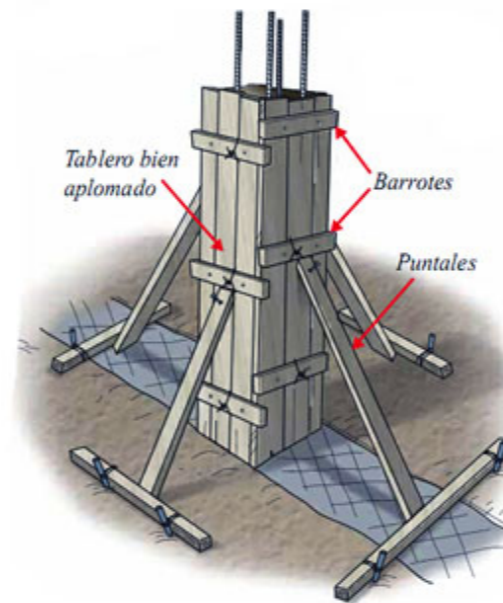


Foto 5.12 Ejemplo de cimbrado de pilares

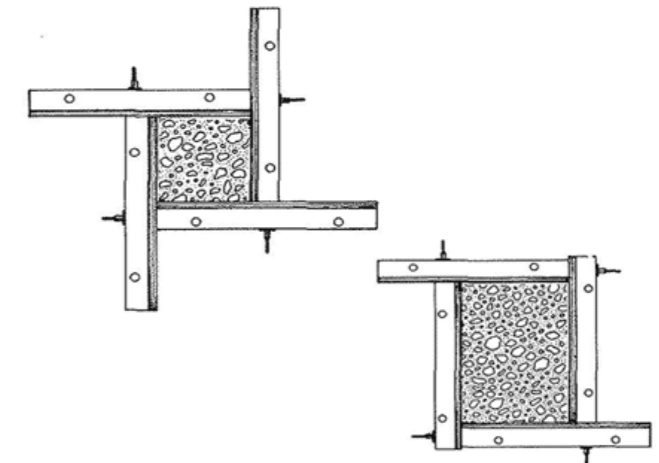


Foto 5.13 Detalle en planta de encofrado de pilares

### 3º EJECUCIÓN DEL CIMBRADO DE LA MEMBRANA

Para la ejecución del encofrado de los paraguas invertidos, he utilizado el sistema de encofrados PERI.



#### 1ª Fase de encofrado:

Una vez ejecutados los soportes, disponemos el encofrado, formado por 4 vigas de madera en celosía PERI GT 24 en las dos direcciones X e Y de uniones de los paraboloides, sustentadas por puntales extensibles de la misma casa, indicando en cada punto la altura Z, que debe de ocupar cada una. **Ver foto 5.14**

#### 2ª Fase de encofrado

Disponemos vigas de madera GT24 en dirección Y, acometiendo perpendicularmente a las vigas anteriormente colocadas 1 y 2. La distancia de vigas en esta fase es de 1,00 metro desde el eje central, y su longitud es de 4,50 metros, quedando enrasadas en la parte superior con la fase anterior y dándoles la cota Z que le corresponda a cada una. **Ver foto 5.15**

#### 3ª Fase de encofrado

Colocación de los listones de madera de pino de 0,05 x 0,10 m (ancho x alto) en la dirección X de las generatrices, clavados a las vigas de celosía anteriormente colocadas. **Ver foto 5.16**

Cuando se construyó en el año 1965, también se utilizaron listones de esa medida aproximadamente, ya que se puede apreciar la huella en la **foto 5.18** que se adjunta.

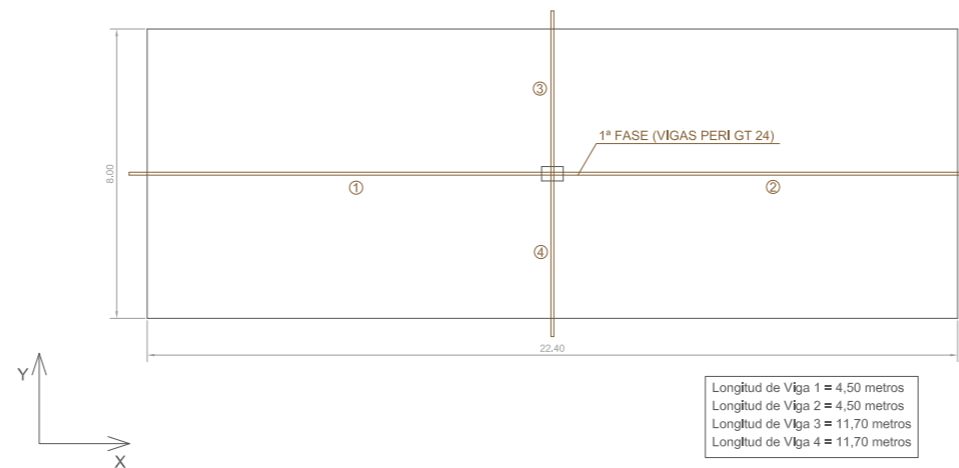


Foto 5.14 1ª Fase colocación del encofrado

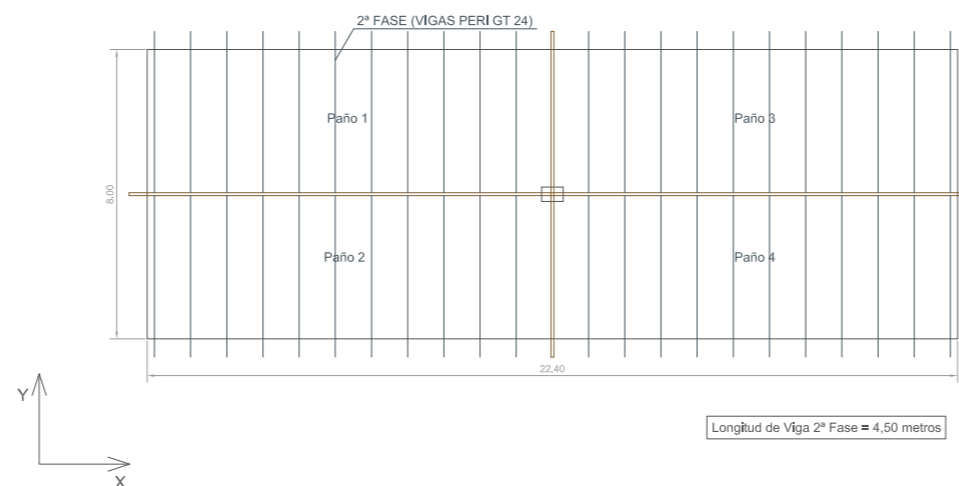


Foto 5.15 2ª Fase colocación del encofrado

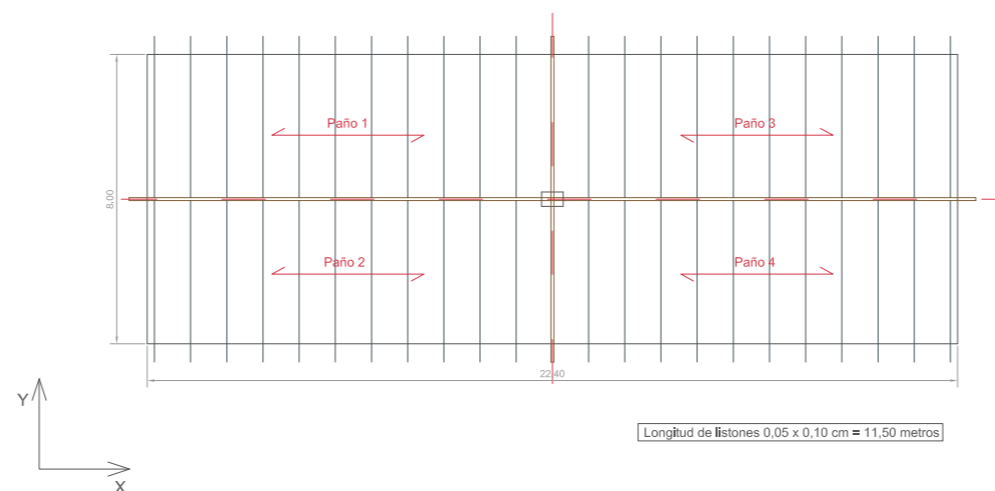


Foto 5.16 3ª Fase colocación del encofrado

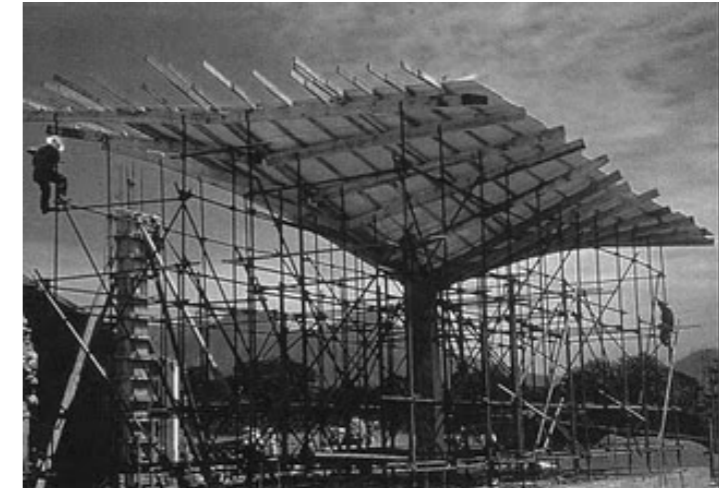


Foto 5.17 Foto Unión pilar-paraboloides hiperbólicos



Foto 5.18 Foto Unión pilar-paraboloides hiperbólicos



#### 4º COLOCACIÓN DE LA ARMADURA

El orden de colocación de la armadura es el siguiente:

- 1º) Parrilla general de 20x20 (dirección de colocación y armado según planos descritos anteriormente), importante la colocación de los separadores, para garantizar el recubrimiento de las armaduras.
- 2º) Colocación de las armaduras de refuerzo longitudinal y transversal en la unión de los paraboloïdes, denominados bastones.
- 3º) Colocación de armaduras de refuerzo en el perímetro, son las que absorben los esfuerzos de flecha que se producen.

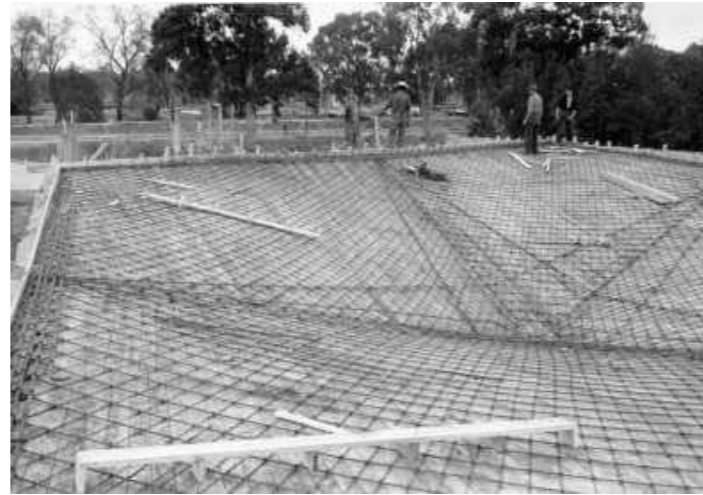


Foto 5.19 Armado del paraguas invertido

#### 5º HORMIGONADO DE LOS PARAGUAS INVERTIDOS

El proceso de hormigonado, se realiza con proyección de hormigón por vía seca. La puesta en obra se realiza mediante una cesta de un brazo articulado, ya que las longitudes que tenemos están dentro del alcance de este tipo de maquinaria.

Se ha de hormigonar cada paraguas completo, con el fin de no realizar ninguna junta de hormigonado. Es necesario ir comprobando el espesor y el recubrimiento de las armaduras.

Muy importante el curado del hormigón, ya que son láminas con espesores muy pequeños y existe un alto riesgo de fisuración y retracción por el espesor, es aconsejable colocar aspersores que garanticen la humedad de la superficie.



Foto 5.20 Proyección de hormigón por vía seca

#### 6º DESCIMBRADO DE LOS PARAGUAS

Una vez pasado el tiempo de endurecido del hormigón, se procederá al descimbrado de los paraguas, el orden será igual que el realizado para los voladizos en forjados convencionales, desde el vuelo hasta el soporte, para así ir entrando en carga progresivamente y poder ir comprobando la flecha que se pudiese producir en los extremos. Es importante retirar los puntales en este orden y a la vez, para evitar que entre en carga bruscamente, podría llegar a fisurarse e incluso a romperse.

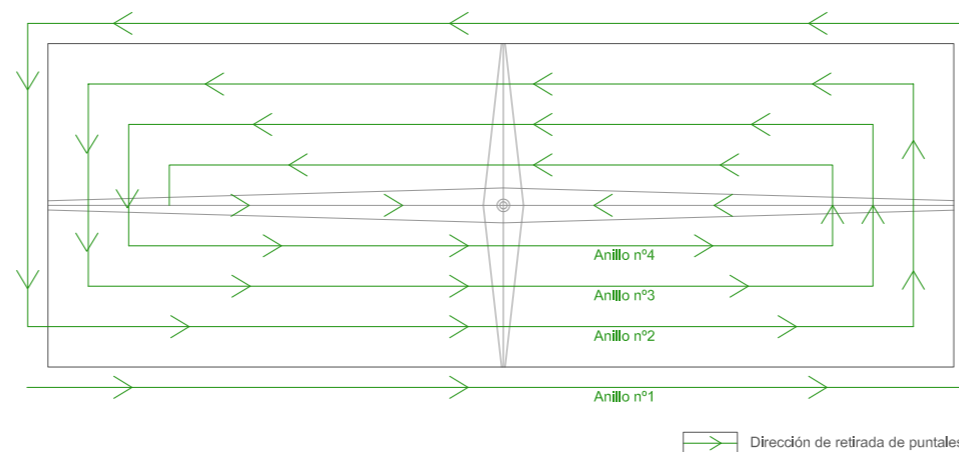


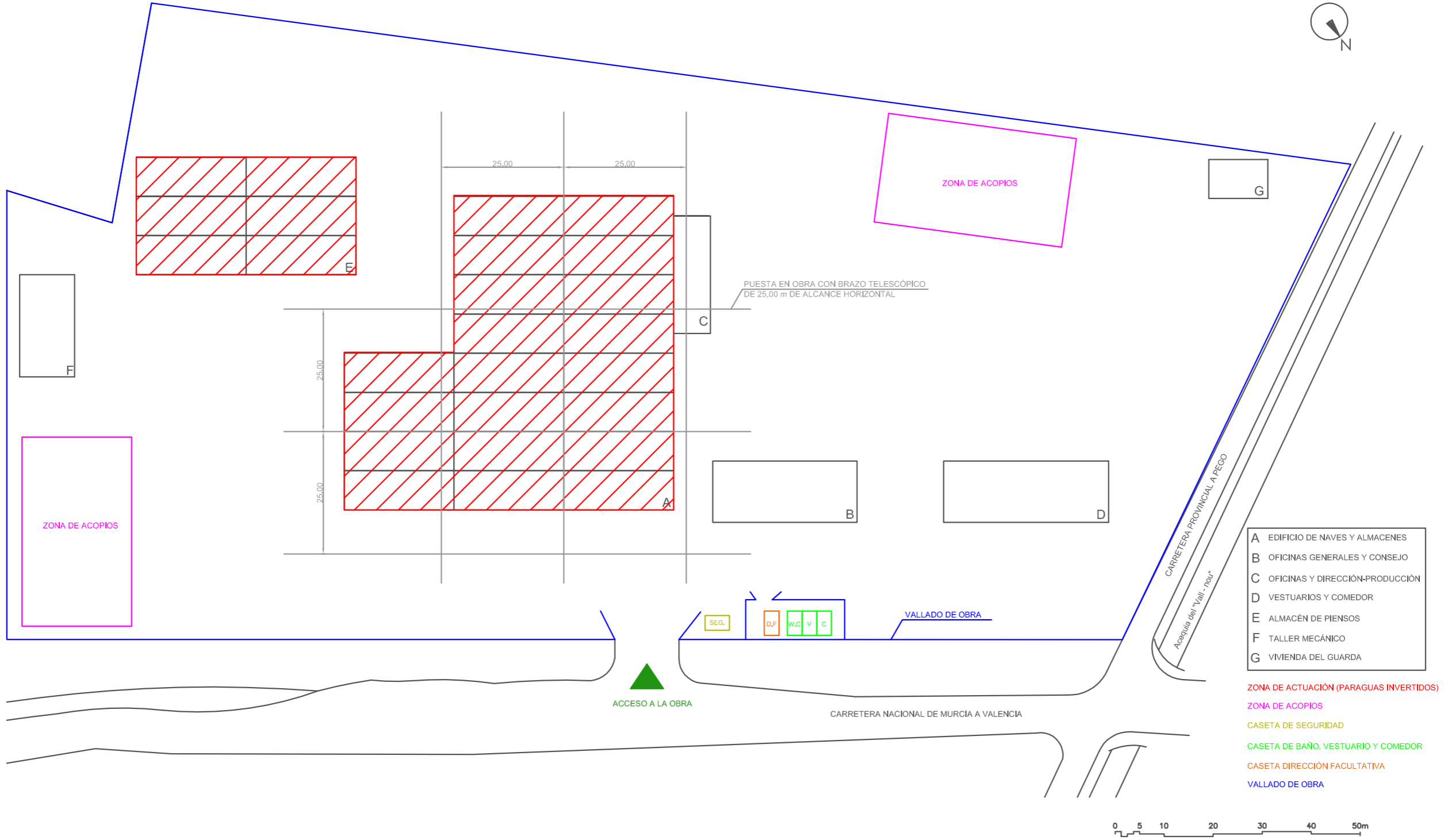
Foto 5.21 Orden de descimbrado

#### 7º ACABADO DE LA SUPERFICIE

Para el acabado exterior de la superficie, y con el fin de impermeabilizarla y protegerla contra agentes climatológicos, se aplicará un revestimiento elástico.



# PLANO DE IMPLANTACIÓN



# VALORACIÓN PERSONAL

## 06\_CONCLUSIONES

Este proyecto ha sido fruto de un trabajo de investigación sobre los paraguas invertidos para la construcción de una nave industrial en Oliva (Valencia), en el año 1965, a cargo de D. Pablo Pintado y Riba.

#### **ANÁLISIS GEOMÉTRICO:**

El autor del proyecto, D. Pablo Pintado y Riba, se nutre de autores de referencia, en particular Félix Candela, para crear una construcción atípica en ese momento y en ese lugar, adaptando la necesidad de tener un espacio diáfano de grandes luces, con un número reducido de apoyos, y así disponer de espacio para poder albergar maquinaria y producto, utiliza los paraguas invertidos para ello, esta geometría le permite conseguir el objetivo principal.

#### **ANÁLISIS ESTRUCTURAL:**

Los paraguas invertidos, en nuestro proyecto, con un único apoyo, cubren luces de 200 m2 aproximadamente. Son estructuras de membrana de doble curvatura anticlásticas, que distribuyen sus esfuerzos en forma de parábola, esto hace que aparezca el concepto de catenaria, en el que su principal cometido es tener solo esfuerzos de compresión y evitar los de cortantes y flectores, así facilitar la absorción casi total por medio del hormigón. Como elemento estructural, son capaces de resistir las solicitaciones que se interfieren por ellas mismas, sin necesidad de utilizar estructuras auxiliares.

#### **ANÁLISIS CONSTRUCTIVO:**

A lo largo de los años se ha seguido investigando en nuevos materiales, maquinaria, herramientas, empresas especializadas, etc. que facilitan su construcción y nos garantizan un mejor comportamiento frente a el paso de los años, por lo que hoy en día, la construcción de este tipo de estructuras, no presenta los mismos problemas, que les pudo presentar en aquella época a dichos autores.

El proceso constructivo es básicamente convencional, excepto a la hora del encofrado, ya que se ha de realizar una estructura perfecta, ajustada a su geometría, para que alcance su cometido principal, trabajar estructuralmente.

Para terminar, agradecer a D. Francisco Javier Sanchis Sampedro, tutor de nuestro PFG, por todo su esfuerzo y ayuda para que podamos aprender a interpretar la geometría.

## **COEFICIENTE DE IDONEIDAD GEOMÉTRICA**

Es el coeficiente que según la tesis doctoral del profesor Francisco Javier Sanchis Sampedro, con título "La geometría de las superficies Arquitectónicas. Análisis formal geométrico de la Ciutat de les Arts i de les Ciències de Valencia" 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, su puntuación será entre 0 y 2:

#### **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.

En la unión de los paraboloides hiperbólicos y por la evacuación de las aguas, no se ha utilizado en su forma exacta la superficie geométrica. **Puntuación: 1,5**

#### **COHERENCIA ESTRUCTURAL - GEOMÉTRICA:**

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.

En este punto, nada que objetar, ya que la propia estructura puede soportar las cargas a las que está sometida, además de haber sido una buena opción para cubrir grandes luces con un menor número de apoyos. **Puntuación: 2**

#### **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... se valorará con un 0 en este apartado.

Como he explicado en el apartado 04\_Análisis estructural, esta superficie está creada con rectas que se mueven a lo largo de toda la superficie, y puede utilizarse ventajosamente para la construcción de la cimbra. Para el armado no hay ningún problema, salvo tener precaución en los recubrimientos. Quizá en la puesta en obra del hormigón, por su espesor y para dejar un acabado fino, sea lo más complicado, aunque existe maquinaria y personal cualificado, que puede realizarlo sin ningún problema. **Puntuación: 2**

**PUNTUACIÓN TOTAL: 5,5 sobre 6**

# 07\_BIBLIOGRAFÍA

Engel, Heino (2003). Sistemas de estructuras. Gustavo Gil

Faber, Colin (1981). Las estructuras de Félix Candela. Continental.

Varios. (2010). Félix Candela 1910-2010. Valencia: IVAM - Ministerio de Cultura - Sociedad estatal de conmemoraciones culturales.

Leighton Vellman, B. (2003). Geometría descriptiva. Edit. Reverté S.A.

Sanchís Sampedro, F.J. (2011). Las formas del hormigón catálogo práctico de diseño. TFM.

Sanchís Sampedro, F.J. (2012). La geometría de las superficies arquitectónicas. Diazotec.

## RECURSOS ELECTRÓNICOS

<http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>

[http://www.coam.org/pls/portal/docs/PAGE/COAM/COAM\\_PUBLICACIONES/html/ppintado.html](http://www.coam.org/pls/portal/docs/PAGE/COAM/COAM_PUBLICACIONES/html/ppintado.html)



## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen</b>	<b>Fuente</b>	<b>Página</b>
Foto 1.1	<a href="http://www.sokete.com">http://www.sokete.com</a> - fecha consulta (14-04-2013)	9
Foto 1.2	Elaboración propia	9
Foto 1.3	Elaboración propia	9
Foto 1.4	Elaboración propia	9
Foto 1.5	<a href="http://www.coam.org">http://www.coam.org</a> - fecha de consulta (04-04-2013)	10
Foto 2.1	<a href="http://www.olivaplaya.com">http://www.olivaplaya.com</a> - fecha de consulta (28-04-2013)	13
Foto 2.2	Software en Ayuntamiento de Oliva - fecha de consulta (08-03-2013)	13
Foto 2.3	Catastro rústico de Oliva - fecha de consulta (28-04-2013)	13
Foto 3.1	<a href="http://www.wikimedia.org">http://www.wikimedia.org</a> - fecha de consulta (23-04-2013)	19
Foto 3.2	<a href="http://www.vitruvius.com">http://www.vitruvius.com</a> - fecha de consulta (14-04-2013)	19
Foto 3.3	<a href="http://www.fec.unicamp.br">http://www.fec.unicamp.br</a> - fecha de consulta (14-04-2013)	20
Foto 3.4	Sanchis Sampedro, F.J. La geometría de las supercies arquitectonicas	20
Foto 3.5	Sanchis Sampedro, F.J. La geometría de las supercies arquitectonicas	20
Foto 3.6	Faber, C. (1981) Las estructuras de Félix Candela. Continental	21
Foto 3.7	Elaboración propia	21
Foto 3.8	Elaboración propia	21
Foto 3.9	Elaboración propia	21

Foto 4.1	Faber, C. (1981) Las estructuras de Félix Candela. Continental	25
Foto 4.2	Faber, C. (1981) Las estructuras de Félix Candela. Continental	25
Foto 4.3	Faber, C. (1981) Las estructuras de Félix Candela. Continental	25
Foto 4.4	Faber, C. (1981) Las estructuras de Félix Candela. Continental	26
Foto 4.5	Elaboración propia	26
Foto 4.6	Elaboración propia	26
Foto 4.7	Elaboración propia	27
Foto 4.8	Elaboración propia	28
Foto 4.9	Elaboración propia	28
Foto 4.10	Elaboración propia	28
Foto 4.11	Faber, C. (1981) Las estructuras de Félix Candela. Continental	29
Foto 4.12	<a href="http://www.arqred.mx">http://www.arqred.mx</a> - fecha de consulta (16-05-2013)	29
Foto 4.13	Elaboración propia	29
Foto 4.14	Elaboración propia	30
Foto 4.15	Elaboración propia	30
Foto 4.16	Elaboración propia	30
Foto 4.17	Elaboración propia	30
Foto 5.1	Elaboración propia	33
Foto 5.2	Elaboración propia	33
Foto 5.3	Elaboración propia	33

Foto 5.4	Elaboración propia	33
Foto 5.5	Elaboración propia	34
Foto 5.6	Elaboración propia	34
Foto 5.7	Elaboración propia	34
Foto 5.8	Elaboración propia	34
Foto 5.9	Elaboración propia	35
Foto 5.10	<a href="http://pictures2.todocoleccion.net">http://pictures2.todocoleccion.net</a> - fecha de consulta (14-06-2013)	36
Foto 5.11	<a href="http://googleusercontent.com">http://googleusercontent.com</a> - fecha de consulta (14-06-2013)	36
Foto 5.12	<a href="http://www.acerosarequipa.com">http://www.acerosarequipa.com</a> - fecha de consulta (14-06-2013)	36
Foto 5.13	<a href="http://www.iguazuri.com">http://www.iguazuri.com</a> - fecha de consulta (15-06-2013)	36
Foto 5.14	Elaboración propia	37
Foto 5.15	Elaboración propia	37
Foto 5.16	Elaboración propia	37
Foto 5.17	Elaboración propia	37
Foto 5.18	Elaboración propia	37
Foto 5.19	Foto de archivo	38
Foto 5.20	<a href="http://construma.es">http://construma.es</a> - fecha de consulta (17-06-2013)	38
Foto 5.21	Elaboración propia	38