



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE LOS MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA
DE ESTRUCTURAS

TESIS DOCTORAL

**ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS
LAMINARES DE HORMIGÓN ARMADO EN LA COMUNITAT
VALENCIANA.**

AUTOR

FERNANDO ARNAU PALTOR

DIRECTORES

BEGOÑA SERRANO LANZAROTE

ERNESTO FENOLLOSA FORNER

Valencia, julio de 2021

Agradecimientos

A mi familia.

A mis directores, Begoña y Ernesto.

A todos aquellos que han salvado vidas y que con su trabajo han hecho posible el nuestro durante el confinamiento por la pandemia.

RESUMEN

Las láminas de hormigón armado utilizan principalmente su forma como mecanismo resistente. Son estructuras extremadamente eficientes y bellas. El desarrollo de este tipo de estructuras se inicia en torno a los años 20 del siglo XX alcanzando su esplendor cuantitativo y cualitativo en torno a los años 50 y 60. Su ocaso les llega en las décadas siguiente, fundamentalmente por motivos económicos. Su breve período de existencia hace que los ejemplos que tenemos de esta tipología sean muy limitados.

Por cuestiones relativas a la durabilidad del hormigón armado, la protección de este singular patrimonio arquitectónico resulta necesaria y urgente, de modo especial en la Comunitat Valenciana (España) con un clima costero con cloruros agresivos para las estructuras de hormigón, especialmente para aquellas de escaso espesor y por lo tanto reducido recubrimiento del armado.

El presente estudio pretende la caracterización histórica, constructiva y estructural de las estructuras laminares de hormigón armado en la Comunitat Valenciana. Para ello se ha realizado una labor previa de localización y documentación de diecisiete estructuras para su completa catalogación. El objetivo final es la divulgación y puesta en valor, de esta tipología estructural en la Comunitat Valenciana con la esperanza de que administraciones y propietarios emprendan acciones para su conservación, rehabilitación y protección.

Con su puesta en común podemos estudiar los distintos tipos de subcategorías de esta tipología, sus características comunes y diferenciadoras, el contexto histórico de su aparición, la evolución de su tecnología constructiva a lo largo de la historia, comparar los problemas que han afrontado en las fases de proyecto y ejecución o las lesiones que han sufrido a lo largo de su vida útil de cara a la prevención necesaria para una adecuada conservación.

En la segunda parte de este trabajo, basada en tres artículos publicados, se estudia en detalle de la iglesia de San Nicolás del Grao de Gandía (España), de modo que sirva como primer paso para posteriores estudios en profundidad de los otros ejemplos de láminas en la Comunitat Valenciana.

La iglesia de San Nicolás de Gandía (1962) es la obra póstuma del prestigioso ingeniero Eduardo Torroja Miret (1899-1961) en colaboración con el arquitecto Gonzalo Echegaray Comba y el ingeniero Jaime Nadal Aixalá. Torroja, fue pionero en el uso del hormigón pretensado, utilizándolo de modo variado e ingenioso en muchas de sus obras. Esta tecnología le permitió conseguir el estado tensional adecuado en el hormigón a la vez que garantizar su estanqueidad. Su intuición y experiencia le llevaron a asesorar en el desarrollo del método de tesado y anclaje patentado como “Método Barredo”.

La estructura de la iglesia de San Nicolás consiste en dos láminas plegadas de hormigón armado apoyadas en los pórticos testeros del edificio. Se trata de una solución innovadora, para salvar una luz de 29 m.

El comportamiento de las láminas fue mejorado mediante una serie de costillas de rigidez y un sistema de tendones postesados que permitió minimizar los efectos de flexión esviada derivados de la sección asimétrica de dichas láminas.

Los valores obtenidos de dos modelos informáticos de elementos finitos muestran una buena correspondencia con los cálculos realizados a manos por el ingeniero, reafirmando su excelente intuición estructural. Los resultados ayudan a comprender el funcionamiento de esta ingeniosa y compleja estructura.

En 1996 se realizó un estudio detallado de la patología constructivas presentes en la iglesia, especialmente fisuras y desprendimiento del recubrimiento de hormigón por corrosión de las armaduras. Se describen también las lesiones presentes en el edificio y el proyecto y obras de rehabilitación que comenzaron en el año 2001 y culminaron en el año 2012, 50 aniversario de la iglesia.

PALABRAS CLAVE

arquitectura, siglo XX, Movimiento Moderno, lámina, cáscara, hormigón, Comunitat Valenciana, Eduardo Torroja, pretensado, postesado, método Barredo, paraboloides hiperbólico, modelo de elementos finitos, rehabilitación, durabilidad, corrosión, conservación, protección.

RESUM

Les làmines de formigó armat utilitzen principalment la seva forma com a mecanisme resistent. Són estructures extremadament eficients i belles. El desenvolupament d'aquest tipus d'estructures s'inicia al voltant dels anys 20 de segle XX aconseguint els seus anys daurats quantitius i qualitius al voltant dels anys 50 i 60. El seu ocàs comença a la dècada següent, fonamentalment per motius econòmics. El seu breu període d'existència, és causa de que els exemples que tenim d'aquesta tipologia siguin molt limitats.

Per qüestions relatives a la durabilitat del formigó armat, la protecció d'aquest singular patrimoni arquitectònic resulta necessària i urgent, de manera especial a la Comunitat Valenciana (Espanya) amb un clima de costa amb clorurs agressius per a les estructures de formigó, especialment per a aquelles d'escàs gruix i per tant reduït recobriment de l'armat.

El present estudi pretén la caracterització històrica, constructiva i estructural de les estructures laminars de formigó armat a la Comunitat Valenciana. Per a això s'ha realitzat una tasca prèvia de localització i documentació de disset estructures per a la seva completa catalogació. L'objectiu final és la divulgació i posada en valor, d'aquesta tipologia estructural a la Comunitat Valenciana amb la esperança que administracions i propietaris emprenguin accions per a la seva conservació, rehabilitació i protecció.

Amb la seva posada en comú podem estudiar els diferents tipus de subcategories d'aquesta tipologia, les seves característiques comunes i diferenciadores, el context històric de la seva aparició, l'evolució de la seva tecnologia constructiva al llarg de la història, comparar els problemes que han afrontat en les fases de projecte i execució o les lesions que han patit al llarg de la seva vida útil de cara a la prevenció necessària per a una adequada conservació.

A la segona part d'aquest treball, basada en tres articles publicats, s'estudia en detall de l'església de Sant Nicolau del Grau de Gandia (Espanya), de manera que serveixi com a primer pas per a posteriors estudis en profunditat dels altres exemples de làmines a la Comunitat Valenciana.

L'església de Sant Nicolau de Gandia (1962) és l'obra pòstuma de el prestigiós enginyer Eduardo Torroja Miret (1899-1961) en col·laboració amb l'arquitecte Gonzalo Echegaray Comba i l'enginyer Jaime Nadal Aixalá. Torroja, va ser pioner en l'ús del formigó pretesat, utilitzant-lo de manera variada i enginyosa en moltes de les seves obres. Aquesta tecnologia li va permetre aconseguir l'estat tensional adequat en el formigó a l'hora que garantir la seva estanquitat. La seva intuïció i experiència van portar a assessorar en el desenvolupament del mètode de tesat i ancoratge patentat com "Mètode Barredo".

L'estructura de l'església de Sant Nicolau consisteix en dues làmines plegades de formigó armat recolzades en els pòrtics extrems de l'edifici. Es tracta d'una solució innovadora, per salvar una llum de 29 m.

El comportament de les làmines és millorat mitjançant una sèrie de costelles de rigidització i un sistema de tendons posttesats que va permetre minimitzar els efectes de flexió esviada derivats de la secció asimètrica d'aquestes làmines.

Els valors obtinguts de dos models informàtics d'elements finits mostren una bona correspondència amb els càlculs realitzats a mà per l'enginyer, reafirmant la seva excel·lent intuïció estructural. Els resultats ajuden a comprendre el funcionament d'aquesta enginyosa i complexa estructura.

El 1996 es va realitzar un estudi detallat de les patologies constructives presents a l'església, especialment fissures i despreniment de el recobriment de formigó per corrosió de les armadures. Es descriuen també les lesions presents a l'edifici i el projecte i obres de rehabilitació que van començar l'any 2001 i van culminar en l'any 2012, 50 aniversari de l'església.

PARAULES CLAU

arquitectura, segle XX, Moviment Modern, làmina, closca, formigó, Comunitat Valenciana, Eduardo Torroja, pretesat, posttesat, mètode Barredo, paraboloides hiperbòlic, model d'elements finits, rehabilitació, durabilitat, corrosió, conservació, protecció.

SUMMARY

Shell concrete structures mainly use their shape as a resistant mechanism. They are extremely efficient and beautiful structures. The development of this type of structures began around the 20s of the 20th century, reaching its quantitative and qualitative golden years around the 50s and 60s. Its decline came in the following decades, mainly for economic reasons. The examples we have of this typology are very few because its short period of existence .

The protection of this unique architectural heritage is necessary and urgent, especially in the Valencian Region (Spain) because durability of reinforced concrete in a coast environment with chlorides floating in the air attacking reinforced concrete structures, especially for those of fewer thickness and reduced coating of the reinforcement.

The present study aims at the historical, constructive and structural characterization of the reinforced concrete shell structures in Valencian Region. At this point, a preliminary task of locating and documenting seventeen structures has been carried out for their complete cataloging. The final objective is the dissemination and enhancement of this structural typology in the Valencian Region with the hope that administrations and owners will undertake actions for its conservation, rehabilitation and protection.

In the catalogue are exposed the different types of subcategories of this typology, their common and different characteristics, their birth historical context, the evolution of their construction technology throughout history, compare the problems they have faced in the design and execution phases or the injuries that they have suffered throughout their useful life with a view to the prevention necessary for proper conservation.

In the second part of this work, based on three published articles, the church of San Nicolás del Grao in Gandía (Spain) is studied in detail, so that it serves as a first step for later in-depth studies of the other examples of shells in Valencian Region.

The church of San Nicolás de Gandía (1962) is the last work of famous engineer Eduardo Torroja Miret (1899-1961) in collaboration with architect Gonzalo Echegaray Comba and engineer Jaime Nadal Aixalá. Torroja, was a pioneer in the use of prestressed concrete, using it in different and ingenious ways in many of his works. This technology allowed it to achieve the desired tension state in the concrete while its tightness is guaranteed. His intuition and experience led him to advise on the development of the patented tensioning and anchoring method “Barredo Method”.

San Nicolás’ Church’s structure consists of two folded plates of reinforced concrete supported on the extreme concrete frames of the building. It is an innovative solution for a span of 29 m.

The behavior of the plates was improved by means of a series of stiffening ribs and a post-tensioned tendon system that made it possible to minimize the effects of skewed bending produced by the asymmetric section the plates.

The values obtained from two finite element computer models show a good correspondence with the calculations carried out by the engineer, reaffirming his excellent structural intuition. The results help to understand how this ingenious and complex structure works.

In 1996 a detailed study of the construction pathologies present in the church was carried out. cracks and detachment of the concrete coating due to corrosion of the steel reinforcements, were specially studied.

The project and rehabilitation works that began in 2001 and culminated in 2012, the 50th anniversary of the church, are also described.

KEY WORDS

architecture, 20th century, Modern Movement, plate, shell, concrete, Valencian Region, Eduardo Torroja, prestressed, post-tensioned, Barredo method, hyperbolic paraboloid, finite element model, rehabilitation, durability, corrosion, preservation, protection.

Índice

Agradecimientos.....	iii
Resumen.....	v
Índice.....	11
Capítulo 1: Introducción.....	15
1.1. Motivación.....	15
1.2. Objetivos.....	17
1.3. Metodología.....	18
Localización de las estructuras laminares.....	18
Documentación.....	19
Elaboración de las fichas.....	19
Estudio intensivo individualizado de una de las estructuras laminares.....	20
Extracción de conclusiones.....	21
Capítulo 2: Estructuras laminares en la Comunitat Valenciana.....	23
2.1. Aproximación a las láminas de hormigón armado.....	23
2.2. Estructuras laminares en la Comunitat Valenciana.....	27
2.2.1. Restaurante “La Cúpula”.....	28
2.2.2. Iglesia de Santa María.....	32

2.2.3.	Talleres del IES Politècnic.....	40
2.2.4.	IES Joaquín Sorolla.	46
2.2.5.	Edificio de acceso al Oceanogràfic.....	56
2.2.6.	Restaurante Oceanogràfic.....	62
2.2.7.	Grupo Marqués de Valterra.	70
2.2.8.	Iglesia Santa María del Mar.....	76
2.2.9.	Iglesia de San Nicolás.....	82
2.2.10.	Gradas del estadio Guillermo Olagüe.....	90
2.2.11.	Estación de servicio “El Rebollet”.....	96
2.2.12.	Fábrica Interfruit.....	104
2.2.13.	Iglesia de N ^a Señora del Carmen.	112
2.2.14.	Cubierta Plaza Castelar.....	118
2.2.15.	Marquesina en Plaza Juan XXIII.....	124
2.2.16.	Porche en el colegio de Jesús y María.	130
2.2.17.	Auditorio de la Explanada.	136
Capítulo 3:	El caso de la iglesia de San Nicolás.....	143
3.1.	Introducción.....	144
3.2.	Eduardo Torroja y el pretensado.....	148
3.2.1.	El método Barredo o Método Español de Postesado.....	154
3.3.	Análisis estructural de la iglesia de San Nicolás.....	158
3.3.1	Descripción de la estructura.....	159
3.3.2.1	Los pórticos testeros.....	159
3.3.2.2	Las láminas plegadas.....	160
3.3.2.3	El postesado de las láminas.....	161
3.3.2	Análisis estructural.....	163
3.3.2.1	Consideraciones previas.....	163
3.3.2.2	El modelo de cálculo de Torroja.....	165
3.3.2.3	Resultados del cálculo simplificado de Torroja.....	166
3.3.2.4	Modelo con Elementos Finitos.....	167
3.4.	Discusión de resultados.....	169

3.4.1	Cargas Permanentes.....	169
3.4.2	Cargas de Pretensado.....	171
3.4.3	Cargas horizontales de viento.....	173
3.4.4	Combinación de acciones.....	175
Capítulo 4: La rehabilitación de la iglesia de San Nicolás		177
4.1	Caracterización de las lesiones.....	178
4.1.1	Relación daños estructurales.....	179
4.1.2	Relación de daños en elementos constructivos.....	180
4.1.3	Relación de daños en otros elementos.....	181
4.2	Ensayos y pruebas realizados.....	181
4.3	Causas posibles y actuaciones propuestas.....	184
4.4	El proyecto de intervención.....	185
4.4.1	Fases del proceso de rehabilitación	185
4.4.2	Intervención sobre elementos estructurales.....	186
4.4.3	Intervención sobre elementos constructivos.....	188
4.4.4	Intervención sobre otros elementos	189
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones		191
5.1	Conclusiones.....	191
	La localización geográfica de las láminas	191
	El contexto histórico y los agentes intervinientes: promotores, arquitectos, ingenieros, constructores.....	192
	La función y la forma en las láminas.....	193
	El proceso constructivo, el armado y su evolución.....	193
	La rehabilitación, conservación y protección de las láminas.....	194
	La Iglesia de San Nicolás. El análisis estructural y su rehabilitación.....	196
5.2	Propuestas para futuras investigaciones.....	198
Anejos.....		201
A1.	Relación de trabajos consecuencia de esta investigación.....	203
Referencias		207

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación.

El origen de este trabajo se sitúa en el año 2013. En aquel año inicié una investigación sobre la Iglesia de S. Nicolás en el Grau de Gandia. Lo que me atrajo en un primer momento es saber que es obra del célebre ingeniero Eduardo Torroja. Mis conocimientos, adquiridos en la escuela de arquitectura sobre su figura no eran demasiado extensos y sobre todo se canalizaban a través de sus obras principales.

De forma general siempre me ha interesado la arquitectura moderna de la primera mitad del siglo XX y sus autores. En especial aquellos que, además de excelentes dotes de proyectistas, poseen un elevado perfil técnico. Arquitectos, que para desarrollar sus ideas, investigan e innovan en el campo de las estructuras y la construcción. Arquitectos que diseñan hasta el último detalle y trabajan codo con codo con los distintos oficios, para alcanzar la perfección de la ejecución. En muchas ocasiones, el fruto de su ingenio se plasma en patentes y llegan a implicarse empresarialmente en su desarrollo y comercialización, como es el caso de los arquitectos Miguel Fisac o Félix Candela.

Eduardo Torroja como ingeniero responde a estas características y tiene interés también en la faceta estética de sus obras. Sus carencias en formación artística las suplió asociado a arquitectos que aportan una imagen de arquitectura moderna de calidad a la solución estructural del ingeniero. Conocidos ejemplos son su asociación en 1933 con Manuel Sánchez Arcas en el Mercado de Algeciras, o en 1935 con Secundino Zuazo en el frontón de Recoletos y con Carlos Arniches Moltó y Martín Domínguez en el hipódromo de la Zarzuela.

En la iglesia de San Nicolás trabajó con el arquitecto Gonzalo Echegaray Comba, colaborador suyo en el Instituto Técnico de la Construcción y el Cemento. Tras una primera aproximación, al descubrimiento de que es obra del ingeniero —no es una de sus obras célebres— se añadió el hecho de que se trata de su última obra, ya que falleció en 1962, un año antes del final de las obras. Pero cuando la iglesia realmente sorprende es al conocer su estructura. A pesar de estar completamente expuesta no es sino a través de un estudio en profundidad cuando podemos entenderla y que despierte nuestra fascinación.

El estudio de la iglesia nos permite descubrir la figura de Eduardo Torroja y la belleza de su obra. Su ingenio, su audacia, su intuición del comportamiento de las estructuras, su honestidad estructural, su dominio de la técnica y la innovación. Cada obra de Eduardo Torroja es una experimentación de sus innovadoras ideas en el campo de las estructuras. En el caso de la Iglesia de Gandía aúna con maestría dos materias de las que es un abanderado: el postesado y las estructuras laminares de hormigón armado.

Así como el postesado del hormigón es una técnica utilizada todavía en la actualidad sobre todo en obra civil, las láminas de hormigón armado tuvieron su período floreciente, relativamente breve, en torno a la mitad del siglo XX dejando de utilizarse en pocas décadas, sobre todo por motivos económicos.

A mediados del siglo pasado la tecnología de hormigón armado se encontraba en plena expansión. Hasta entonces el hormigón armado había sido empleado sobre todo en la ingeniería civil o en las construcciones industriales. La escasez de materiales tras el período de guerras, en especial la madera y el acero, convirtieron el hormigón armado en el material idóneo para la reconstrucción. El desarrollismo de los años 50 produjo un éxodo rural con su consecuente aumento de la demanda de las viviendas en los centros industriales. Del mismo modo, la naciente industria del turismo reclamaba alojamientos para colonizar las vírgenes costas españolas. Las rígidas estructuras de muros de carga fueron sustituidas por estructuras porticadas de hormigón armado, más económicas, de mayor rapidez de ejecución y que permitían una mayor flexibilidad espacial.

Precisamente el bajo coste de la mano de obra con respecto al de los materiales convirtieron en aquella época a las estructuras laminares en una tipología emergente, especialmente para cubiertas. Gracias a su comportamiento estructural de cáscara, las láminas de hormigón armado permiten usar menos materiales, reduciendo el coste y el peso propio de la estructura, convirtiéndolas en idóneas para la cubrición de grandes luces. Las sofisticadas formas resultado de su comportamiento estructural supusieron un cebo irresistible para el racionalismo de los arquitectos de aquella época. La dificultad de su cálculo sólo añadía atractivo a sus ojos, convirtiéndolas en símbolo de la modernidad, del desarrollismo y del progreso a través de la técnica.

A pesar de contar con más de 50 años de historia los conocimientos relativos a la tecnología del hormigón armado eran limitados a mediados del siglo XX, especialmente en el campo de la durabilidad por la inexperiencia en su aplicación a gran escala. Posteriormente se ha descubierto hasta qué punto son críticos, de cara a la vida de las estructuras

de hormigón armado, los recubrimientos de las armaduras, en especial en los ambientes agresivos como es el de costa. Este hecho convierte la durabilidad del hormigón en un tema de gran relevancia en la Comunitat Valenciana tanto en la regeneración urbana de los enclaves turísticos como en la conservación del patrimonio, que es el que nos ocupa.

La belleza singular de las estructuras laminares, su reducido número por lo limitado de su historia, y los problemas de durabilidad debido a la escasez de recubrimientos de las armaduras utilizados en su época, acentuados por el poco espesor de la tipología, hace necesario su estudio y catalogación en especial en un ambiente agresivo como es el de costa, mayoritario en la Comunitat Valenciana.

Resultaba urgente elaborar un catálogo de los elementos de esta tipología para una vez situados ser estudiados, caracterizadas sus lesiones, analizada su estructura de cara a promover su conservación como ejemplos singulares del patrimonio de la arquitectura moderna de la Comunitat Valenciana.

1.2. Objetivos.

El objetivo principal de este trabajo es la caracterización de las estructuras laminares en la Comunitat Valenciana. Mediante esta investigación se pretende la localización y la puesta en valor de estas estructuras singulares. Se pretende la divulgación entre los habitantes de la Comunidad Valenciana de las características y virtudes de esta tipología estructural y las claves para percibir su belleza tanto estética como racional desde un punto de vista estructural y constructivo. Con esta puesta en valor se desea garantizar la conservación de estos elementos del patrimonio arquitectónico valenciano mediante la rehabilitación, el mantenimiento y la protección oficial de los mismos.

En este trabajo de investigación se localizarán en la Comunitat Valenciana los ejemplos de láminas de hormigón armado existentes. Se situarán geográficamente y se analizará su presencia en las distintas demarcaciones administrativas de la Comunitat, intentando averiguar la causa de su número y de su localización.

Se clasificará según su tipología estructural y su sub-tipología y forma geométrica. Dado la característica de la tipología con un uso eminente de cubierta se recogerán sus datos geométricos como luces espesor, altura etc. Se construirá un modelo informático en 3D que permita entender mejor su geometría.

Se analizará el uso para el que ha sido destinada y su relación con los objetivos pretendidos por el promotor al ejecutarla. Se observará en su contexto histórico y su evolución a lo largo de su historia.

De cada elemento se estudiará los años en que se proyectó y construyó y los agentes intervinientes: promotores, arquitectos, ingenieros, constructores. Se recogerá su historia y su contexto histórico y la influencia que ésta pudo tener en su existencia, en el proceso constructivo o en su conservación.

Se documentará con fotografías y planimetría, en la medida de lo posible históricas y actuales, plasmando su posible evolución con el paso del tiempo y la aparición de elementos impropios en sucesivas rehabilitaciones, ampliaciones, etc.

Se investigará el proceso constructivo seguido en su ejecución a través de documentos o fotografía histórica y se comparará con los sistemas constructivos empleados en el momento de su ejecución y su evolución posterior.

Se documentará mediante fotografías actuales e históricas su estado actual. Se caracterizarán las lesiones que padece, elementos impropios, etc. Se investigarán y documentarán posibles rehabilitaciones en el pasado y su influencia en el estado actual para que sirva como experiencia para futuras intervenciones. Se realizará un análisis de riesgos y se harán propuestas de actuación futuras, tendentes a su rehabilitación, conservación y protección.

Se analizará su comportamiento estructural, en los casos en que sea posible mediante el cálculo informático con el uso de modelos y se consultará la información existente en los archivos respecto a su cálculo para compararla con los datos obtenidos en el cálculo por ordenador.

De cada elemento se presentará la suficiente información para fomentar un estudio individual exhaustivo de cada uno, como se ha realizado en la Iglesia de San Nicolás de Gandía. En el tercer y cuarto capítulo se presenta el estudio publicado en tres artículos en revistas especializadas, referentes al análisis estructural de la lámina de la Iglesia, del postesado, y de la caracterización de las lesiones y el proyecto de rehabilitación que se realizó.

Se divulgará la investigación a través de internet mediante un mapa interactivo con la idea de divulgar el conocimiento de esta tipología estructural y ponerla en valor en la Comunitat Valenciana de modo que sus habitantes se sientan comprometidos con la protección del patrimonio arquitectónico valenciano, y que ello sirva como acicate a las administraciones para promover su estudio, rehabilitación, conservación y protección.

1.3. Metodología.

Localización de las estructuras laminares

Se contactó con todos los ayuntamientos de la Comunitat Valenciana, cuestionándoles sobre la existencia de algún tipo de estas estructuras en su término municipal. El conocimiento en esta materia por parte de los técnicos municipales ha resultado desigual, llegando a localizar algunos elementos, gracias a la aportación de arquitectos del consistorio vecino, etc.

Finalmente, la mayor parte se localizaron gracias a la exploración del territorio, en diferentes viajes a lo largo de la Comunitat Valenciana y con la ayuda de personas, conocedoras de la investigación, que han colaborado en la localización de las láminas.

Documentación

La siguiente etapa fue la de documentar cada uno de los elementos. En primer lugar, se investigó la documentación existente publicada, libros y artículos, sobre la temática (superficies laminares de hormigón armado, láminas plegadas, postesado del hormigón, análisis estructural por métodos de elementos finitos, etc.) y sobre los edificios y agentes intervinientes (Autores, promotores, constructores, etc.). Al tratarse en muchos casos de obras inéditas hubo que hacer una intensa labor de investigación en archivos de ayuntamientos, colegio de arquitectos, y los estudios privados de los arquitectos e ingenieros autores. En muchas ocasiones se ha podido disfrutar la experiencia de entrevistarse con los agentes que participaron en los proyectos.

Entre los lugares consultados cabe citar: Archivo Estudio Lamela (Madrid); Archivo Eurhostal (Alcossebre); Archivo Ajuntament de Alcalà de Xivert; Archivo Iglesia de Santa María (Borriol); Archivo Ajuntament de Borriol; Archivo Ajuntament de Castelló de la Plana; Archivo IES Politènic (Castelló de la Plana); Fundación COAM, Servicio Histórico, Fondos y legados: Estudio Lamela, Luis Martínez-Feduchi Ruiz, Carlos de Miguel, Pablo Pintado Riba, Juan de Haro Piñar; Archivo Carlos Fernández Casado S.L. (Madrid); Archivo Oficina técnica Parque Oceanogràfic (València); Archivo Parroquia de San Nicolás (Gandía); Legado de Agustín Gabriel López del archivo histórico de Mérida; Arxiu històric de Gandía; Archivo del Centro de Estudio Históricas de Obras Públicas y Urbanismo (Madrid); Archivo del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (Madrid); Archivo Coesmi S.L.; Archivo Ajuntament de Oliva; Archivo Refrescos Iberia S.A.U. (Oliva); Archivo histórico de Benidorm; Archivo parroquia de Nuestra Señora del Carmen (Benidorm); Archivo Ajuntament de Elda; Archivo Efealcubo arquitectura S.C.P (Elda); Archivo Ajuntament de Sant Vicent del Raspeig; Archivo Borrell-Jover (Barcelona); Archivo municipal de Alicante.

También se entrevistó y consultó el archivo de los autores: Estudio Lamela (Madrid); Francisco Segarra Bel, arquitecto (Castellón de la Plana); Ignacio Feduchi Benlliure, arquitecto (Madrid); Carlos Lázaro Fernández, ingeniero (Valencia); Antonio y Javier Olagüe Cerdá, arquitectos (Gandía); Antoni Corell Vicent, arquitecto (Alfajar); Luis de Andres Mir, ingeniero; José Luis Valero Nuevo, arquitecto (Denia); Nemesio Fernández, ingeniero; José M. Chofre Gil, arquitecto (Alicante); Florentino Regalado Tesoro, ingeniero (Alicante);

Elaboración de las fichas

En la tercera etapa se realizan las fichas de cada elemento, clasificadas por provincias. De cada elemento se ha detallado los agentes intervinientes, características estructurales y constructivas, se facilitan fotos históricas, de la construcción y actuales, planos y un texto donde se recoge su historia, características, y se describe su estado, si ha estado sometido a rehabilitación y en su caso se caracterizan sus lesiones y en algunos casos se presenta un análisis por elementos finitos de la estructura. Las fichas están introducidas por un texto donde se presenta una breve historia de las estructuras laminares.

Estudio intensivo individualizado de una de las estructuras laminares.

Uno de los elementos del catalogo, la iglesia de San Nicolás del Grau de Gandia, ha sido analizada en más profundidad. Se ha realizado un modelo de elementos finitos para su análisis estructural con ordenador y se ha estudiado en profundidad las patologías presentes en el edificio y el proceso de rehabilitación al que ha sido sometida. La información obtenida ha sido difundida mediante artículos, conferencias, congresos, exposiciones y en internet. Este estudio en detalle de la Iglesia de San Nicolás constituye la segunda parte del trabajo, se presenta en el Capítulo 3 y 4 del estudio y se realiza utilizando como base la publicación del trabajo de investigación en tres artículos en revistas especializadas:

Capítulo 3: Análisis estructural de las láminas plegadas postesadas:

- Fenollosa Forner, E., Serrano-Lanzarote, B., Alonso Durá, A. & Arnau-Paltor, F. (2018). Two Post-tensioned Thin Folded Plates Designed by E. Torroja for San Nicolás Church. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(1), 162-172. <https://doi.org/10.3311/PPci.10251>.

JCR (2018): 0,976 (Q3 pos 99 de 132 en “Civil Engineering”) y (5 años): 0,905

SJR (2018): 0,360 (Q3 pos. 160 de 441 Civil and Structural Engineering, Q2 pos. 94 de 312 Geotechnical Engineering and Engineering Geology).

Índice H: 14

- Arnau-Paltor, F., Serrano-Lanzarote, B., & Fenollosa Forner, E. (2020). The post-tensioned concrete technique in the work of Eduardo Torroja. the case of the church of San Nicolás in Gandía. *Structures*, 23, 518-528. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.11.006>.

JCR (2018): 1.646 (Q3 pos. 68 de 132 “Civil Engineering”)

SJR 2018: 0,977 (Q1 “Architecture”, Q1 “Building and Construction”, Q1 “Civil and structural Engineering” y Q1 “Safety, Risk, Reliability and Quality”).

Índice H: 14

Capítulo 4: Análisis de la durabilidad:

- Serrano-Lanzarote, B., Fenollosa Forner, E. & Arnau-Paltor, F. (2016). Evaluación de daños y actuaciones de rehabilitación en la iglesia de san Nicolás de Eduardo Torroja (Gandía, 1962). *Informes de la Construcción*, 541(68), e130, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.139>.

JCR (2018): 0,306 (Q4, “Construction and building technology”) y (5 años): 0,488

SJR: 0,24 (Q2 “Architecture”, Q3 “Building and Construction”, Q3 “Civil and structural Engineering” y Q3 “Environmental Engineering”).

Índice H: 14

Este proceso de difusión y puesta en valor del elemento ha culminado en el inicio de las gestiones para su declaración como bien de interés cultural y pretende ser una guía para el estudio individualizado de cada uno de los ejemplos de este tipo de estructuras en la Comunitat Valenciana. El objetivo es realizar un análisis estructural y una caracterización de sus lesiones para elaborar un diagnóstico y poder plantear una serie de acciones de mantenimiento y conservación o rehabilitación de cada uno de las estructuras laminares existentes.

Extracción de conclusiones

Tras el estudio de la tipología, de su historia y de cada uno de los ejemplos individuales en la Comunitat Valenciana estudiados y el análisis intensivo de la iglesia de San Nicolás, finalmente se extraen las conclusiones fruto de la investigación, y se plasman en el documento final.

Capítulo 2

Estructuras laminares en la Comunitat Valenciana

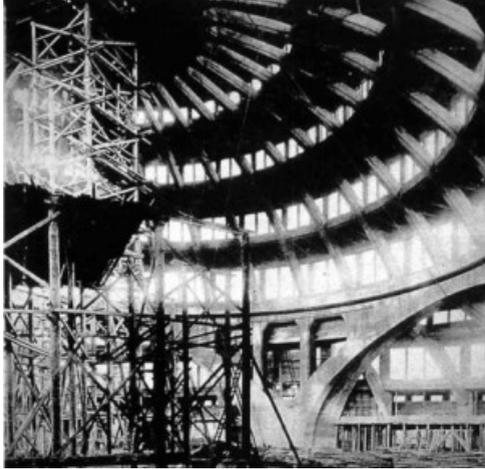
2.1. Aproximación a las láminas de hormigón armado

Las estructuras laminares son una tipología estructural que basa su mecanismo resistente en su forma. Son elementos de escaso espesor cuya sección no tiene capacidad para soportar esfuerzos de flexión, por lo que, para alcanzar el equilibrio, se requiere movilizar esfuerzos de membrana. Un precursor de estos elementos son las bóvedas y las cúpulas. Formadas por elementos discontinuos, el equilibrio se alcanza únicamente mediante esfuerzos de compresión. Cerca de los apoyos los empujes horizontales producen esfuerzos normales de flexión en las piezas debiendo aumentar el espesor y con ello el peso propio de la estructura (Torroja Miret, Razón y ser de los tipos estructurales, 1957).

El hormigón armado permite soportar esfuerzos de tracción en virtud del monolitismo hormigón-acero que permitirá salvar estos obstáculos. La moldeabilidad del hormigón fresco le permite formar con facilidad láminas de escaso espesor que reducen el peso propio de la estructura convirtiéndolo en una tipología ideal para la cubrición de grandes luces. La investigación con este material iniciará, a principios del siglo XX, una carrera en la cubrición de la mayor luz, sin atender al coste económico (Fernández Ordóñez & Navarro Vera, 1999).

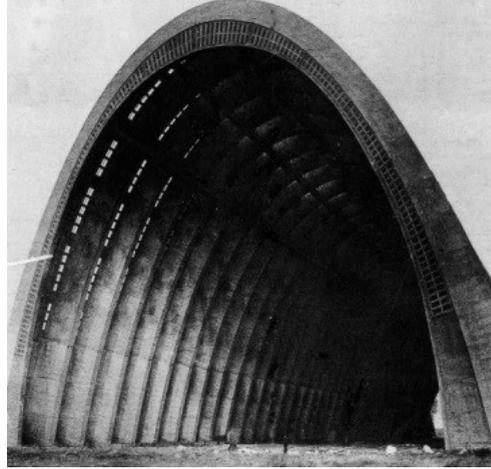
Uno de los primeros ensayos en hormigón armado en el viejo continente, aunque con una cúpula nervada y no una lámina, es la cúpula ideada por Max Berg del Hall del Centenario de Breslau (1912) con una luz de 67 m (Imagen 1.1). Freyssinet nos brindará, en 1916, uno de los primeros ejemplos de escaso espesor cubriendo unas luces de 46 x 60 m en las bóvedas nervadas de hormigón de Avord, y especialmente en los hangares

de Orly, de 1921 a 1923, donde el espesor de 6 cm de la lámina se ve rigidizado por su plegado y disposición en forma de arco parabólico llegando a cubrir una luz entre apoyos de la bóveda de 88 m (Imagen 1.2).



Fuente: (www.arkikultura.com, s.f.)

Imagen 1.1: Cúpula del Centenario. Breslau, 1912.



Fuente: (www.urbipedia.org 2, s.f.)

Imagen 1.2: Hangares. Orly, 1921-1923

El ingeniero José Eugenio Ribera fue el pionero en 1902 de esta tipología en España con las bóvedas de 6 cm, apoyadas en riostras paralelas separadas 3,18 m, en el depósito de Gijón (Imagen 1.3) y posteriormente en el tercer depósito de Madrid. Eduardo Torroja trabajó para Ribera en su empresa Hidrocivil donde también ejecutó láminas de hormigón de modo temprano tanto para el diseño de cimentaciones como en los cajones necesarios en su ejecución para trabajar con aire bajo el agua, como la del puente de Sancti Petri, formada por dobles superficies de hiperboloides (Imagen 1.4).

En Alemania Franz Dischinger, director técnico de Dyckerhoff & Widmann GesmbH, y su sucesor Ulrich Finsterwalder sentaron las bases teóricas del cálculo de esta tipología con el método Zeiss-Dywidag. Con él se ejecutó el planetario de Jena (1916) que cubría, con 6 cm de espesor, una luz de 40m (Imagen 1.5). En la misma empresa, Adolf Pucher, hizo lo propio con el corpus teórico para el cálculo de superficies de doble curvatura anticlásticas o sillas de montar.

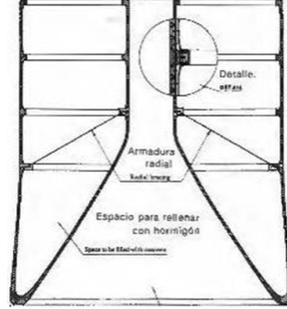
Eduardo Torroja se apoyó en el método de Dischinger Zeiss-Dywidag y en la tesis doctoral de cálculos de cáscaras de hormigón (1930) de Finsterwalder para sus aportaciones en esta materia y en concreto para el cálculo del mercado de Algeciras (1933) que cubre una luz de 40,80 m con un espesor de 9 cm, arrebatándole el récord al planetario de sus maestros (Imagen 1.6). Otro gran ejemplo del uso temprano del hormigón armado en España fue el mercado de Pola de Siero (1932) de Ildefonso Sánchez del Río, autor

también años después (1961-1975) de las bóvedas de hormigón armado del palacio de los deportes de Oviedo.

Por su parte Bernard Lafaille fue el primero en investigar con superficies regladas en 1929 cubriendo luces de 30 a 50m con un espesor de cáscara de 5-6 cm.



Fuente: (Fernández Ordóñez & Navarro Vera, 1999)

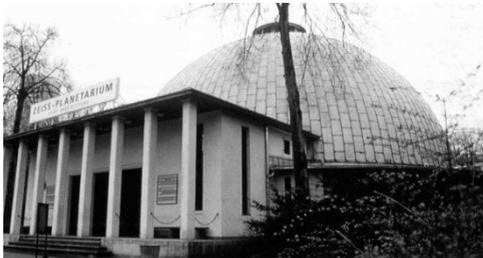


Fuente: (Chías Navarro & Navarro Balboa, 2005)

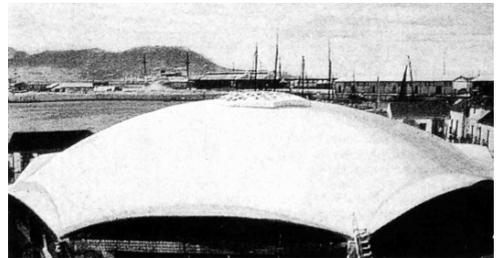
Imagen 1.3: Prueba de carga depósito Gijón, 1912

Imagen 1.4: Cajón para puente de Sancti Petri.

La moldeabilidad del hormigón fresco llevó a la temprana experimentación con formas menos clásicas como los conoides en dientes de sierra (Imagen 1.7) de Freyssinet en los talleres Bagnoux (1928-1929) o los de la cubierta de las gradas del hipódromo de la Zarzuela (Imagen 1.8) o las bóvedas cilíndricas del frontón de Recoletos levantadas ambas por Eduardo Torroja en 1935.



Fuente: (www.urbipedia.org 3, s.f.)



Fuente: (www.urbipedia.org 4, s.f.)

Imagen 1.5: Cúpula del Planetario de Jena, 1926

Imagen 1.6: Cúpula del Mercado de Algeciras, 1933

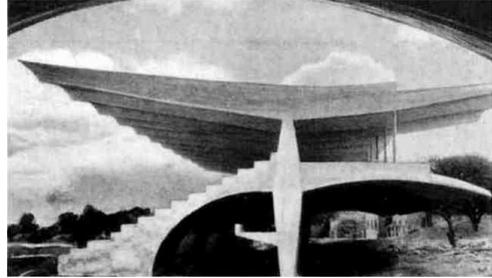
Esta tipología llegó a su culmen en la figura del arquitecto español Félix Candela nacionalizado en México y posteriormente en Estados Unidos, tras su exilio de la guerra civil española. Candela investigó especialmente con las láminas de hormigón armado de doble curvatura antielástica o paraboloides hiperbólicos, cuya ligereza llevó al extremo como en el caso del Pabellón de los Rayos Cósmicos en Ciudad de México (Imagen 1.9) de 1,5 a 2 cm de espesor. No sólo proyectó y calculó, sino que también ejecutó hasta 900

ejemplos de este tipo de estructuras con la constructora Cubiertas Ala que fundó en 1950 con su hermano Antonio y los hermanos Fernández Rangel. En ellas experimentó multitud de combinaciones posibles de la tipología creando estilo y escuela de arquitectos que reprodujeron sus formas por el mundo.



Fuente: (www.huellasdearquitectura.wordpress.com, s.f.)

Imagen 1.7: Cubierta talleres Bagneaux, 1928-1929



Fuente: (Fernández Ordóñez & Navarro Vera, 1999)

Imagen 1.8: Cubierta Hipódromo Zarzuela, 1935

Esta tipología estructural alcanzó el cénit en su desarrollo a mediados del siglo XX, con estructuras como la bóveda de la Sala de Exposiciones de Turín de 95 m de luz de Pier Luigi Nervi (1949) (Imagen 1.10) o la de Esquilan en el CNIT de París con una doble lámina plegada con diafragmas de sólo 6 cm de espesor con la que cubre una luz de 258 metros entre tres apoyos (Imagen 1.11). El ocaso de las estructuras laminares llegó, en torno a los años 60-70, fundamentalmente por el encarecimiento de la mano de obra, que exigía el montaje de cimbras y encofrados, así como la puesta en obra del hormigón, con respecto al de los materiales (Fernández, J.A. y Navarro J.R. 1999).



Fuente: (www.urbipedia.org, s.f.)

Imagen 1.9: Pabellón de los Rayos Cósmicos, 1951



Fuente: (www.docmomoitalia.it, s.f.)

Imagen 1.10: Sala de exposicions en Turín, 1949



Fuente: (Fernández Ordóñez & Navarro Vera, 1999)

Imagen 1.11: CNIT en París, 1958

2.2. Estructuras laminares en la Comunitat Valenciana.

Como se ha dicho, las estructuras laminares vivieron su momento de esplendor a mediados del siglo pasado. Se trata de una tipología estructural tecnológicamente muy sofisticada, encontrándose los arquitectos e ingenieros, como Eduardo Torroja, y las empresas constructoras especializados en su conocimiento, diseño y cálculo, mayoritariamente en Madrid y Barcelona, donde se encontraban las únicas escuelas de arquitectura de España. En los años de expansión del turismo nacional y de inicios del internacional, los arquitectos de la capital de España tenían una especial vinculación de segunda residencia con la costa de Gandía y Alicante, motivo por el cual esta tipología realiza su entrada por el sur de la provincia de Valencia, antes que por su capital y mayoritariamente en la costa.

En los años posteriores han aparecido puntualmente ejemplos de láminas a lo largo de toda la Comunitat, situándose en la ciudad de Valencia los últimos ejemplos contemporáneos a nivel mundial, obra de Félix Candela, una de la figura más relevante en esta tipología. Estudiando los ejemplos de la Comunitat podemos observar la evolución y las innovaciones tecnológicas en las láminas y su proceso constructivo.

La presencia de esta tipología en la Comunitat Valenciana, igual que a nivel general, es reducida por su especificidad, reduciéndose su aplicación a cubiertas singulares, y por la escasa vida que tuvieron debido a los motivos económicos previamente mencionados. El escaso espesor de las láminas y por lo tanto reducidos recubrimientos de las armaduras y el clima marítimo de la costa de la Comunitat hacen urgente la toma de medidas de cara a la preservación de esta parte tan importante del patrimonio arquitectónico Valenciano. Se presentan a continuación diecisiete obras formadas por láminas de hormigón armado en la Comunitat Valenciana ordenadas de Norte a Sur. Esta información puede consultarse de modo interactivo en la página web (LHA-CV, s.f.):

<https://drive.google.com/open?id=14Emy-3UPCAW0H9r4G8QHWCiw865UHIHV&usp=sharing>

2.2.1. **Restaurante “La Cúpula”.**

**Complejo Eurhostal. C/ Jai Alai, 2 Alcossebre (Castelló).
Estudio Lamela.
1972-1973.**



Imagen 2.1.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.2. Situación.



Imagen 2.3.



Imagen 2.4.

EDIFICIO: Restaurante La Cúpula.

SITUACIÓN: Complejo Eurhostal. Av. Jai Alai, 2 Alcossebre (Castelló).

AUTOR: Estudio Lamela.

PROMOTOR: Eurhostal.

INICIO DEL PROYECTO: 1972

FINAL DE OBRA: 1973

CONSTRUCTOR: AGROMAN

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: Entramado de madera. / ENCOFRADO: Tablas de madera.

ESTRUCTURA: Superficies de doble curvatura anticlástica: Ocho paraboloides hiperbólicos. / LUZ: 24 m entre apoyos.



Imagen 2.5.

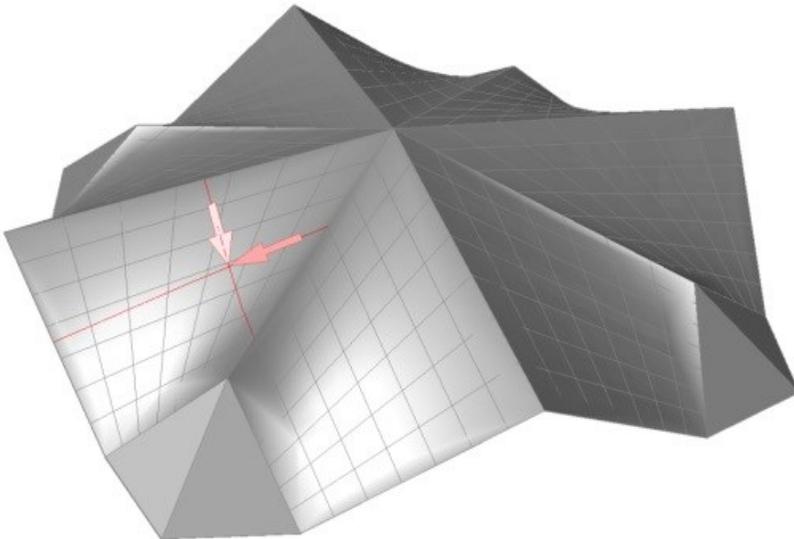


Imagen 2.6. Marquesina de acceso.

El Dr. Arquitecto Antonio Lamela Martínez (Madrid, 1926-2017) se tituló en 1957 en la Escuela de Arquitectura de Madrid, donde estableció su despacho profesional. Su trayectoria profesional destaca por la innovación técnica en el campo de la construcción, y por la integración mediante el “naturalismo arquitectónico”, precursor de la idea de sostenibilidad en la arquitectura (Rispa Márquez & Lamela de Vargas, 2005). Entre sus obras más importantes podemos destacar las torres de Colón en 1974, la reforma del Estadio Santiago Bernabeu en 1988 o la Terminal cuatro del Aeropuerto de Madrid-Barajas Adolfo Suárez, en el 2006, todas ellas en Madrid.

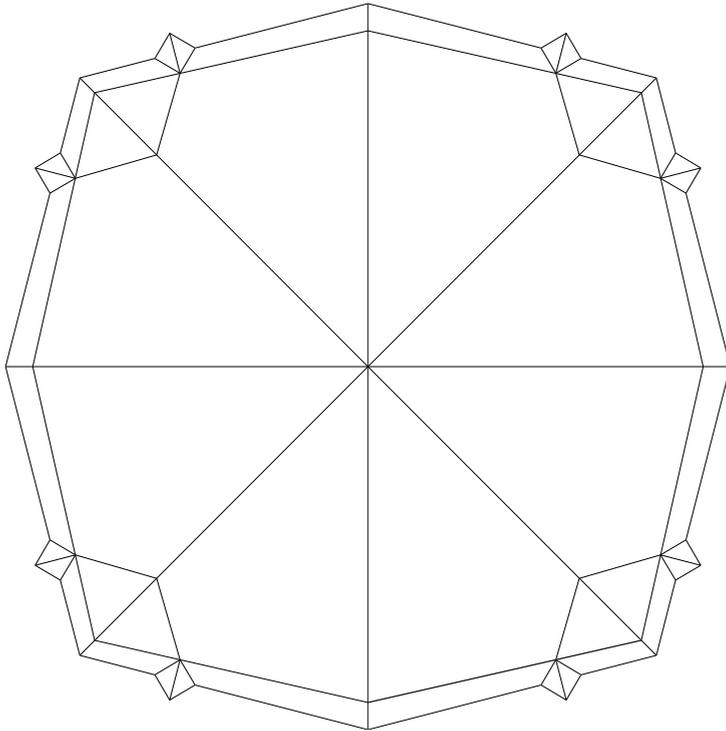
En la población costera de Alcossebre en Alcalà de Xivert (Castellón) el estudio Lamela es autor del complejo turístico Eurhostal (Imagen 2.1). Fue construido en la década de los 60 en la urbanización “Las Fuentes” el único polígono finalmente ejecutado de los cuatro destinados a establecer en la zona turismo de calidad. El conjunto lo forman varios pabellones comunicados entre sí mediante corredores abiertos cubiertos en una parcela ajardinada (Lamela Martínez, 1972). Entre las distintas edificaciones, destaca el restaurante “La Cúpula” (Arnau Paltor & Ros Andreu, 2011). Se trata de una cúpula de hormigón armado (Imagen 2.8) que tiene una altura en la clave de 5,35 m y una luz de 24 m entre los apoyos que están constituidos por cuatro láminas de hormigón triangulares plegadas (Imagen 2.7). La cúpula la conforman ocho secciones de paraboloides hiperbólicos con nervios de refuerzo en los bordes libres (Imagen 2.5)

Agradecimientos: Xevi Arnau Paltor. Arquitecto / Amparo Santos. Arquitecta. Ayuntamiento de Alcalà de Xivert. / Tatiana de Ledesma Talheimer. Complejo Eurhostal. / Fernando de Ledesma.

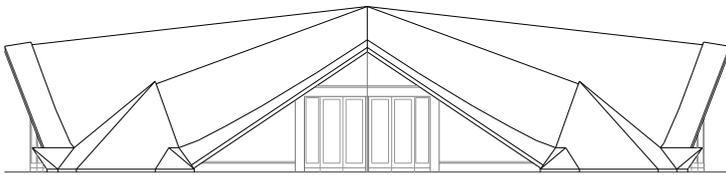


Fuente: Elaboración propia

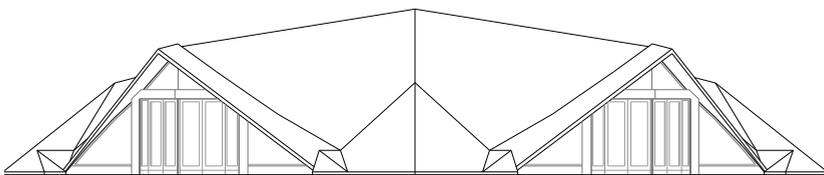
Imagen 2.7. Modelo tridimensional de la estructura.



Planta de cubiertas
0 5 10 m



Alzado norte y sur



Alzado este y oeste

Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.8. Planta y alzados.



Fuente: Archivo Parroquia.

Imagen 2.11.



Imagen 2.12.

EDIFICIO: Iglesia de Santa María.

SITUACIÓN: C/ Almassora, 48. Borriol (Castelló).

AUTOR: Francisco Segarra Bel (Arquitecto). / Félix Ribera Aparici (Aparejador).

PROMOTORES: Mossèn Pere Saborit. / Mossèn Samuel Esteve.

INICIO DEL PROYECTO: 1981

FINAL DE OBRA: 1983

CONSTRUCTOR: Carlos Vilarrocha.

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: tubular metálica. / ENCOFRADO: Tablas de madera.

ESTRUCTURA: Superficie de doble curvatura sinclástica: Casquete esférico suspendido. / LUZ: 21,50 m / ESPESOR de LOSA: 10 cm / TIRANTES: 12 X 2Ø40 mm.



Fuente: Archivo Parroquia.

Imagen 2.13.



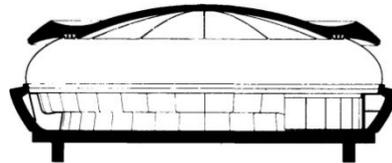
Imagen 2.14.

El arquitecto del templo es Francisco Segarra Bel (Albocàsser, 1944). Se tituló en 1970 en la Universidad de Barcelona, estableciéndose posteriormente en Castellón de la Plana. Es autor de otras obras de arquitectura sacra, tanto en nueva planta como restauración, como la Iglesia de San Cristóbal (1976) en Castellón de la Plana que, al igual que la Iglesia de Santa María, posee un carácter estructural singular (Bayarri Piñana, 2016)

La parroquia de San Bartolomé de Borriol se haya en la parte superior de la ladera en la que se sitúa el municipio. El nuevo templo nace de la necesidad en la población de un espacio de culto más accesible. El proyecto es iniciado por Mossèn Samuel Esteve, canónigo de Tortosa retirado y originario de Borriol, y se lleva a cabo con Mossèn Pere Saborit al cargo de la parroquia. La construcción del templo se financió mediante la venta del colegio de las religiosas y la construcción de viviendas y locales comerciales en manzana abierta en la misma parcela, que permitieron también acoger dependencias para uso de la parroquia.



Imagen 2.15. Vista exterior de los arcos.



Fuente: (Bellot Porta, 1980)

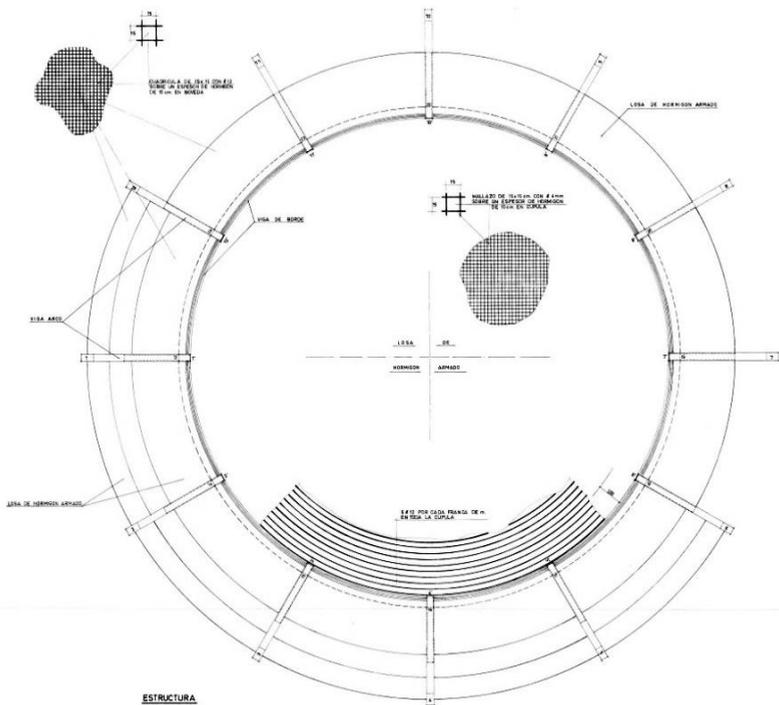
Imagen 2.16. Casa Bellot

La iglesia de Santa María es de planta circular, un esquema habitual tras el Concilio Vaticano II, en el que se subraya la participación del Pueblo en la Liturgia en torno al altar (Imagen 2.20). Por motivo probablemente funcional, el altar se ubica, en este caso, en un extremo en lugar de en el centro. La imagen del templo recuerda en su organicismo y modernidad al sistema prefabricado patentado, y utilizado en su propia vivienda, por el arquitecto valenciano Julio Bellot Porta, del estudio GODB (Imagen 2.16) (Bellot Porta, 1980).

La cubierta está constituida por una cúpula de sección esférica suspendida mediante tirantes de acero de doce arcos de hormigón armado dispuestos radialmente en el perímetro (Imagen 2.12). Está constituida por una lámina de hormigón armado de 10 cm de espesor que cubre una luz de 21,50 metros. El efecto flotante de la lámina se ve acentuado por el espesor del nervio perimetral de refuerzo, debido al contraste visual entre los conceptos de masa e ingravidez (Imagen 2.14).

Los doce arcos del perímetro de los que cuelga la cúpula simbolizan a los doce apóstoles, están formados por un cuarto de arco apoyado en el suelo y en su punto medio apoyado en un pilar inclinados. El muro de fachada, también de hormigón armado, se adapta a la curva de los arcos en mitad del perímetro de la iglesia o al plano inclinado de los apoyos en el restante (Imagen 2.15).

Todos los elementos de hormigón armado están impresos con la textura de las tablas de madera que se utilizaron como encofrado (Imagen 2.18). Una ventana corrida interrumpe la fachada del templo en todo el perímetro tanto en los muros curvos como en los planos inclinados. El espacio en el que cuelga la cubierta de los arcos también se cierra con un ventanal lineal perimetral (Imagen 2.21).



Fuente: (Segarra Bel, 1981)

Imagen 2.17. Planta de estructura.

En el Este uno de los pilares inclinados atraviesa el arco al que sostiene prolongándose hasta formar un campanario electrónico. En el proyecto original estaba formado por perfiles tubulares dispuestos en paralelo con forma de “U” a modo de órgano que llamase a los fieles a la ceremonia de la liturgia (Imagen 2.21). Finalmente, los tubos se dispusieron en forma de cruz tridimensional de modo que sirviese también de símbolo del templo (Imagen 2.9) (Segarra Bel, 1981).

La iglesia ha experimentado cambios tanto en fase de proyecto como tras su ejecución. El presbiterio se reubicó en el lado de la iglesia con fachada curva y se desplazó fuera de la cúpula de modo que no interrumpiese su percepción limpia. Tras el presbiterio y acogido por los arcos se encuentra la sacristía y la capilla del Santísimo Sacramento separadas de las naves por una gran vidriera inclinada, siguiendo a los apoyos de los arcos, que hace las veces de retablo.

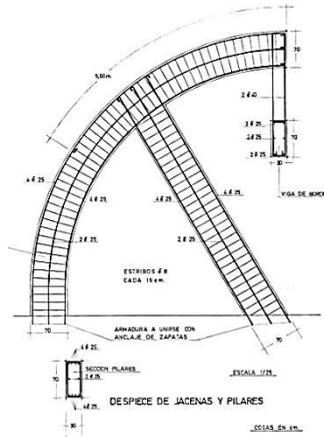


Fuente: Archivo Parroquia.

Imagen 2.18. Vistas de la construcción.

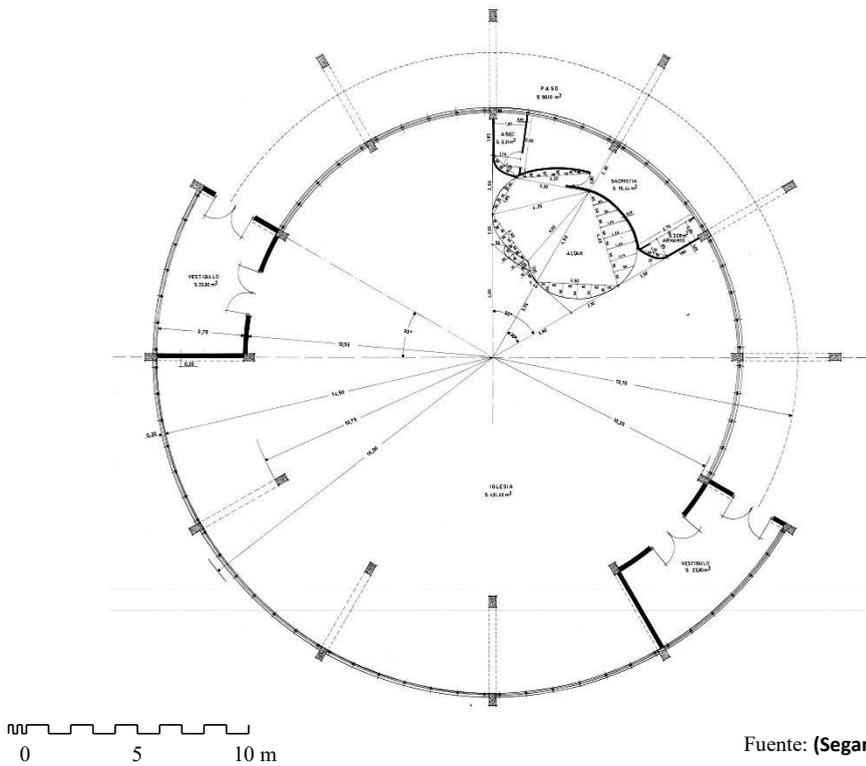
En posteriores reformas se ha ampliado la nave convirtiendo parte de la fachada inclinada en curva y modificando las entradas por razones funcionales. A pesar de que se han venido realizando labores de mantenimiento a cargo del arquitecto técnico Ángel Albert y del arquitecto Ángel M. Albert Esteve, la iglesia necesita en la actualidad de una intervención de rehabilitación en profundidad para resolver, sobre todo problemas de filtraciones a través del hormigón de cubierta y de las ventanas inclinadas de fachada. (Bernard, 2010)

Agradecimientos: Francisco Segarra Bel. Arquitecto. / Mn Pere Saborit. Archivo Iglesia Santa María. / Ángel M. Albert Esteve. Arquitecto. / Carlos Navarro Llopis. Arquitecto. Ajuntament de Borriol. / Ignacio Bernard.



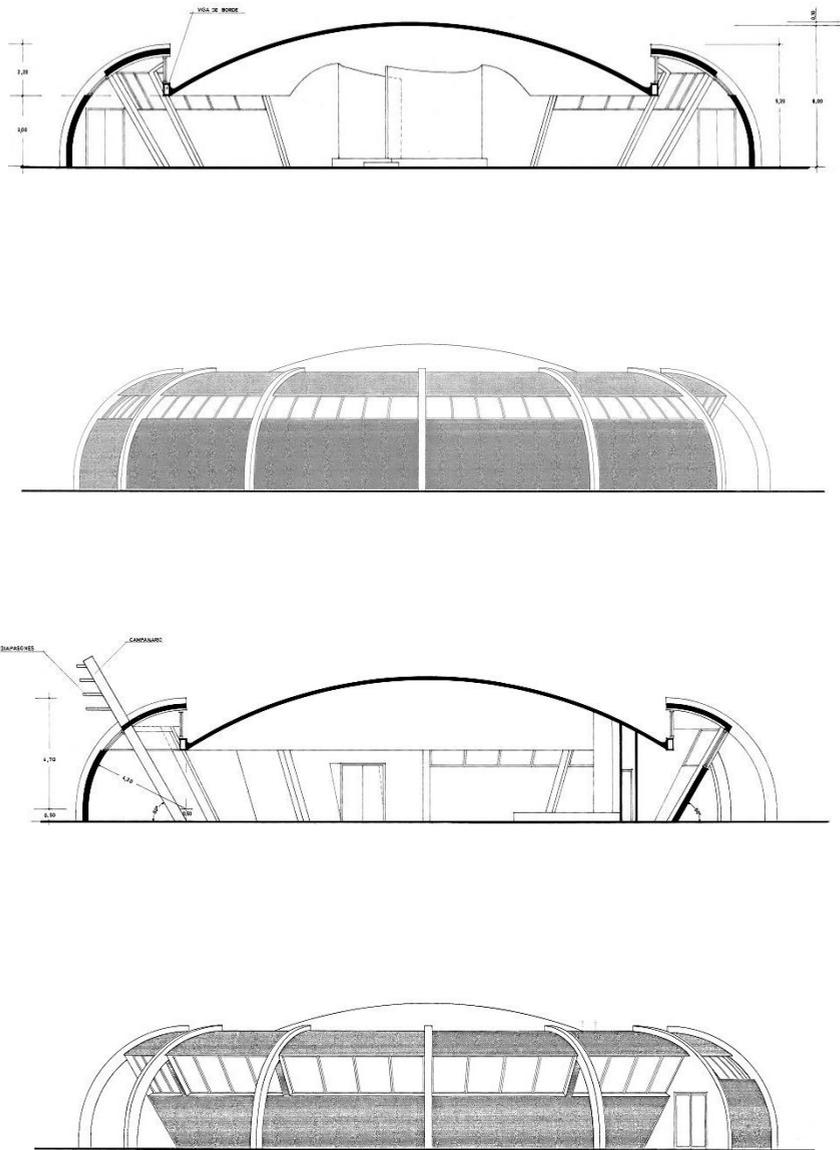
Fuente: (Segarra Bel, 1981)

Imagen 2.19. Plano de armado de arcos y tirantes.



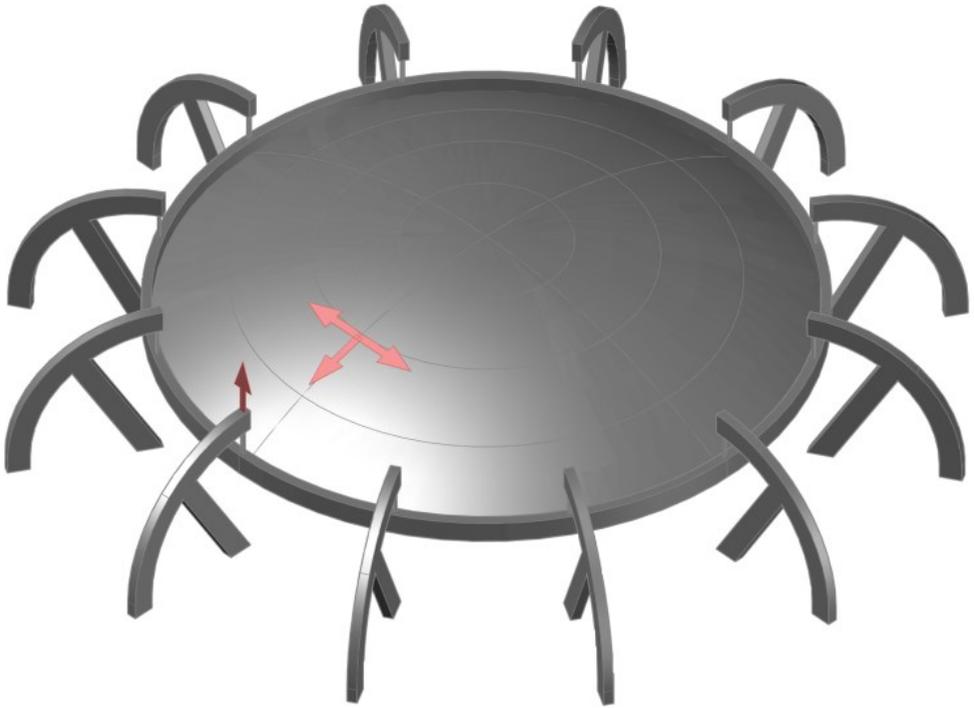
Fuente: (Segarra Bel, 1981).

Imagen 2.20. Planta.



Fuente: (Segarra Bel, 1981)

Imagen 2.21. Alzados y secciones.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.22. Modelo tridimensional de la estructura.

2.2.3. *Talleres del IES Politécnico.*

C. Cantó de Castàlia, 1. Castelló de la Plana.

**Luis M. Feduchi / José Ruiz-Castillo / Ricardo Urgoiti.
1963-1966.**



Imagen 2.23



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.24. Situación



Imagen 2.25.



Imagen 2.26.

EDIFICIO: Talleres del IES Politécnico.

SITUACIÓN: C. Cantó de Castalia, 1 (Castelló de la Plana).

PROMOTOR: Ministerio de Educación Nacional

PROYECTO: Luis M. Feduchi (Arquitecto). / José Ruiz-Castillo (Arquitecto cálculo). / Ricardo Urgoiti (Arquitecto cálculo).

INICIO DEL PROYECTO: 1964

FINAL DE OBRA: 1966

CONSTRUCTOR: Construcciones Laminares S.L.

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: tubular metálica. / ENCOFRADO: Tablas de madera en la dirección de las generatrices.

ESTRUCTURA: Superficie anticlástica Paraguas: 4 paraboloides hiperbólicos con soporte central. / LUZ: 13,50 m. / ESPESOR DE LA LOSA: 7,5 cm.

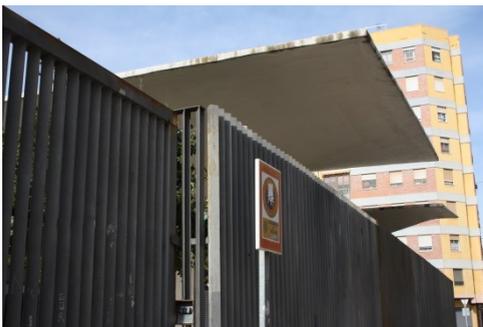
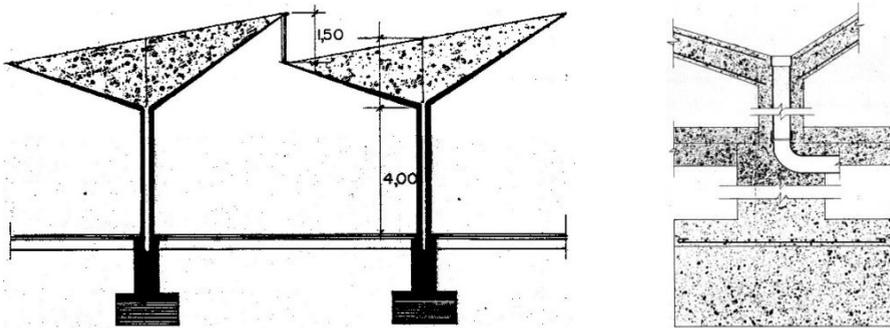


Imagen 2.27.



Imagen 2.28.

Luis Martínez-Feduchi Ruiz (Madrid, 1901-1975) fue el autor del proyecto de la Escuela de Maestría Industrial de Castellón de la Plana, encargado en 1963 por el Ministerio de Educación Nacional. Se tituló la Escuela de Arquitectura de Madrid en 1927. Su estilo evolucionó rápidamente de una primera época clasicista, propia de los inicios de la dictadura de Franco al racionalismo. Una de sus obras más célebres es el edificio Carrión (1931), más conocido como Capitol, en la madrileña Gran Vía. Lo diseñó junto a Vicente Eced y no está exento del influjo del expresionismo de Erich Mendelsohn. Otra de las características que le definen es el diseño minucioso de los detalles, que se refleja también en los muebles que diseñó para la empresa de importación de muebles ROLACO, cuya dirección compaginaba con su profesión además de con la docencia y la investigación.



Fuente: (Martínez-Feduchi Ruiz, 1963)

Imagen 2.29. Sección y detalle de bajante de pluviales por el pilar.

De la Escuela de Maestría Industrial, de estilo racionalista, destaca el edificio de los talleres (Margaix Arnal, 2012). Lo forman dos crujías de tres paraguas rectangulares cada una. Cada paraguas está constituido por una lámina de hormigón armado de 9 m por 13,50 m (Imagen 2.32) y 7,5 cm de espesor formado por cuatro secciones de paraboloides hiperbólicos, que conducen las aguas hacia un soporte central de hormigón cuadrado de 40 cm de lado, con la bajante de pluviales embebida en su interior. Los paraguas se inclinan hacia el mismo lado con un desnivel de 2,3 metros, dejando un hueco de 1,5 m de altura (Imagen 2.29) entre las dos crujías de paraguas. Esta abertura permite la iluminación homogénea de los talleres mediante lucernarios en dientes de sierra, tipología fabril apropiada para la formación profesional desempeñada en ellos (Imagen 2.30).

El arquitecto emplearía, junto a su hijo Ignacio Feduchi Benlliure, la misma tipología estructural además de en el gimnasio del Instituto Español de Lisboa Giner de los Ríos en 1971, en la Escuela de Cristo Rey de Valladolid (1965). En este último ejemplo, los talleres están formados por un número considerablemente mayor de paraguas y sitúa la línea de fachada en los soportes centrales de los paraguas exteriores, dejando la lámina de hormigón en voladizo, visible en todo el perímetro.

En el Instituto de Maestría de Castellón, la fachada que cerraba perimetralmente los talleres impedía la percepción desde la calle de la estructura, incluso a pesar de que los muros de ladrillo de la fachada no llegaban hasta la lámina de hormigón. La lámina se revelaba desnuda en el interior con el estampado del encofrado de tablas de madera de 150 por 5 cm usado para su ejecución (Martínez-Feduchi Ruiz, 1963). En 2001 la escuela es demolida y reconstruida, conservando únicamente la estructura de los paraguas, bajo los cuales se aloja el volumen exento de la cafetería, que permite la lectura limpia de la estructura sin ningún obstáculo (Imagen 2.23).



Fuente: Archivo Alfonso Betoret.

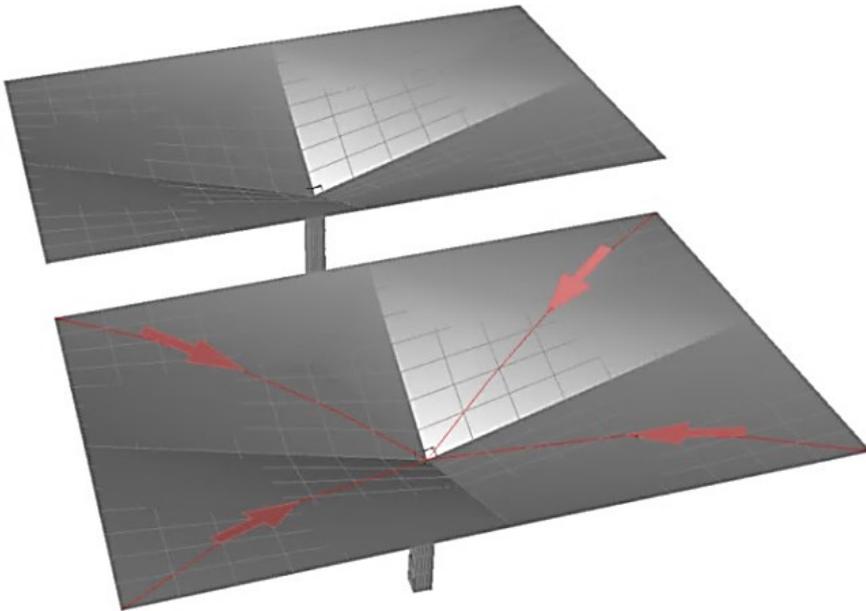
Imagen 2.30. Vistas previas a la reforma.

Los hiperboloides parabólicos por su estructura de membrana y doble curvatura están solicitados básicamente por esfuerzos de membrana. Sus escasos espesores y el uso de una malla simple de acero como refuerzo reducen las cargas muertas de la estructura

permitiendo cubrir grandes luces con una gran eficiencia en el uso de materiales. La complejidad en su ejecución requiere del establecimiento de procesos constructivos muy definidos, de una férrea planificación y de un exigente control en la construcción, además del uso de mano de obra con una formación específica.

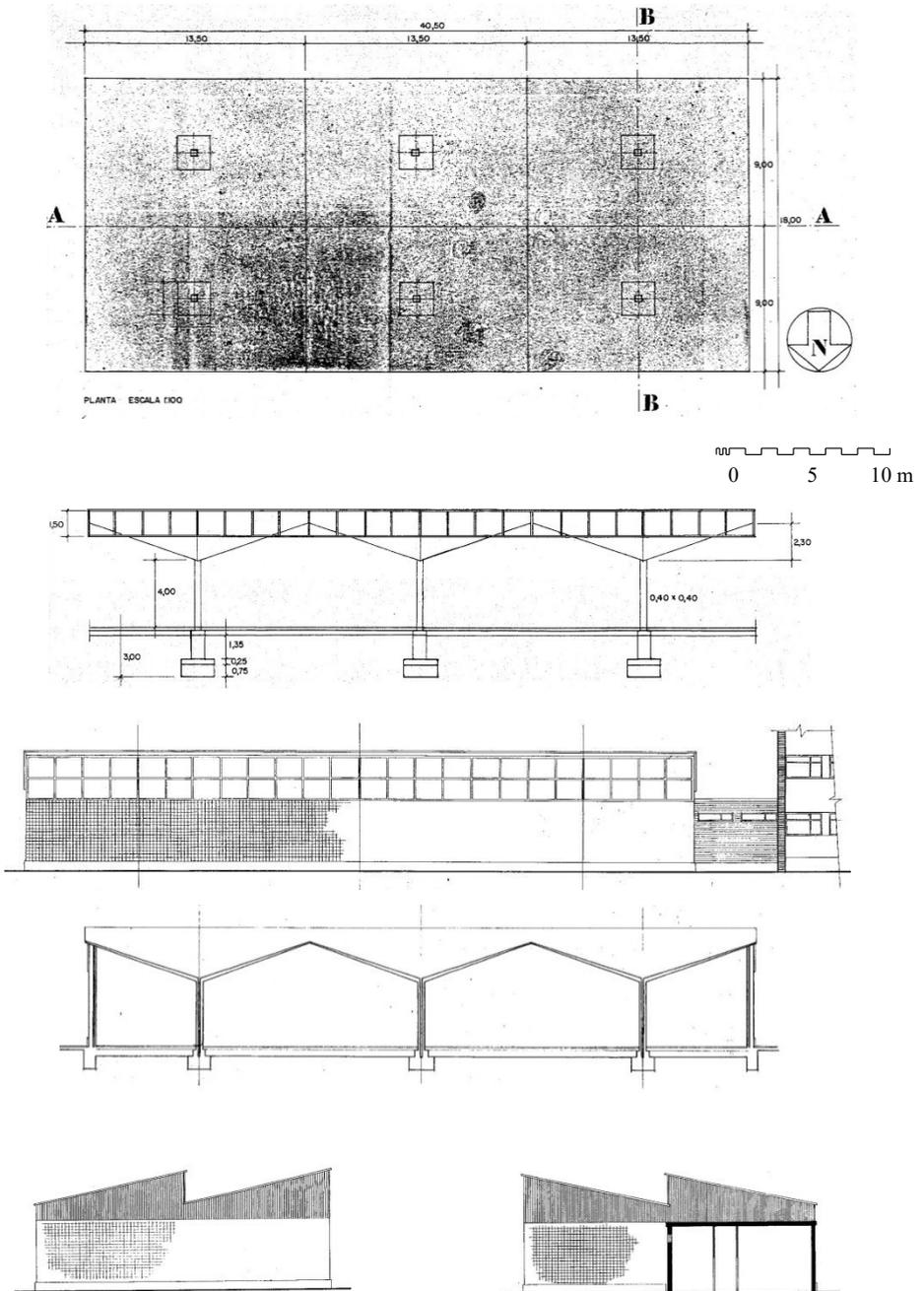
La construcción de los paraguas se encargó a la empresa Construcciones Laminas S.L. fundada por los arquitectos José Ruiz-Castillo y Ricardo Urgoiti, especializados en la construcción de esta tipología y en su diseño y cálculo. Se formaron junto a Félix Candela en su empresa Cubiertas Ala, en México gracias a una beca de la Fundación Juan March (García García, *Paraboloides hiperbólicos en España. Las aplicaciones industriales*, 2015). La Guerra Civil en España interrumpió la intención de Félix Candela estudiar la evolución hasta los años 30 de las estructuras laminares de hormigón armado en Alemania, para lo que contaba con una beca de la Real Academia de las Bellas Artes de San Fernando. Tras la guerra española, Félix Candela se exilió a México donde avanzó en la investigación sobre esta tipología estructural, innovando diseños y sistemas de cálculo para los que se ayudó con el estudio de maquetas a escala, convirtiéndose en uno de los referentes a nivel mundial en este tipo de estructuras.

Agradecimientos: Antonio Margaix Arnal. Historiador. / Ignacio Feduchi Benlliure. Arquitecto. Archivo. / Alfonso Betoret Montón. Archivo fotográfico. / IES Politécnic. Castelló de la Plana. / Soledad Vilches González. Arquitecta. Unidad Técnica de la Conselleria de Educación en Castellón.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.31. Modelo tridimensional de la estructura.



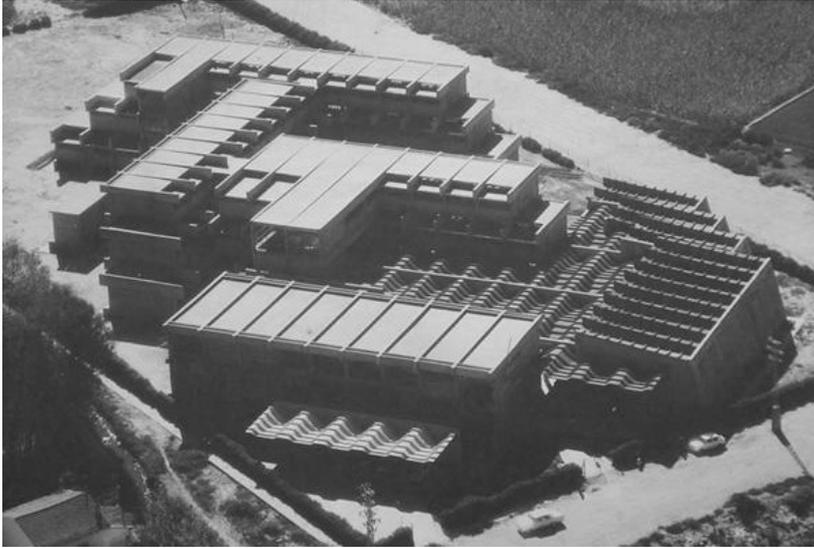
Fuente: (Martínez-Feduchi Ruiz, 1963)

Imagen 2.32. Plantas, alzados y secciones.

2.2.4. *IES Joaquín Sorolla.*

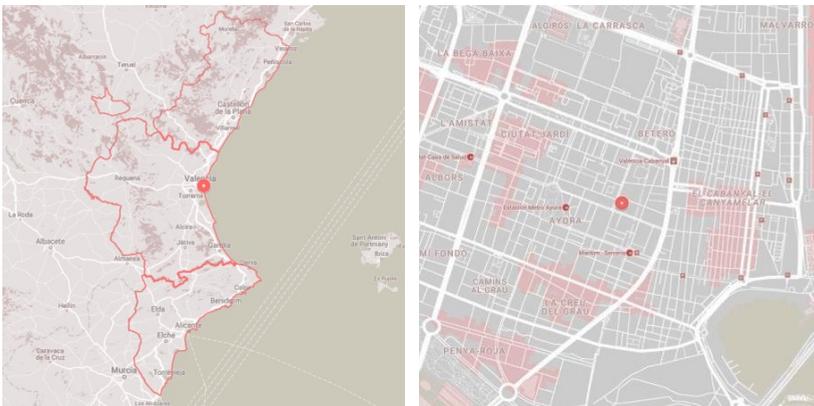
C. José María Haro, 2. València.

**José R. Azpiazu / Ramón Argüelles / Ignacio García.
1964-1967.**



Fuente: (www.coacv.org, s.f.)

Imagen 2.33. Vista aérea histórica.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.34. Situación.



Imagen 2.35. Porches en voladizo.



Fuente: (www.coacv.org, s.f.)

Imagen 2.36. Gimnasio.

EDIFICIO: IES Sorolla.

SITUACIÓN: C. José M^a Haro, 2. (València).

PROMOTOR: Ministerio de Educación Nacional.

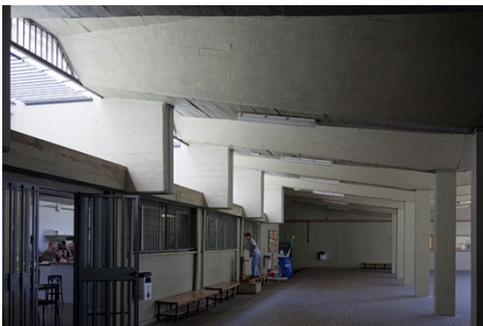
PROYECTO: José R. Azpiazu Ordóñez (Arquitecto). / Ramón Argüelles Álvarez (Ingeniero). / Ignacio García Badell (Ingeniero).

INICIO DEL PROYECTO: 1964

FINAL DE OBRA: 1967

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: Entramado de madera. / ENCOFRADO: Tablas de madera.

ESTRUCTURA: Lámina plegada hormigón. / LUZ PÓRTICOS: 20m; / VOLADIZOS: 6,50 m / Espesor: 6-12 cm.



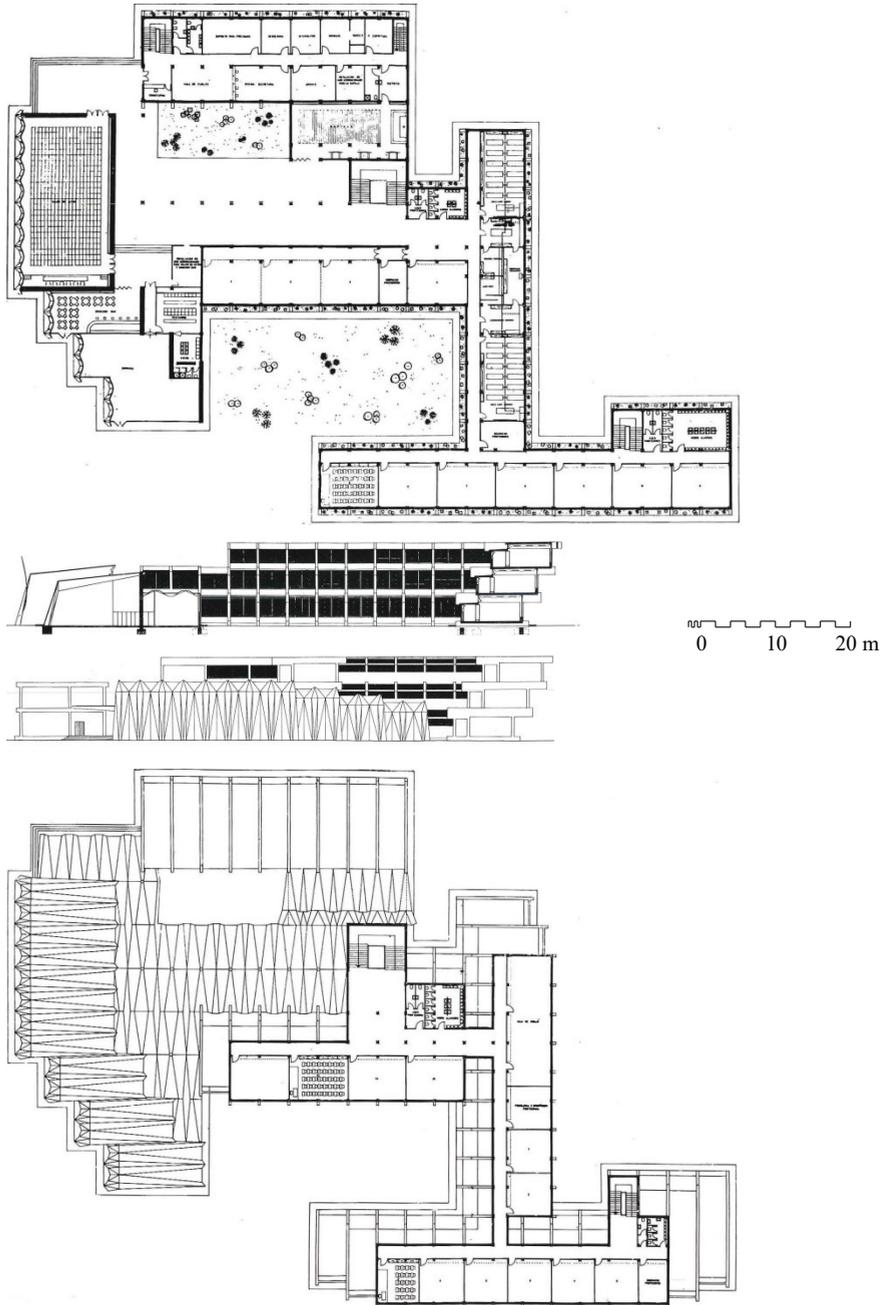
Fuente: (www.coacv.org, s.f.)

Imagen 2.37. Porches aporricados.



Fuente: (www.coacv.org, s.f.)

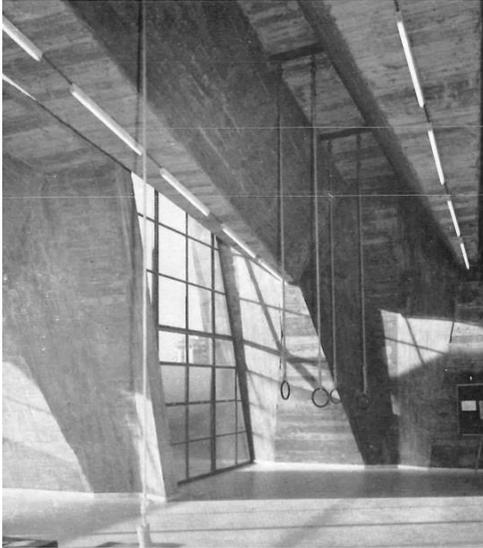
Imagen 2.38. Marquesina en voladizo.



Fuente: (Azpiazu Ordóñez, Argüelles Álvarez, & García Badell, Instituto Sorolla en Valencia, 1969)

Imagen 2.39. Plantas y alzados.

El Dr. Arquitecto José Ramón Azpiazu (Soto Iruz, Cantabria 1927-2009) se tituló en la Escuela de Arquitectura de Madrid en 1954. En 1964 recibió el encargo del Instituto Nacional de Enseñanza para proyectar el Instituto de Segunda Enseñanza Sorolla. El proyecto forma parte del programa nacional de construcción de centros docentes en las ciudades para acoger el aumento de población, producido por el éxodo rural de la posguerra. En el caso de Valencia, este programa se superpone al Plan de la Riada de 1957 de reconstrucción de las infraestructuras (Leyva Huapaya, 2016).

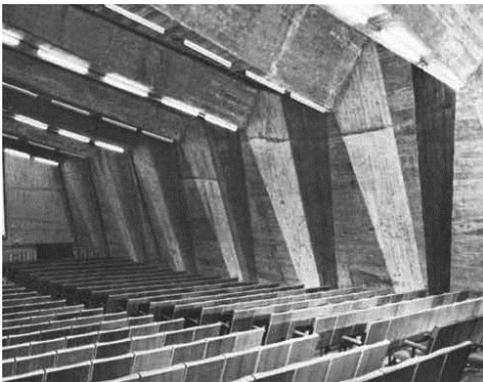


Fuente: (Azpiazu Ordóñez, Argüelles Álvarez, & García Badell, Instituto Sorolla en Valencia, 1969)

Imagen 2.40. Gimnasio.



Imagen 2.41. Porches.



Fuente: (Azpiazu Ordóñez, Argüelles Álvarez, & García Badell, Instituto Sorolla, Valencia (España), 1969)

Imagen 2.42. Salón de actos.



Imagen 2.43. Capilla.

Azpiazu había utilizado previamente las láminas de hormigón en otras dos obras. En primer lugar, en el canódromo de Carabanchel (1960-1962), en colaboración con el arquitecto Pedro Pinto y del Ingeniero Eduardo Torroja. Éste último repetiría en la cubierta del canódromo el esquema estructural que utilizó en la del hipódromo de la Zarzuela 15 años antes, usando, en esta ocasión, una lámina plegada no desarrollable y de inercia variable, de hormigón armado en lugar de las características secciones de hiperboloide del hipódromo. Azpiazu hizo uso también de las láminas de hormigón armado en la Iglesia de Nuestra Señora de Guadalupe (1962-1965), junto a los arquitectos Enrique de la Mora y Félix Candela y el ingeniero José A. Torroja Cavanillas. En este caso utilizó ocho paraboloides hiperbólicos apoyados en cuatro pilares y en láminas plegadas triangulares dispuestas en el perímetro. Posteriormente, en 1968, hizo uso de los paraboloides hiperbólicos con forma de paraguas en la nave para bombonas de butano Butsir, en la carretera de San Martín de la Vega (Madrid).

El Instituto de Segunda Enseñanza Sorolla se construye en el camino de Algirós, en medio de la huerta de Valencia, con capacidad para 1.000 alumnos de los Poblats Marítims de la ciudad. Tanto para la estructura como los cerramientos del instituto se recurre al hormigón armado desnudo por motivos económicos, dotando, a la vez, de gran expresividad al conjunto (Azpiazu Ordóñez, 1971). El complejo está formado por varios volúmenes. Las alas docentes se desarrollan en tres plantas liberando terreno para las pistas deportivas sin necesidad de recurrir a ascensores (Misfut García, 2002). Para aprovechar la iluminación natural, las aulas están orientadas a sureste y laboratorios y aulas de dibujo a noreste. Las distintas plantas están escalonadas, retranqueadas 2 metros, tanto en planta como sección, generando voladizos de protección solar y patios (Imagen 2.39). Los suelos de las aulas se apoyan sobre vigas de gran canto mientras que los techos de los pasillos cuelgan de ellas dejando espacio en la parte superior de las aulas para permitir la iluminación y ventilación transversales.

El salón de actos, bar y gimnasio requieren grandes luces y buenas condiciones acústicas (45). Para cubrirlos se elige un pórtico formado por lámina plegada no desarrollable y de inercia variable de hormigón armado en muro inclinado y en cubierta (Imagen 2.47). El pórtico se encuentra empotrado en el suelo y con apoyo deslizante en el otro extremo sobre un muro de hormigón, cubriendo una luz de 20 m con un espesor entre 6 y 12 cm. El apoyo deslizante garantiza que no se transmitan a la coronación del muro esfuerzos horizontales, fruto de la inclinación de la fachada de lámina plegada y de las cargas de viento. Las rigidizaciones en la parte superior de la lámina permite absorber los esfuerzos de flexión en los tramos planos de las láminas de cubierta. Los bordes laterales libres de estos pórticos poseen mayor espesor como refuerzo a las mayores sollicitaciones. El hormigón queda visto como acabado con el estampado de las tablillas de madera del encofrado. La geometría de la lámina plegada simplificó la labor de desencofrado.

El vestíbulo del instituto está formado por paraguas invertidos formados por láminas plegadas y apoyados en pilares de 40 x 40 cm con la bajante de pluviales alojada en su núcleo (Imagen 2.46). El eje de pilares está arriostrado transversalmente en su parte

superior mediante un tímpano de hormigón armado con articulación en la unión de cada paraguas de modo que los módulos no se transmitan esfuerzos de flexión. Los paraguas están formados por láminas triangulares contrapuestas, la limatesa plana y la limahoya inclinada hacia al soporte, unidas por láminas trapezoidales. Se observan solicitaciones equivalentes de ménsula, de tracción en limatesas y de compresión en limahoyas. En sentido transversal esfuerzos de compresión tipo arco en láminas planas e inclinadas de modo más intenso cerca de los soportes y de tracción tipo cable en lámina inferior mayores cerca de los bordes (Fenollosa Forner & Cabrera Fausto, 2019).

El aparcamiento repite el mismo esquema del vestíbulo, pero con sólo un vuelo de 6,50 m en uno de los lados y un pequeño vuelo en el otro que compensa la flexión en el apoyo rígido, en este caso un muro en lugar de pilares. El borde libre, en ambos casos, está quebrado al modo de la cubierta del canódromo de Carabanchel.

Agradecimientos: Andrea Leyva Huapaya. Arquitecta.



Fuente: (Azpiazu Ordóñez, Argüelles Álvarez, & García Badell, Instituto Sorolla en Valencia, 1969)

Imagen 2.44. Láminas en construcción y terminadas.

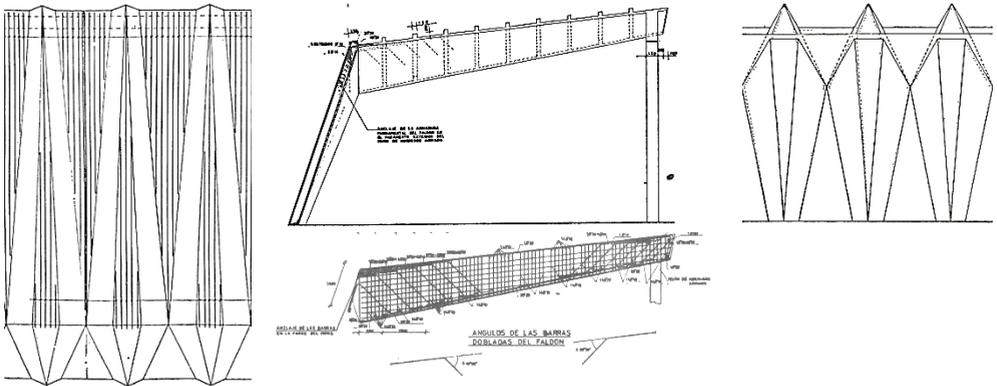


Imagen 2.45. Estructura en pòrtico.

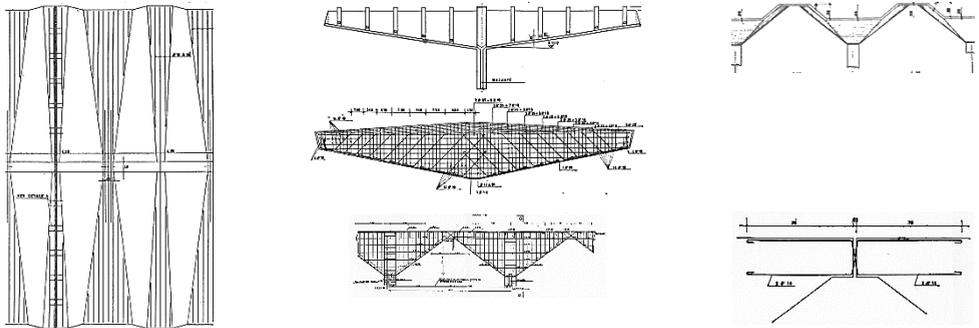
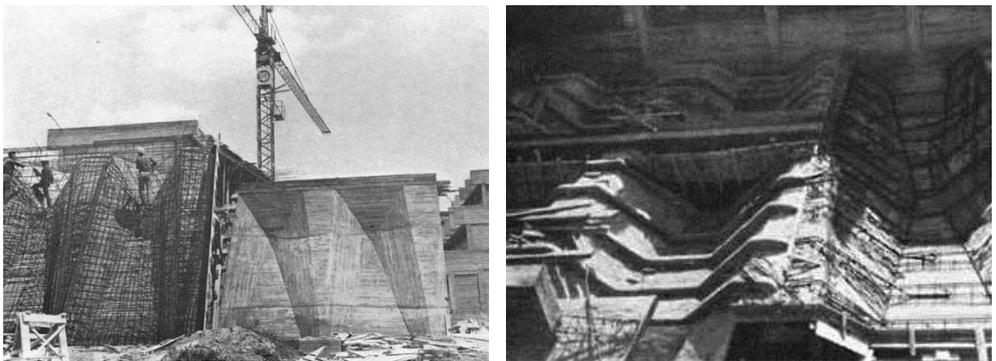


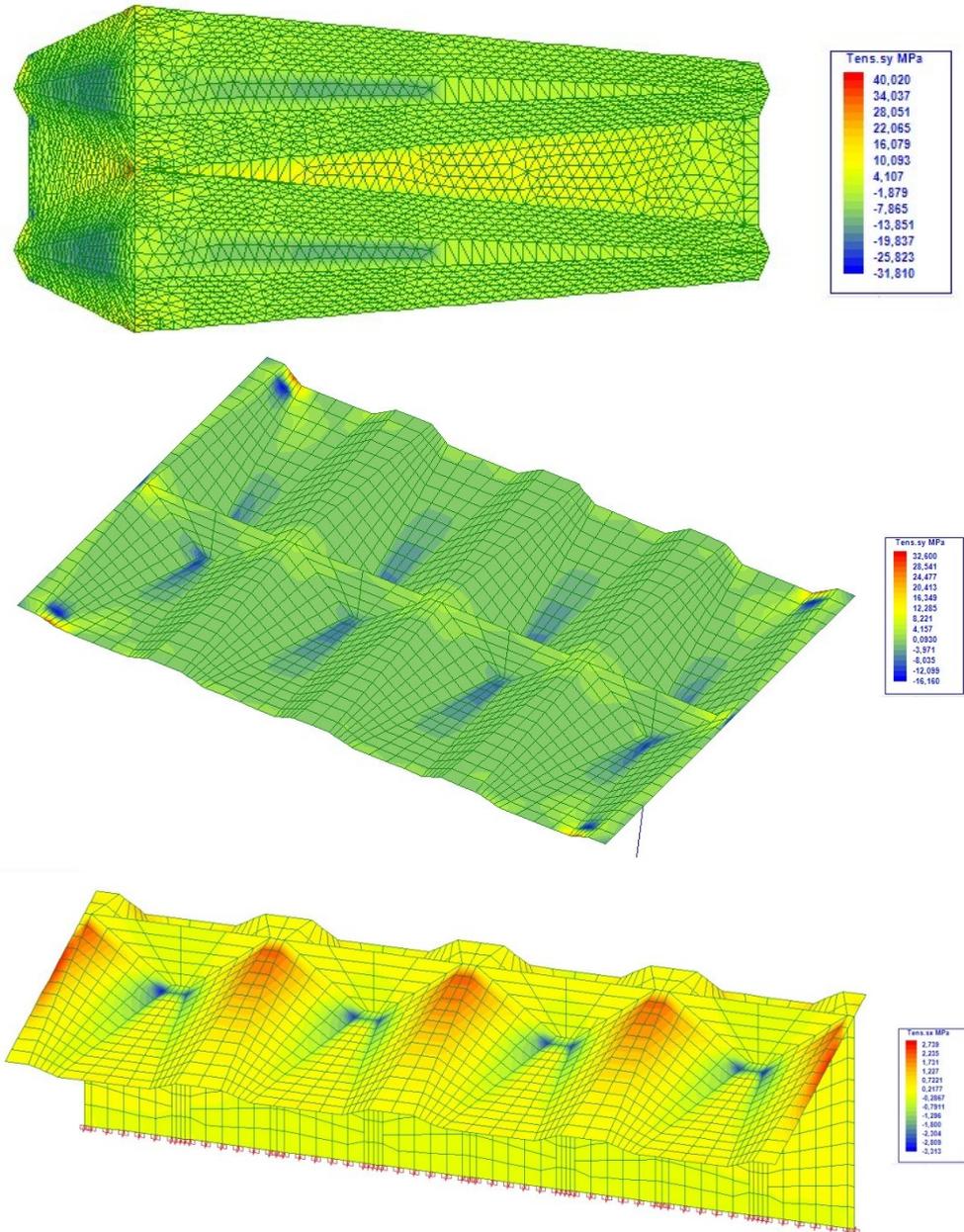
Imagen 2.46. Estructura en voladizo.

Fuente: (Azpiazu Ordóñez, Argüelles Álvarez, & García Badell, Instituto Sorolla en Valencia, 1969)



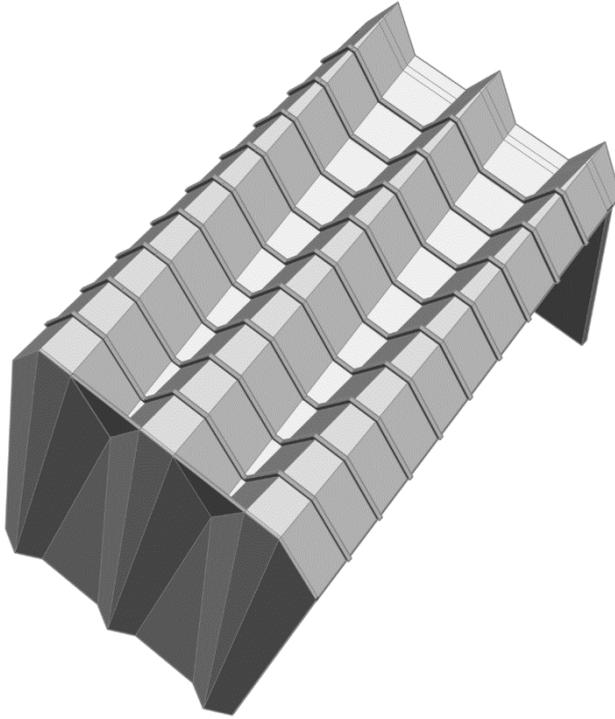
Fuente: (Azpiazu Ordóñez, Argüelles Álvarez, & García Badell, Instituto Sorolla en Valencia, 1969)

Imagen 2.47. Vistas durante la construcción.



Fuente: (Fenolosa Forner & Cabrera Fausto, La versatilidad de las láminas plegadas, 2019)

Imagen 2.48. Gráfica de tensiones normales en estructura porticada y en voladizo.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.49. Modelo tridimensional de la estructura del pórtico.

2.2.5. *Edificio de acceso al Oceanogràfic.*

C. Eduardo Primo Yúfera, 1B.

Félix Candela / Carlos Fernández Casado S.L.

1996-2002.



Fuente: Archivo Carlos Fernández Casado S.L.

Imagen 2.50.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.51. Situación.



Fuente: Archivo Carlos Fernández Casado S.L.

Imagen 2.52.



Fuente: (Martínez Martín, 2011)

Imagen 2.53.

EDIFICIO: Edificio de acceso Oceanográfico.

SITUACIÓN: C. Eduardo Primo Yúfera, 1B. València. (València).

PROMOTOR: Ciutat de les Arts i de les Ciències.

PROYECTO: Félix Candela (Arq.). /Carlos Fernández Casado S.L. (Ing.).

INICIO DEL PROYECTO: 1996

FINAL DE OBRA: 2002

CONSTRUCTOR: UTE Parque Oceanográfico (ACS, SEDESA y FCC).

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: Tubular metálica y vigas de madera en celosía. / ENCOFRADO: tablas de madera.

ESTRUCTURA: Superficie de doble curvatura anticlástica: 3 secciones de paraboloides hiperbólicos. / LUZ: 28,60 m. / ESPESOR: 12cm.



Imagen 2.54.



Fuente: Archivo Carlos Fernández Casado S.L.

Imagen 2.55.

El proyecto de Ciudad de las Ciencias de Valencia nació en 1989. Santiago Calatrava presentó tres años después el proyecto, que incluye un planetario, un museo de la ciencia y una torre de telecomunicaciones, que era el edificio más representativo del grupo. Tras un cambio de gobierno en 1995, la torre fue sustituida por un auditorio en 1996 (Sanchís Sampedro, 2011). Tras la incorporación del Palau de les Arts el complejo pasó a denominarse Ciutat de les Ciències i de les Arts, junto al que se levantó el Parque Oceanográfico de València.



Fuente: (Martínez Martín, 2011)



Fuente: (Sanchís Sampedro, 2013)



Fuente: (Martínez Martín, 2011)



Fuente: Archivo Carlos Fernández Casado S.L.



Fuente: Archivo F.J. Sanchís Sampedro.

Imagen 2.56. Vistas durante la construcción.

Félix Candela se encarga del Proyecto del Parc Oceanogràfic, aunque fallece en 1997 antes de ver ejecutados sus dos edificios más representativos realizados con láminas de hormigón, tipología en la que Candela era un maestro. El relevo lo toma el arquitecto Tomás Llavador y la empresa Civis Project Management, creada para llevar a cabo el proyecto del parque. La empresa de Ingeniería de Madrid Carlos Fernández Casado S.L. fue la responsable del desarrollo del Edificio de Acceso (Carlos Fernández Casado & Candela Outeriño, 2000).

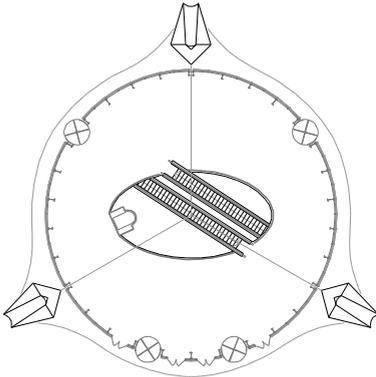


Imagen 2.57. Planta Baja.

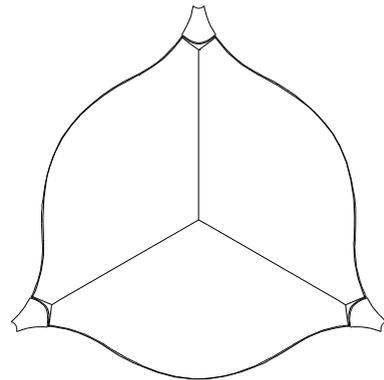


Imagen 2.58. Planta Cubiertas.

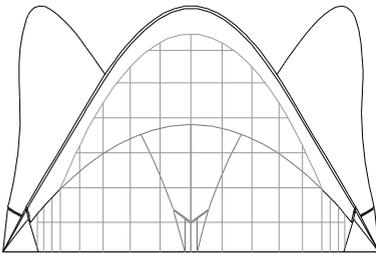


Imagen 2.59. Alzado.

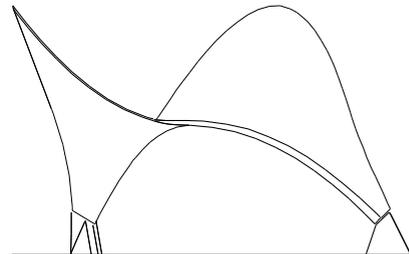
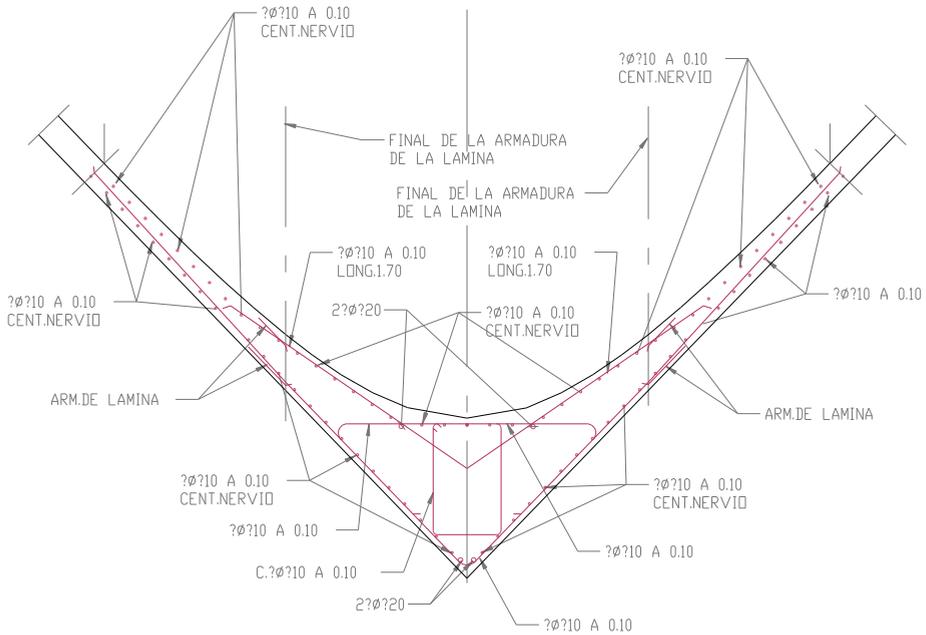


Imagen 2.60. Sección.

Fuente: Sanchís Sampedro, F.J. (2013)

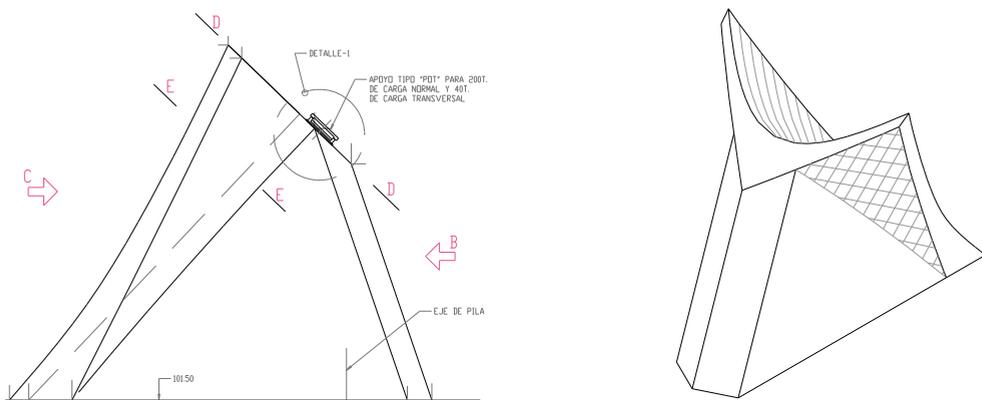
El edificio está formado por una lámina de hormigón armado formada por tres secciones simétricas de paraboloides hiperbólicos (Imagen 2.63). Cada una de ellas está limitada por dos planos verticales convergentes en el centro y una superficie curva que secciona el borde libre. La lámina posee un espesor de 12 cm y armado de doble capa. Cubre una luz de 28,60 m entre los apoyos que están articulados (Imagen 2.62). La anchura del edificio es de 34 m y tiene una altura en el centro de 11 m y de 21 metros en los voladizos (Imagen 2.57-Imagen 2.60).

Agradecimientos: Carlos Fernández Casado S.L. Oficina de proyectos. Archivo. / Francisco J. Sanchís Sampedro. Arquitecto.



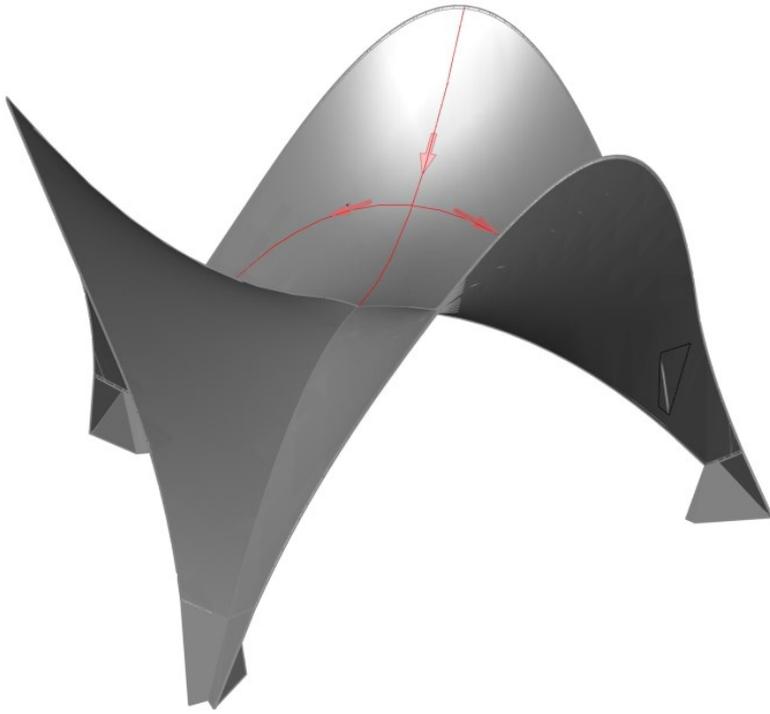
Fuente: (Carlos Fernández Casado SL, 2000)

Imagen 2.61. Sección y armado de la lámina.



Fuente: (Carlos Fernández Casado SL, 2000)

Imagen 2.62. Detalle de apoyo articulado.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.63: Modelo tridimensional de la estructura.

2.2.6. ***Restaurante Oceanogràfic.***

C. Eduardo Primo Yúfera, 1B.

Félix Candela / Carlos Lázaro / Alberto Domingo.

1996-2002.



Fuente: Archivo Carlos Lázaro Fernández.

Imagen 2.64.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.65. Situación.



Fuente: Archivo F.J. Sanchis Sampedro.

Imagen 2.66.



Fuente: (Lázaro Fernández, 2019)

Imagen 2.67.

EDIFICIO: Restaurante Oceanogràfic.

SITUACIÓN: C. Eduardo Primo Yúfera, 1B. València. (València).

PROMOTOR: Ciutat de les Arts i de les Ciències.

PROYECTO: Félix Candela (Arquitecto). / Alberto Domingo (Ingeniería) / Carlos Lázaro (Ingeniería).

INICIO DEL PROYECTO: 1996

FINAL DE OBRA: 2002

CONSTRUCTOR: UTE Parque Oceanográfico (ACS, SEDESA y FCC).

ESTRUCTURA: Superficie de doble curvatura anticlástica: 8 secciones de paraboloides hiperbólicas. / LUZ: 35,50 m. / ESPESOR: 6 cm.



Fuente: (Sanchis Sampedro, 2013)

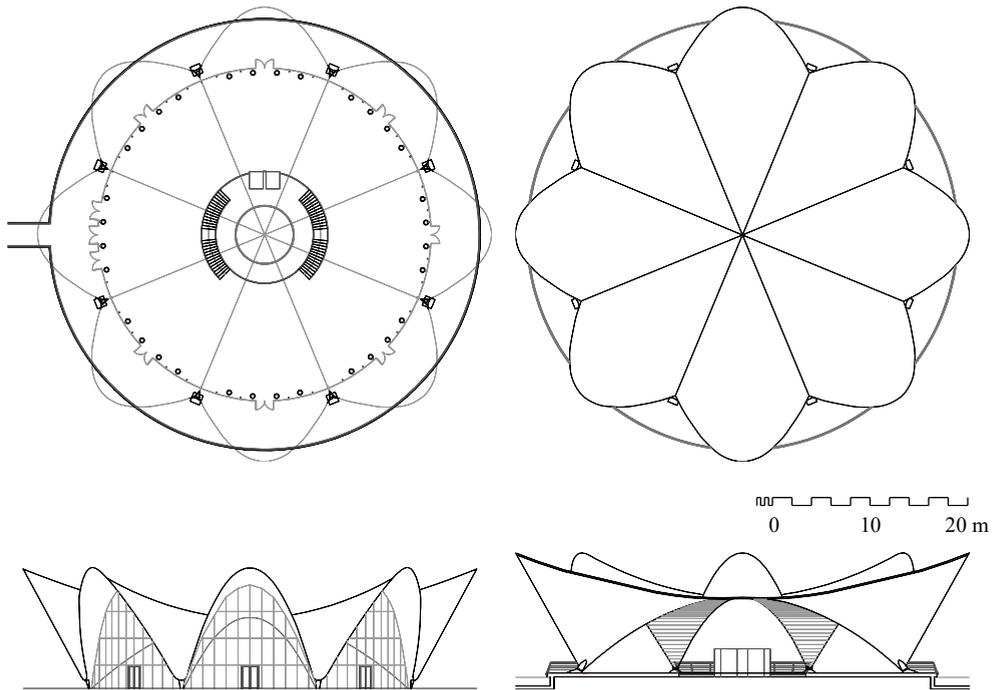
Imagen 2.68.



Fuente: (Lázaro Fernández, 2019)

Imagen 2.69.

La Ciutat de les Ciències i de les Arts está constituida por el Palau de les Arts, el Hemisfèric, el Museu de les Ciències, el Umbracle y una vez pasado el Pont de l'Assut de l'Or, el Àgora, todos ellos obras del arquitecto valenciano Santiago Calatrava. Junto a él se encuentra el Parque Oceanogràfic, dispuesto paralelo al lecho del Río Turia, cercano a su desembocadura en el antiguo camino de las Moreras. El Oceanogràfic contiene 42.000 litros de agua en recintos dispuestos a lo largo de los 110.000 m² del parque, convirtiéndolo en el más grande de Europa. Félix Candela proyectó sus dos edificios más característicos: el edificio de acceso y la cubierta del restaurante submarino (Domingo, Lazaro, & Serna, 1999).



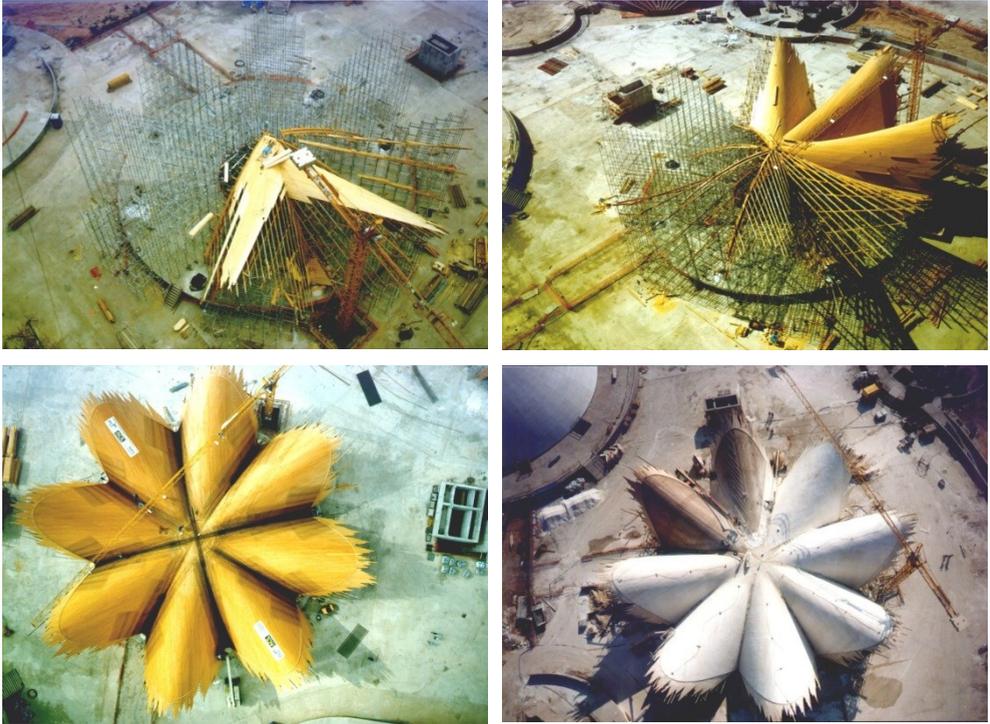
Fuente: (Sanchis Sampedro, 2013)

Imagen 2.70. Plantas, alzados, sección.

Félix Candela Outeriño (Madrid, 1910-Durham, 1997) se titula arquitecto en Madrid en 1935. Su investigación sobre láminas de hormigón armado parte de la realizada por Eduardo Torroja y por los alemanes Dischinger, Finsterwalder o Pucher.

Los tres ingenieros alemanes trabajaron para la empresa Dyckerhoff & Widmann GesmbH. Franz Dischinger y Ulrich Finsterwalder ocuparon sucesivamente el cargo de director técnico de la empresa. Los tres destacaron por sus aportaciones en el campo de las láminas de hormigón armado, en el caso de Adolf Pucher de las de doble curvatura. Dyckerhoff & Widmann GesmbH, patentó el sistema Zeiss-Dywidag utilizado por

Dischinger para la construcción del planetario de Jena (1926), en el que cubre una luz de 40 m con una lámina de 6 cm de espesor. Eduardo Torroja superaría en 1933 este reto en el Mercado de Algeciras cubriendo los 40,8 m con un espesor de lámina de 9 cm. En su investigación en el campo de las láminas de hormigón armado, Torroja se apoyaría en los métodos de cálculo Zeiss-Dywidag y en la tesis doctoral de Ulrich Finsterwalder (1930) sobre el cálculo de cáscaras de hormigón.



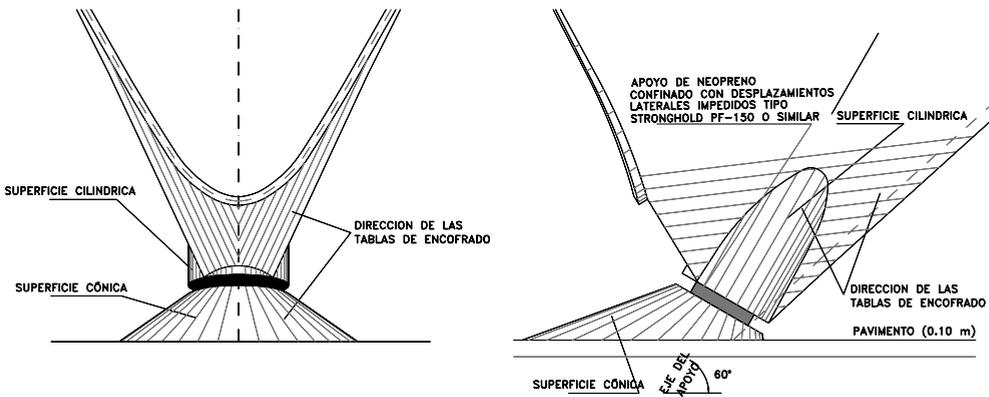
Fuente: (Lázaro Fernández, 2019)

Imagen 2.71. Vistas de la construcción.

En México, exiliado tras la guerra civil española, Félix Candela encontró las condiciones ideales para el desarrollo de su investigación en el campo de las láminas de hormigón armado. Por una parte el bajo coste de la mano de obra, el desarrollo económico y el gusto por la modernidad de las décadas 50-60 del siglo XX, y la escasa normativa existente para el cálculo de láminas de hormigón armado, favorecieron en gran medida el florecimiento de este tipo de estructuras en México y en general en Latinoamérica, EE.UU y en Europa, de modo particular en España.

En 1950 fundó junto a su hermano Antonio y los arquitectos Fernández Rangel la constructora Cubiertas Ala. En esta empresa diseñó, proyectó y ejecutó cerca de 900

estructuras de esta tipología, en ocasiones en colaboración con otros arquitectos como Fernando López Carmona o Enrique de la Mora. La mano de obra especializada era de gran importancia en este tipo de estructuras para elaborar las cimbras y encofrados y la puesta en obra del hormigón sobre la armadura, necesariamente de consistencia casi seca por ser, las superficies a cubrir, en ocasiones, casi verticales. El aumento del coste de la mano de obra en los años 70 del siglo pasado convirtió la ejecución de este tipo de estructuras en poco rentable, a pesar de la economía en materiales. En 1969 Félix Candela dejó la empresa en manos de su hermano Antonio y tras perder su clase en la UNAM, emigró a Estados Unidos donde retomará la docencia en la Universidad de Illinois, Chicago, tras haberla ejercido a principios de los años 60 en la de Harvard. Félix Candela, nacionalizado mexicano en 1941, adquirió la estadounidense en 1978.



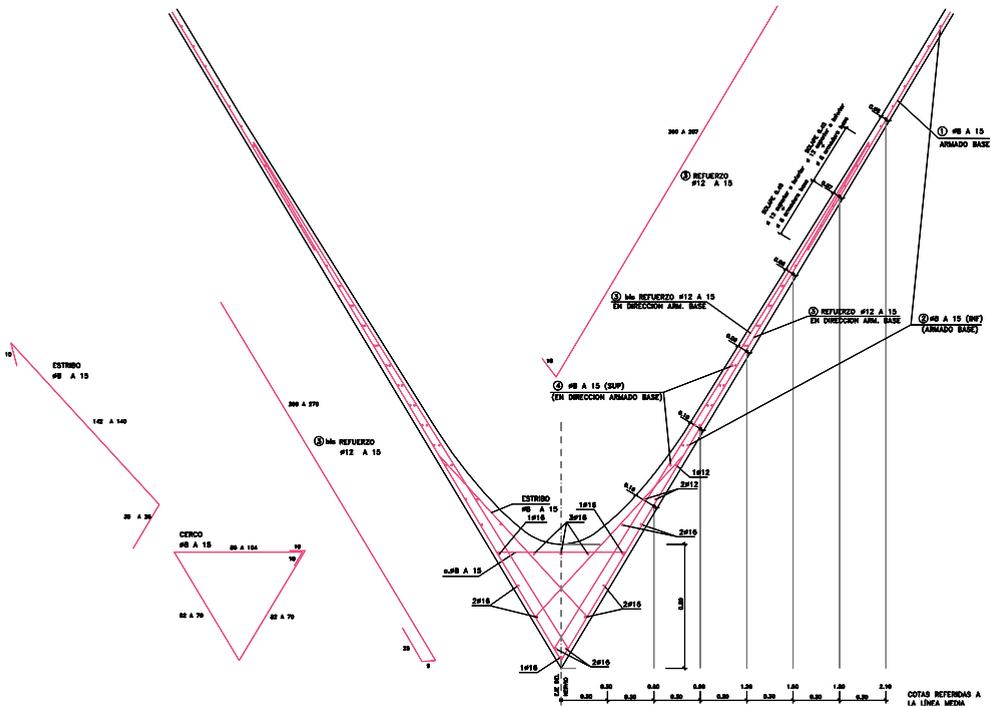
Fuente: (Domingo Cabo & Lázaro Fernández, Proyecto, 1999)

Imagen 2.72. Detalle de apoyo articulado.

Entre las láminas de hormigón armado, las de doble curvatura y en concreto los paraboloides hiperbólicos suponen para Candela la tipología más adecuada por diversos motivos. En primer lugar, su geometría facilita el comportamiento de membrana sin flexión lo que permite un solo nivel de armado y por lo tanto reducir espesores y cargas muertas de la estructura, facilitando la cubrición de grandes luces y reduciendo los riesgos de pandeo de la estructura. En segundo lugar, su geometría doblemente reglada facilita la construcción de la cimbra y el encofrado, siguiendo las generatrices rectas según dos ejes. En tercer lugar, por la relativa facilidad de calcular sus estados tensionales, en lo que contribuyó Félix Candela con el desarrollo de fórmulas aplicables a la multiplicidad de casos, fruto de la experimentación, de esta tipología estructural.

Los paraboloides hiperbólicos están sometidos fundamentalmente a tensiones de membrana, que pueden resolverse como un problema de equilibrio. Quedan indeterminadas dos funciones de integración que se resuelven al fijar el proyectista sus valores en parte del contorno de la lámina y deduciendo el valor en el contorno restante para alcanzar el equilibrio. En el caso de un paraboloides hiperbólico de bordes rectos ortogonales y planta

cuadrada la disposición de un nervio de borde que permita el equilibrio en el contorno, convierte la estructura en isostática, obteniendo de modo directo el estado tensional de la lámina bajo cargas gravitatorias.



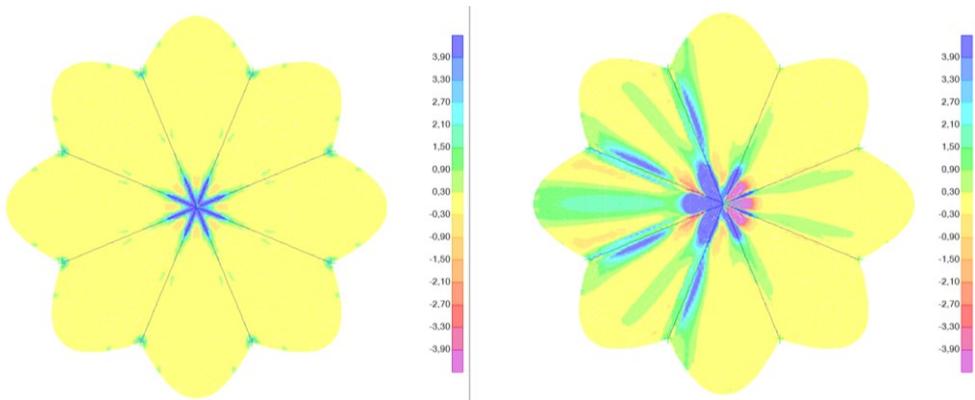
Fuente: (Domingo Cabo & Lázaro Fernández , Proyecto, 1999)

Imagen 2.73. Sección y armado de la lámina.

Candela desarrolló el método de Pucher (1934) para obtener las tensiones de membrana en superficies de forma arbitraria para obtener las expresiones para el cálculo de los paraboloides hiperbólicos, con ejes oblicuos y cargas en las tres direcciones del espacio. Estas expresiones le permitieron, obtener el estado tensional de la estructura sin contar con las características de los materiales sino en función de las cargas y su geometría y de dos funciones de una variable indeterminadas resolviendo un problema de equilibrio. Las funciones indeterminadas se resuelven, en un paraboloide hiperbólico con un contorno conformado por cuatro generatrices, fijando un valor para las fuerzas normales de dos de los contornos resolviendo de este modo las actuantes en los contornos restantes. Los esfuerzos de membrana presentes en la lámina se deducen de la geometría y de las cargas actuantes.

Experimentando con la geometría, anuló los esfuerzos normales en dos de los contornos dándoles ligereza, reforzando los otros dos mediante nervios, muros, yuxtaponiéndolo a

los bordes de otro paraboloides hiperbólico, etc. Dado que los nervios restan sensación de ligereza a la estructura, Félix Candela prefiere utilizar borde libre, un borde en el cual no aparecen esfuerzos normales. Para ello analíticamente anula los esfuerzos normales en las funciones indeterminadas resultándole un paraboloides seccionado por un plano inclinado. En los otros dos contornos del paraboloides utiliza nervios o bien los yuxtapone a otros paraboloides. Las posibles flexiones fruto de la desviación del comportamiento como membrana de la lámina las resuelve con soluciones constructivas como el armado de esos nervios. De este modo evita tener que realizar un análisis elástico, de gran complejidad antes de la aparición del método de elementos finitos y hacia el que apuntaba la naciente normativa sobre láminas de hormigón. A su vez, también puede obviar en el cálculo las características de los materiales. El paraboloides hiperbólico de borde libre y otros dos contornos yuxtapuestos a otros paraboloides concéntricos es la tipología que utilizó en 1957 en el restaurante los Manantiales en Xochimilco (México) y repitió en el restaurante de l'Oceanogràfic en Valencia (Lázaro Fernández, 2019).



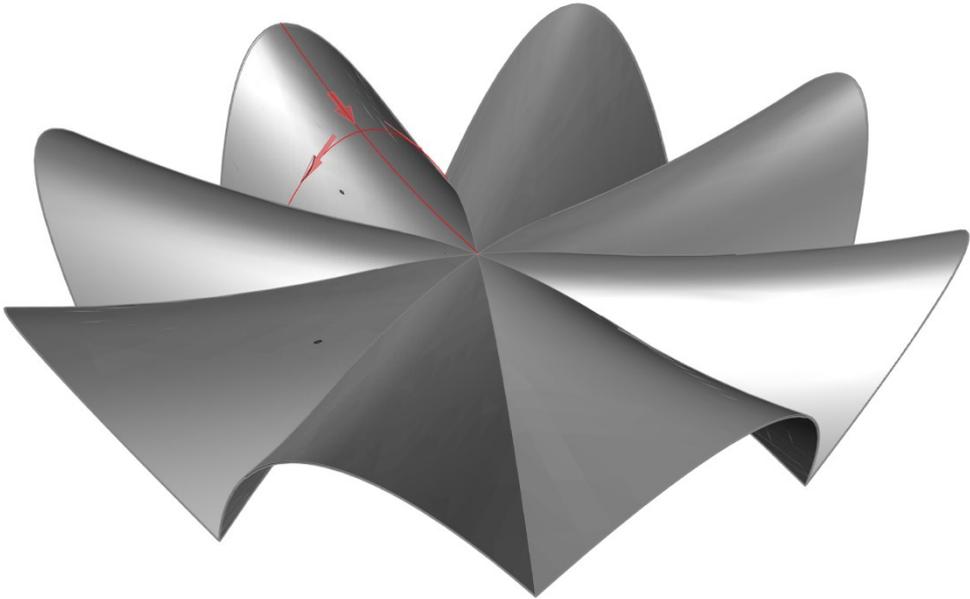
Fuente: (Lázaro Fernández, 2019)

Imagen 2.74. Flexiones principales por peso propio (Izq.) y una de las hipótesis de viento (Der.)

Al fallecer Candela en 1997, la empresa Civis Project Management encarga el desarrollo del proyecto de la cubierta del restaurante submarino a los ingenieros Alberto Domingo y Carlos Lázaro de la UPV (Imagen 2.64) La cubierta está formado por 4 secciones de paraboloides hiperbólico, constituyendo una bóveda de crucería de 8 lóbulos. Cada sector está cortado por dos planos verticales que forman un ángulo de $22,5^\circ$ y convergen en el centro de la cúpula y un tercer plano inclinado $62,6^\circ$ que conforma un borde libre cuya intersección con el suelo constituye el apoyo. Éstos se consideran articulados y se materializan con el uso de neopreno (Imagen 2.72). La lámina posee un espesor de 6 cm que se convierten en 25 cm en la clave y va aumentando en los nervios de intersección entre paraboloides hasta llegar a los 80 cm en los apoyos. La cubierta cubre una luz de 35,50 m entre apoyos opuestos alcanzando una altura en la clave de 8,12 cm y de 12,94 cm en la punta de los voladizos de 6,69 m (Imagen 2.70).

La lámina posee un armado de una capa de Ø8 cada 15 cm con refuerzos en nervios y clave que tienen también su propio armado (Imagen 2.73). El encofrado se realizó con tablas de madera, dispuestas según las generatrices rectas del paraboloides hiperbólico, soportadas por cimbras metálicas. El hormigón blanco está reforzado con fibras de acero y se proyectó por vía seca sobre las armaduras (Imagen 2.71). Las fibras permiten absorber las flexiones frente a cargas de viento o sismo de difícil comprobación en los años 90 en una lámina con una sólo capa de armado y escaso brazo de par. Las fibras distribuyen la fisuración y dotan de ductilidad a la estructura resistiendo los esfuerzos de tracción en la lámina sin necesidad de la contribución de la capa de armado. En el proceso de construcción los nervios y la clave fueron los primeros en hormigonarse y los últimos en desencofrar y desapuntalar (Domingo, Lázaro, & Serna, 2004).

Agradecimientos: Carlos Lázaro Fernández. Ingeniero de Caminos. / Francisco J. Sanchís Sampedro. Arquitecto.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.75. Modelo tridimensional de la estructura.

2.2.7. ***Grupo Marqués de Valterra.***

**Av. de las Gaviotas, 23-29, El Perellonet, València.
Carlos de Miguel.
1950-1952.**



Imagen 2.76.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.77. Situación.



Imagen 2.78.



Imagen 2.79.

EDIFICIO: Grupo Marqués de Valterra

SITUACIÓN: Av. de las Gaviotas, 23-29, El Perellonet, (València).

PROMOTOR: Instituto Social de la Marina.

PROYECTO: Carlos de Miguel (Arquitecto).

INICIO DEL PROYECTO: 1950

FINAL DE OBRA: 1952

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: metálica parabólica. ENCOFRADO: Tejido de arpillera.

ESTRUCTURA: Superficie de doble curvatura anticlastica. Bóveda de generatriz parabólica y directriz hiperbólica de hormigón. / Luz: 6 m / 7 y 9 m en sentido longitudinal. / Espesor: 3 cm.



Imagen 2.80.



Imagen 2.81.

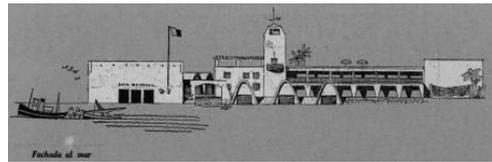
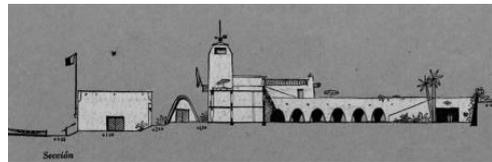
En 1837 se construye el canal, *gola*, del Perellonet. En torno a la construcción de la casa del guarda de las compuertas, comenzaron a aparecer barracas construidas por pescadores y agricultores que las utilizan como alojamiento temporal. Tras la creación de la vía que une Nazaret con Oliva en los años 20 del siglo pasado estas viviendas acabaron conformando un núcleo. Las penurias de la posguerra española, atrajeron a población al asentamiento en busca del sustento que ofrece l'Albufera de València donde acabaron asumiendo unas condiciones de habitabilidad deplorables.

El almirante Pascual Díez de Rivera y Casares, II Marqués de Valterra, decidió construir una colonia de 27 viviendas que ayude a aliviar este problema social. El asentamiento ocupó terrenos cedidos por D. Eduardo Ferrer y será promovida por el Instituto Social de la Marina. (VV.AA., VLC_GV: Historias vividas. Grupo de viviendas en Valencia 1900-1980, 2016)



Fuente: (Rabasco Pozuelo, 2011)

Imagen 2.82. Palacio de Ctesifonte (Irán).



Fuente: (Picardo & De Miguel, 1951)

Imagen 2.83. Cofradía de Pescadores (Altea)

Carlos de Miguel fue el arquitecto designado para diseñar la obra y para ello eligió el sistema CTESIPHON (De Miguel González, 1953). El sistema está bautizado con el nombre de la ciudad de Persia, en cuyo palacio aún se conserva un arco de ladrillo de grandes dimensiones con forma de catenaria invertida (Imagen 2.82) (Rabasco Pozuelo, 2011). El sistema se creó para el ejército británico en la Segunda Guerra Mundial, con el fin de construir barracones económicos en escaso tiempo.

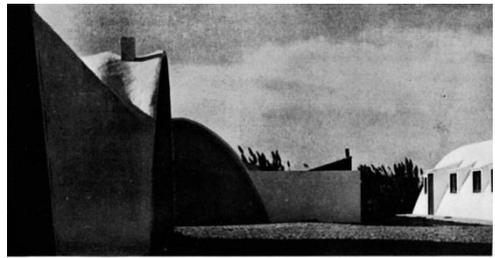
Rafael García de la Hoz y José María García Paredes lo utilizaron en España por primera vez, para construir viviendas sociales en el municipio cordobés de Palma del Río, en torno a 1950. Para la utilización de este sistema realizaron una investigación profunda de los costes de construcción para que fuese asequible a la población a la que iba destinada. A pesar de sus carencias a nivel de habitabilidad, estas viviendas suponían una mejora en la situación de los más desfavorecidos de la posguerra española (De la Hoz Arderius & García de Paredes, 1953). Destinado a otro sector social, Fernando Moreno Barberá estudió esta tipología para su uso en viviendas unifamiliares de segunda

residencia, aunque nunca llegó a construirlas. También sin llegar a ejecutarlas, Carlos de Miguel había proyectado previamente, junto a José Luis Picardo, varios pabellones con este sistema en el centro cívico para la Cofradía de Pescadores de la ciudad alicantina de Altea destinados al almacenaje (Imagen 2.83) (Picardo Castellón & De Miguel González, 1951).

Al resolver estructura y cerramientos y cubierta con un solo elemento, el sistema supone un considerable ahorro en tiempo y materiales. Esta característica lo hace especialmente adecuado para viviendas de emergencia tras catástrofes, o en la reconstrucción de la posguerra ante la necesidad de realojo de población en asentamientos insalubres, solucionando a la vez la carestía de materiales, en especial acero y madera.



Fuente: (Alonso Durá & Llopis Pulido, 2019)



Fuente: (De Miguel González, 1953)

Imagen 2.84. Vistas históricas.

Para la ejecución del sistema CTESIPHON se disponen unos arcos metálicos en paralelo. Se utiliza la forma parabólica por mayor sencillez, aunque el arco ideal de descarga sea la catenaria invertida. Sobre dichos arcos se dispone una tela de arpillera a modo de armadura y sobre ella se aplica mortero. Debido al peso del material la arpillera se ondula con arcos catenarios entre las cimbras (Imagen 2.87). La forma ondulada otorga mayor rigidez a la bóveda como en el Pabellón de los Rayos Cósmicos de Félix Candela o el plegado del Hangar de Orly de Eugène Freyssinet, (Alonso Durá & Llopis Pulido, 2019).

En el grupo Marqués de Valterra se emplean unas cimbras metálicas parabólicas que cubren una luz de 6 m y se disponen en paralelo en una longitud de 7 m para la vivienda de 24 m² y dos dormitorios y de 9 m para la de 54 m² y tres dormitorios (Imagen 2.85). Bajo la cubierta se revestía con 2,5 cm de mortero y paja que mejora el aislamiento térmico y evita las condensaciones, y se suplementaba con otra capa de aislamiento por encima de la lámina. Finalmente se encalaba la bóveda para proteger del calor del verano y para mejorar la higiene pues tradicionalmente se le confiere a la cal propiedades bio-cidas.

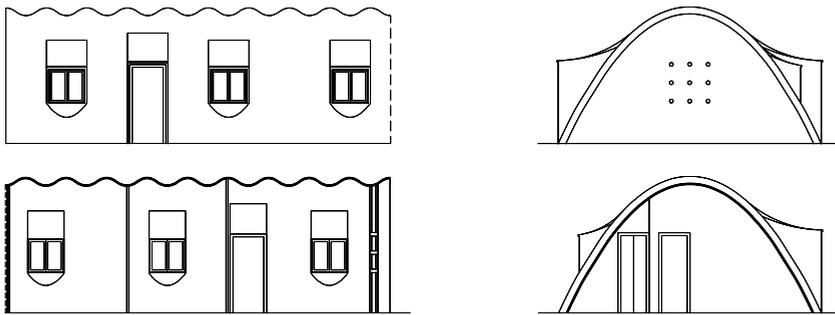
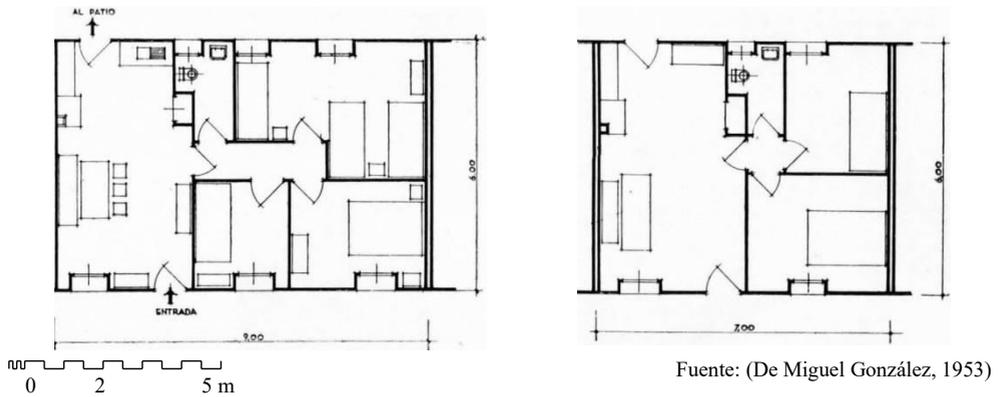
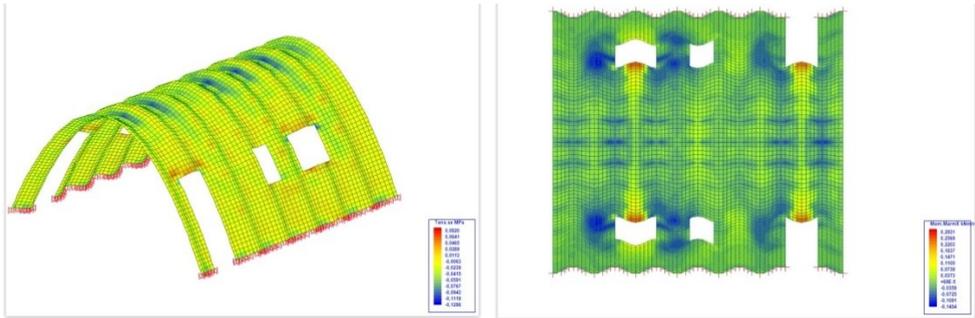


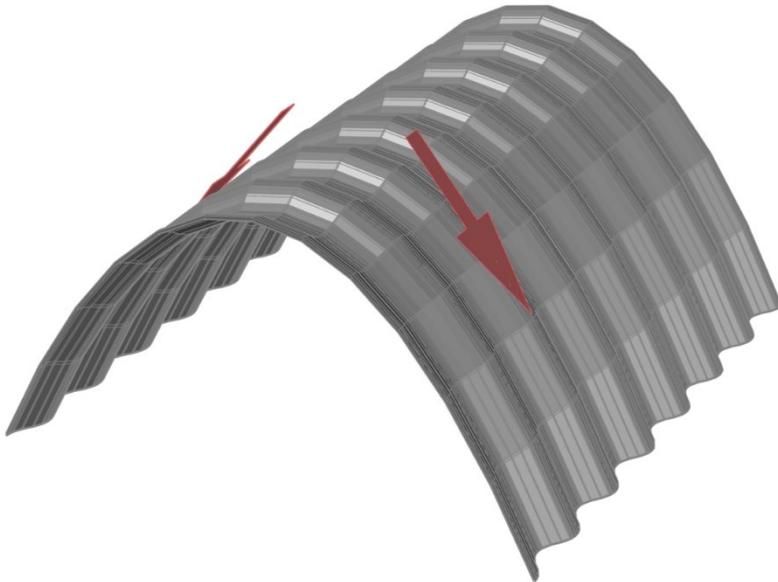
Imagen 2.85. Plantas, alzados y secciones.

Las viviendas poseen ventanas y puertas abuhardilladas con una cubierta sin función estructural y se agrupan formando bloques lineales que, junto a la ermita construida con el mismo tipo de bóveda, conforman las distintas calles del enclave (Imagen 2.84). Un análisis estructural por elementos finitos evidencia la rigidez otorgada a la bóveda por el ondulado y la concentración de tensiones en torno a los huecos que la interrumpen (Imagen 2.86) (Alonso Durá & Llopis Pulido, 2019). A lo largo de los años las reformas y ampliaciones en altura de las viviendas, utilizando métodos constructivos tradicionales han ido desfigurando la imagen original de la colonia dificultando la recuperación debido a la titularidad privada de las viviendas (Imagen 2.78).



Fuente: (Alonso Durá & Llopis Pulido, 2019)

Imagen 2.86. Flexiones principales para cargas gravitatorias.



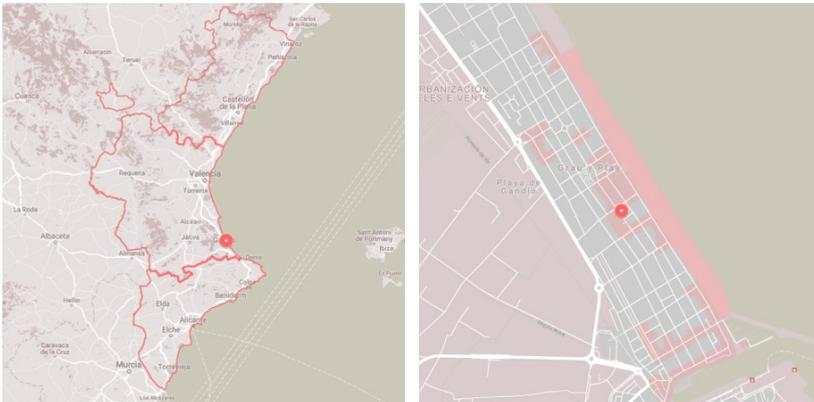
Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.87. Modelo tridimensional de la estructura

2.2.8. ***Iglesia Santa María del Mar***
C. Armada espanyola, 5. Platja de Gandia.
Agustín Gabriel López.
1987-1991.



Imagen 2.88



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.89. Situación.



Imagen 2.90.



Imagen 2.91.

EDIFICIO: Iglesia de Santa María del Mar.

SITUACIÓN: C. de la Armada Espanyola, 5. Platja de Gandia (València).

PROMOTOR: Juan Miñana Pavía.

PROYECTO: Agustín Gabriel López (Arquitecto).

INICIO DEL PROYECTO: 1987

FINAL DE OBRA: 1991

CONSTRUCTORA: Edificaciones Castelló S.A.

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: Puntales metálicos. /ENCOFRADO: Tablas de madera.

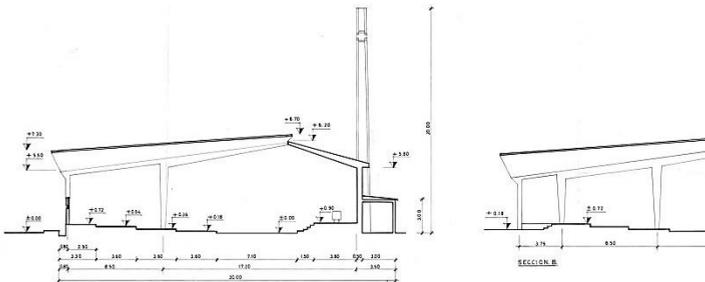
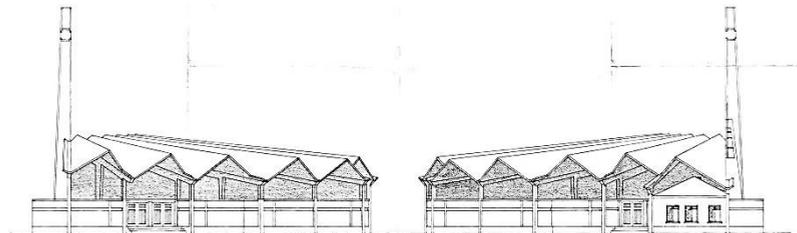
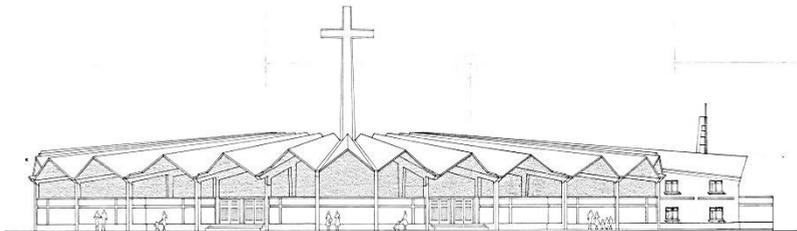
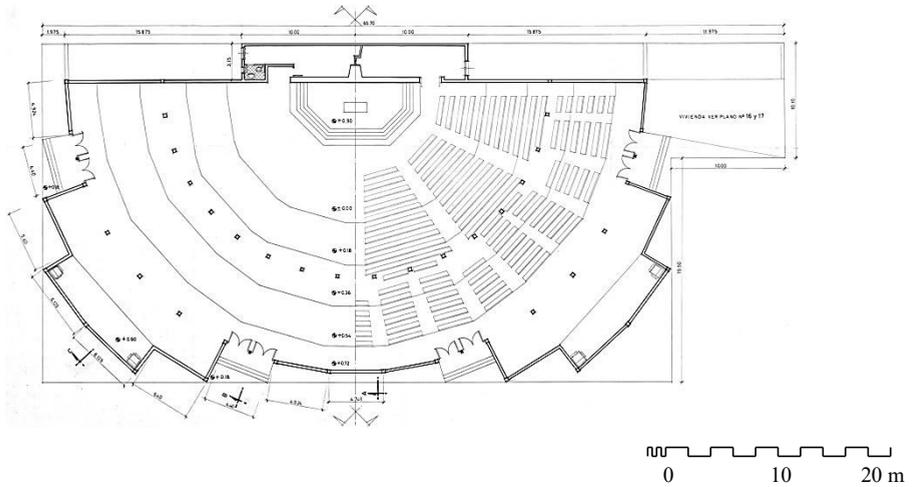
ESTRUCTURA: Lámina plegada hormigón / Luz: 17,40 m / Espesor: 10 cm.



Imagen 2.92.



Imagen 2.93.



Fuente: (Gabriel López, 1987)

Imagen 2.94. Planta, alzados y secciones

La iglesia de Santa María del Mar es obra del arquitecto Agustín Gabriel López. Originario de Extremadura, el arquitecto estuvo vinculado a la ciudad de Gandía y la Parroquia de San Nicolás, en el Grau, de la que depende la iglesia. Es, al igual que la iglesia de San Pedro y San Pablo proyectada por Andrés Pérez Tirado y situada en la plaza del Temple, una iglesia concebida para asistir al fiel veraneante en la Playa de Gandía (Sala González, 50 Aniversario. Iglesia de San Nicolás. Grau de Gandia., 2012).

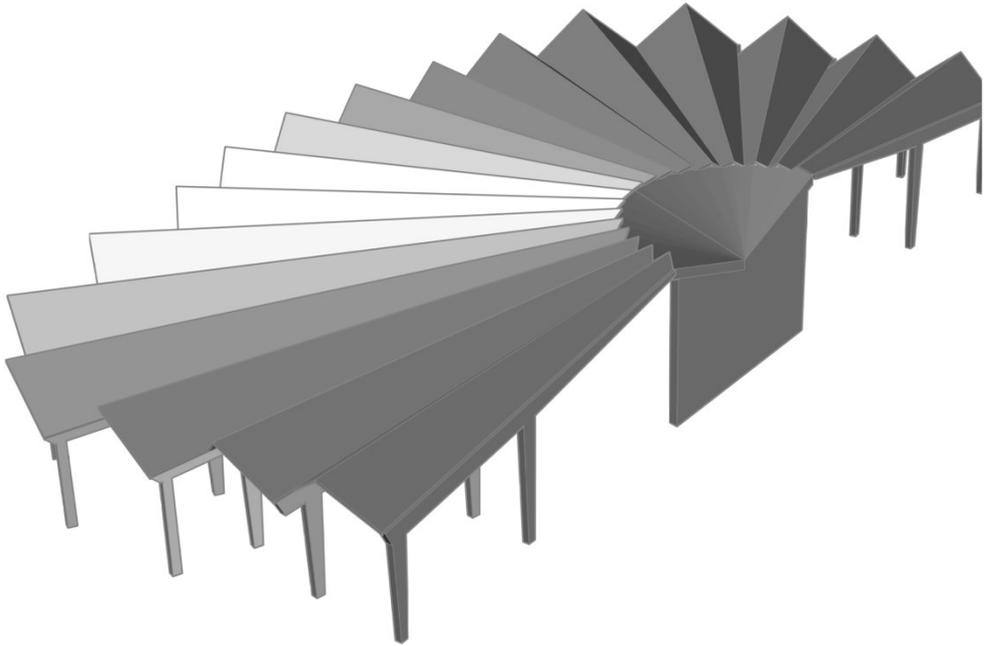


Fuente: Archivo Parroquia de San Nicolás, Grau de Gandia.

Imagen 2.95. Vistas de la construcción.

Ambas iglesias comparten la tipología estructural de pórticos convergentes en el altar, con pilares de sección creciente y de hormigón armado (Imagen 2.93). Al tratarse de iglesias para el verano se proyectaron con un muro de cerramiento abierto en su parte superior hasta la cubierta sin carpinterías (Imagen 2.94). Con posterioridad la iglesia de Santa María del Mar se cerró con vidrieras. Los pórticos de la iglesia poseen una luz máxima de 17,40 m. La cubierta de la iglesia está formada por una lámina plegada de hormigón armado con un espesor de 10 cm y a dos aguas sobre pórticos contiguos (Imagen 2.97). El último tramo a la derecha del altar se prolonga hasta cubrir la vivienda del párroco, a cuyo lateral se adosa una espadaña de hormigón armado. El espacio destinado al pueblo se distribuye de modo escalonado centrado en el altar (Imagen 2.94). El

Imagen 2.96. Plano de estructura y secciones de la lámina plegada.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.97. Modelo tridimensional de la estructura.

2.2.9. *Iglesia de San Nicolás.*

Av. de la Pau, 2. Grau de Gandia.

**Eduardo Torroja Miret / Gonzalo Echegaray Comba
1958-1962.**



Imagen 2.98.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.99. Situación.



Imagen 2.100.

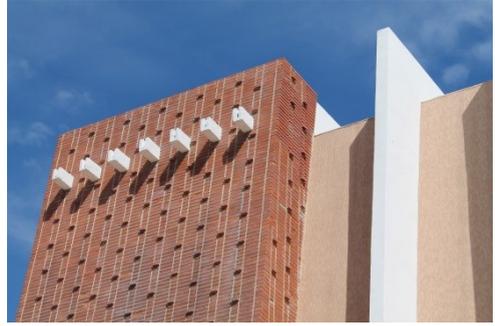


Imagen 2.101.

EDIFICIO: Iglesia de S. Nicolás.

SITUACIÓN: Av. de la Pau, 2. Grau de Gandia (València).

PROMOTOR: Juan Miñana Pavía.

PROYECTO: Eduardo Torroja Miret (Ingeniero). / Gonzalo Echegaray Comba (Arquitecto). / Jaime Nadal Aixalá (Ingeniero cálculo).

INICIO DEL PROYECTO: 1958

FINAL DE OBRA: 1962

CONSTRUCTOR: SICOP S.A.

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: Entramado de madera. / ENCOFRADO: Tablas de madera.

ESTRUCTURA: Lámina plegada hormigón / Postesado: Sistema Barredo o Español. / Luz: 27m. / Espesor: 15 y 10 cm. en muros y cubiertas.



Imagen 2.102.

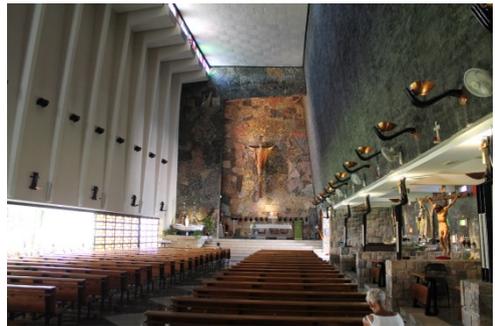


Imagen 2.103.

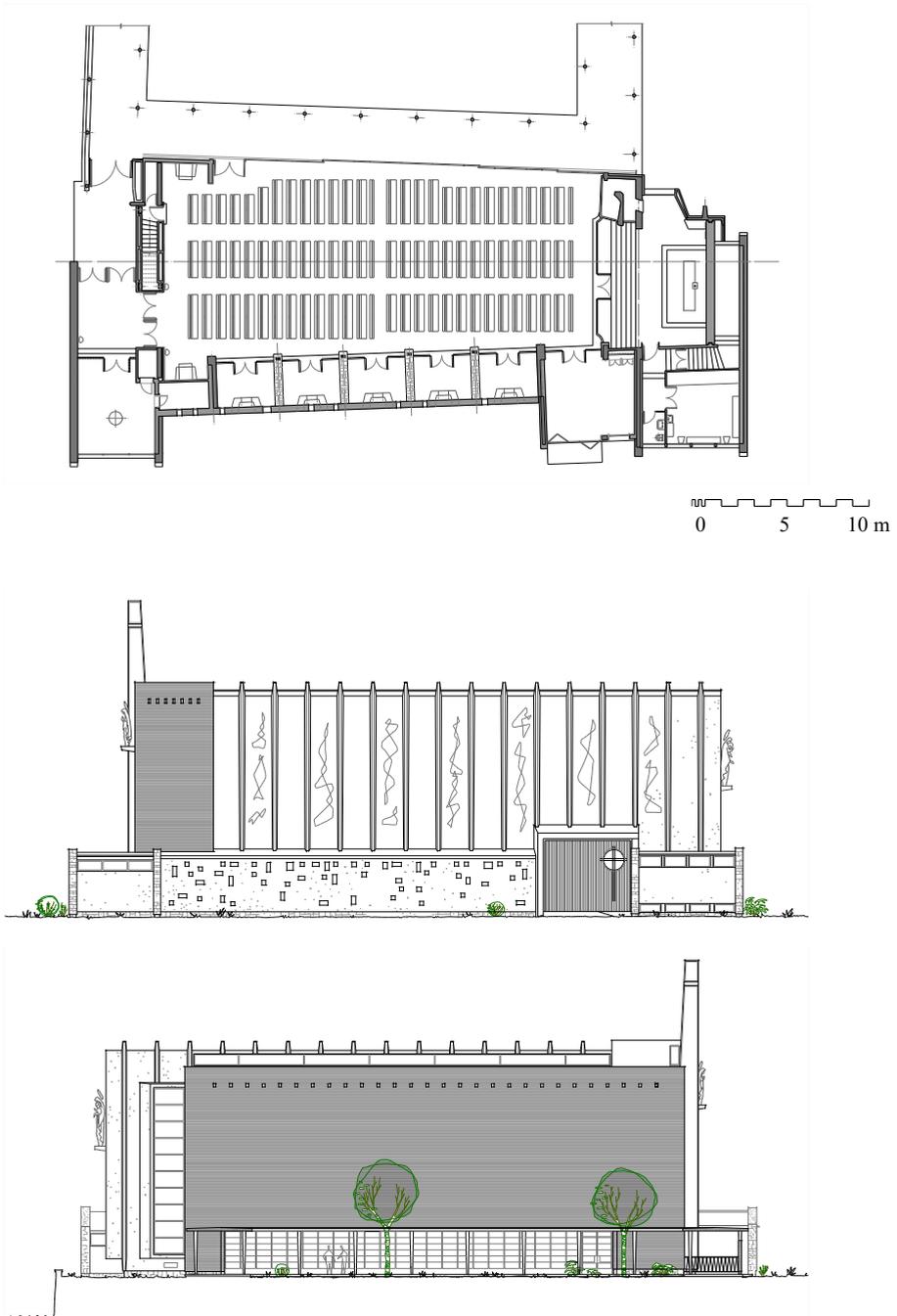


Imagen 2.104. Planta y alzado sur (arriba) y norte.

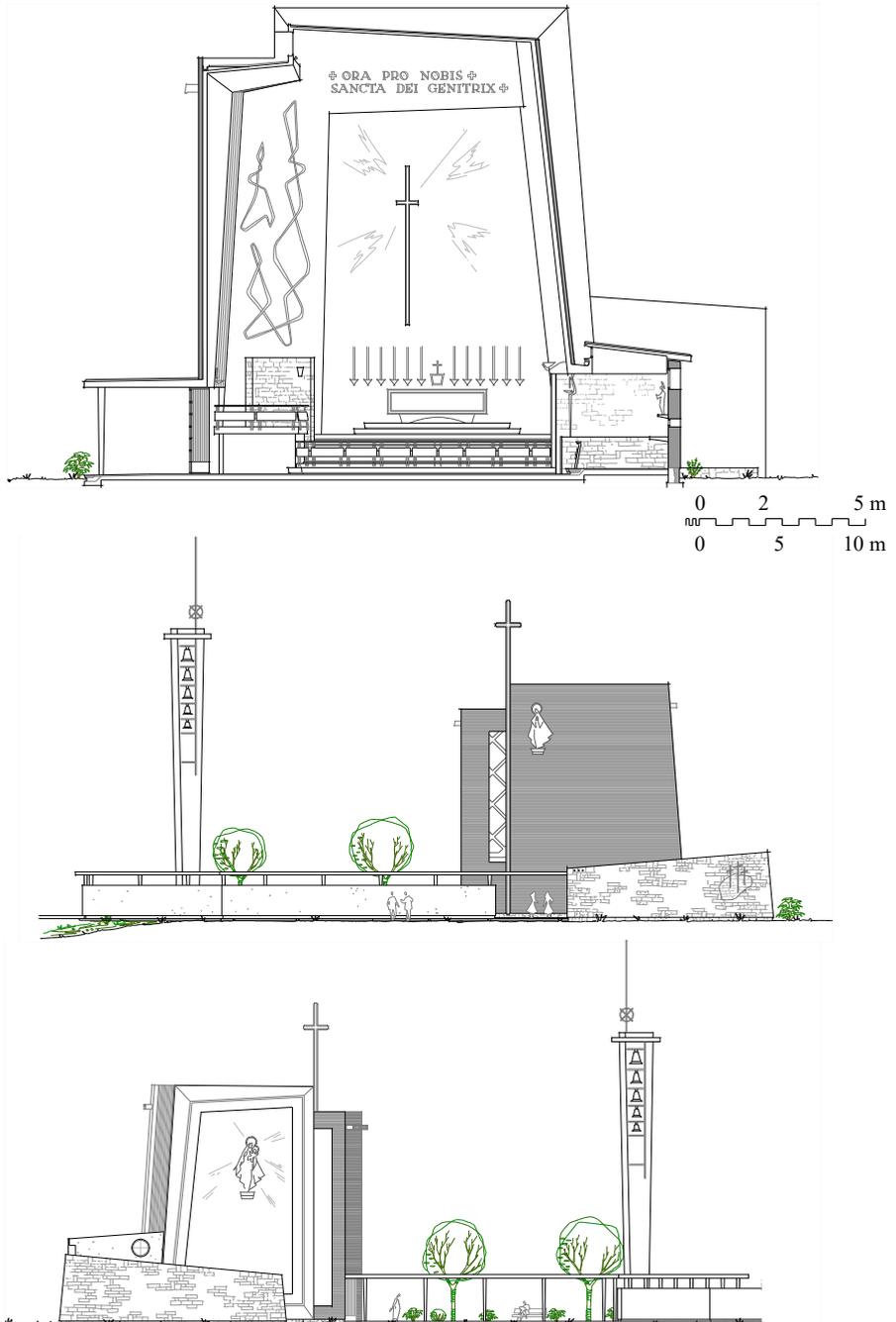
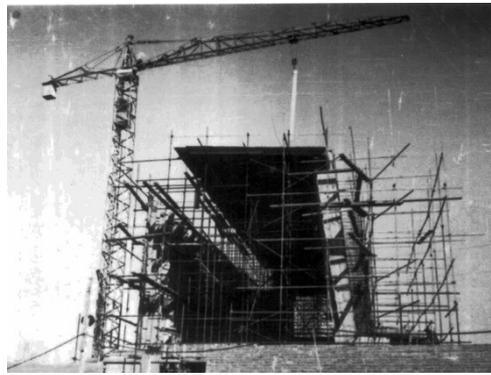
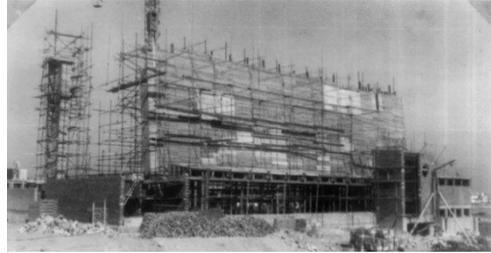


Imagen 2.105. Sección transversal y alzado oeste (arriba) y este.

La iglesia de San Nicolás es obra del Arquitecto Gonzalo Echegaray Comba y los Ingenieros Eduardo Torroja Miret y Jaime Nadal Aixalá. Tiene como aparejadores a Manuel Bouso y Luis Romaguera (Sala González, Sant Nicolau del Grao de Gandía. 50 Aniversari. Grao de Gandía: Parroquia de Sant Nicolau, 2012).



Fuente: (Torroja Miret, Iglesia en Gandía, 1962)

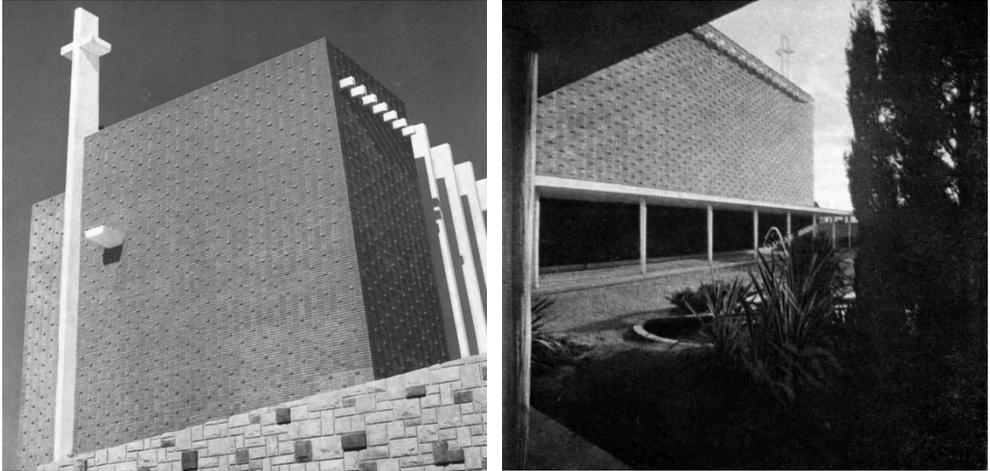


Fuente: (Sala González, 50 Aniversario. Iglesia de San Nicolás. Grao de Gandia., 2012)

Imagen 2.106. Vistas durante la construcción.

Eduardo Torroja (1899-1961) es uno de los Ingenieros de Caminos con más prestigio a nivel internacional. Además de su dedicación a la docencia en la Escuela de Caminos es de gran repercusión su investigación en el campo de la construcción y las estructuras. Fue fundador y primer director, cargo en el que le sucedió Jaime Nadal, del Instituto Técnico de la Construcción y la Edificación, actualmente Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (Isler, 2003). Fue autor y promotor de abundante normativa y métodos de cálculo estructural especialmente en la parcela del hormigón armado (VV.AA., *La modernidad en la obra de Eduardo Torroja*, 1979). Ha dejado estructuras pioneras en su campo como el frontón de Recoletos en Madrid junto al Arquitecto Secundino Zuazo (Torroja Miret, Razón y ser de los tipos estructurales, 1957), el mercado de Algeciras con el Arquitecto Manuel Sánchez Arcas, ambas de 1935, o la cubierta de las gradas del Hipódromo de la Zarzuela en Madrid (1941) en colaboración con los Arquitectos Calos Arniches Moltó y Martín Domínguez (Borcha Vila, 2000). Falleció en 1961, lo que convierte la Iglesia de San Nicolás en su postrera y póstuma obra.

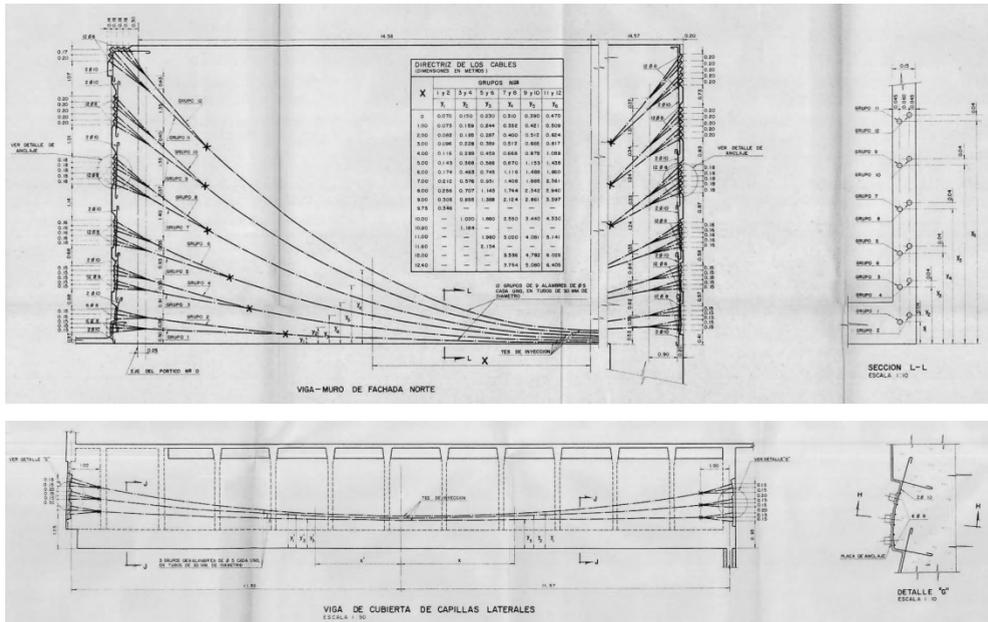
La parroquia está formada por la iglesia, la casa parroquial y, entre ambas, el jardín enclaustrado, donde se encuentra el moderno campanario (Arnau-Paltor, *La iglesia de san Nicolás en el Grau de Gandía: estudio histórico y estructural*, 2014). Está situada en la desembocadura del barranco de San Nicolás, junto al puerto del Grau de Gandia (Echegaray Comba, *Anteproyecto de iglesia parroquial en el Grao de Gandía*, 1958). La nave de la iglesia es un rotundo volumen trapezoidal con una altura de 13,5 m, 35 m de longitud y un ancho variable de 10 a 12 m que le da gran visibilidad.



Fuente: (Echegaray Comba, *Moderna iglesia: Grao de Gandia, Valencia, 1964*)

Imagen 2.107. Vistas históricas.

Adosado a la nave se encuentra el baptisterio, a la derecha de la fachada oeste de entrada a la iglesia. Está revestido de piedra y con cubierta a un agua del mismo modo que el acceso a la cripta en la fachada oeste y la sacristía en la sur. En ésta última están, comunicadas con la nave principal, las capillas laterales y en la fachada norte, un ala del claustro (Imagen 2.104 e Imagen 2.105). Todos estos cuerpos tienen una altura de unos 3 metros salvo la capilla del paso, junto a la sacristía, que sobresale un par de metros sobre el resto. Las fachadas norte y este están revestidas de ladrillo caravista con un aparejo con relieve que le confiere ritmo a la textura (Imagen 2.101). Los testeros de la iglesia se conciben como un retablo, con una escultura de la Virgen del Carmen, patrona de los pescadores, en la cabecera de la iglesia, orientada al este, al puerto enmarcada en hormigón armado. En la fachada de acceso, al oeste, una gran cruz-espadaña, de hormigón blanco acompaña a la escultura, también exenta, de San Nicolás de Bari, advocación de la parroquia (Imagen 2.100) (Arnau Paltor F. , *Puesta en valor de la arquitectura del s.XX en Gandía: La iglesia de S. Nicolás en el Grau*, obra de Eduardo Torroja, 2015).



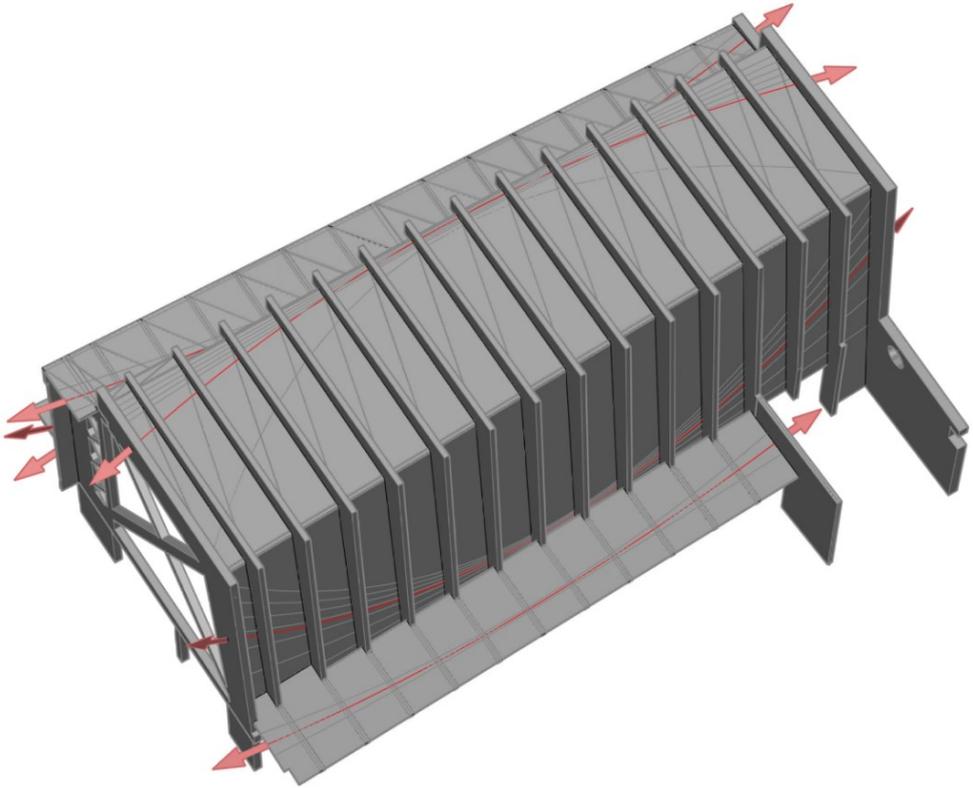
Fuente: (Nadal Aixalá, 1960)

Imagen 2.108. Planos de postesado de viga-muro norte y cubierta de claustro.

Esta iglesia es un buen ejemplo de la audacia y la innovación en el campo de la estructuras que siempre estuvo presente en la obra de Torroja (Echegaray Comba, Planos modificados de proyecto de iglesia parroquial y casa abadía en el Grao de Gandía., 1959). La estructura la constituyen dos láminas plegadas en Z, para adquirir inercia (García García, Láminas plegadas de hormigón armado. Realizaciones en España, 2007). Sustituye por planas las láminas curvas con las que experimentó esta tipología en la iglesia de Villaverde y en el frontón de Recoletos. En Gandía aplicará los refuerzos ideados, no ejecutados, para el desaparecido frontón, tras los daños sufridos en la guerra civil. Las láminas de San Nicolás cubren una luz de 27 m desde la fachada de acceso hasta el ábside elevadas del suelo 3 metros, dejando franca la abertura a las capillas y el claustro (Imagen 2.102 e Imagen 2.103) (Arnau-Paltor & Serrano-Lanzarote, Las láminas plegadas de Torroja., 2019). La fachada norte y sur funcionan como dos vigas apantalladas de 15 cm de espesor. (Echegaray Comba, Planos modificados de proyecto de iglesias parroquial y casa abadía en el Grao de Gandía., 1959). Las cubiertas de la nave y las del claustro y capillas tienen un espesor de 10 cm, y se sostienen también en voladizo de las pantallas, reforzadas por nervios paralelos de hormigón armado que absorben también los grandes esfuerzos de torsión causados por el plegado de la lámina (Imagen 2.109). Estos refuerzos se encuentran en el exterior de la lámina sur y por el interior en la norte. Las dos láminas son independientes de modo que dejan un lucernario corrido en la nave central y otro en las capillas laterales, cuya cubierta se haya unida a la pantalla norte a través de

las costillas de refuerzo (Imagen 2.103). Torroja introduce también el postesado en la estructura de modo muy intuitivo de modo que sus cálculos, hechos a mano, se aproximan bastante a los realizados por computadora con métodos de elementos finitos (Arnau-Paltor, Serrano-Lanzarote, & Fenollosa Forner, 2020). Las pantallas, gracias al postesado, están sometidas fundamentalmente a esfuerzos de compresión (Imagen 2.108).

Agradecimientos: D. Rafael Sala González. Parroquia San Nicolás del Grau de Gandia. / Ignacio Lafuente Niño. Arquitecto. / Arxiu històric Gandia. / Archivo del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. / Archivo Torroja de CEHOPU de CEDEX.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.109. Modelo tridimensional de la estructura.

2.2.10. *Gradas del estadio Guillermo Olagüe.*

Av. dels Esports. Gandia.

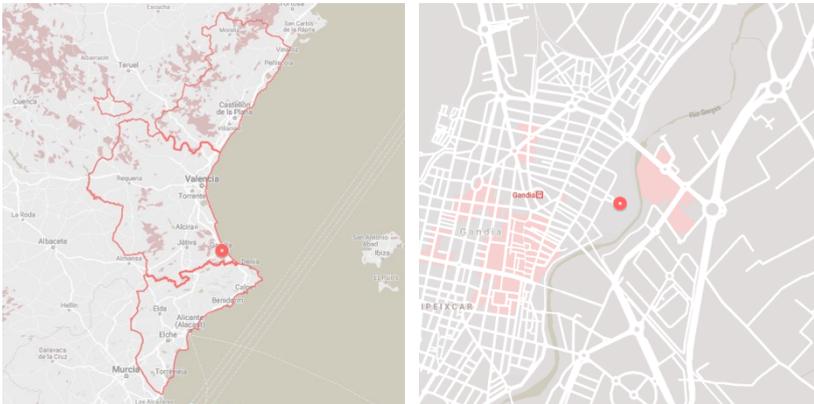
Pablo Pintado Riba.

1964-1967.



Fuente: Archivo Olagüe Cerdá

Imagen 2.110.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.111. Situación.



Imagen 2.112.



Imagen 2.113.

EDIFICIO: Cubierta de las gradas del estadio Guillermo Olagüe.

SITUACIÓN: Av. dels Esports. Gandía (València).

PROMOTOR: C.F. Gandía. Guillermo Olagüe

PROYECTO: Pablo Pintado Riba (Arquitecto). / Juan Beltrán Miralles (Aparejador).

INICIO DEL PROYECTO: 1964

FINAL DE OBRA: 1967

CONSTRUCTOR: CONINSA

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: tubular metálica. / ENCOFRADO: tablas de madera.

ESTRUCTURA: Superficie de doble curvatura anticlástica: 4 secciones de paraboloides hiperbólicos apoyados en pilar central, con forma de paraguas invertido. / Luz: 10,80 m. / Espesor: 4 cm. Armado con una sola capa.

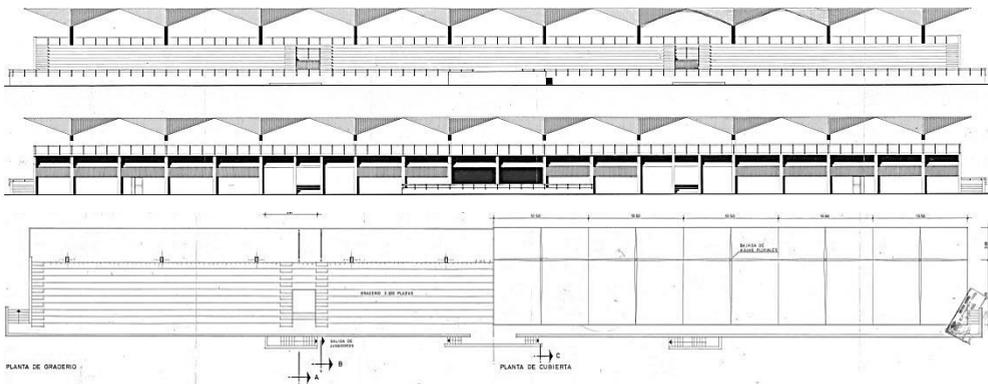


Imagen 2.114.



Imagen 2.115.

Guillermo Olagüe, médico estomatólogo y presidente del Club de Fútbol de Gandía fue el promotor de este proyecto en el año 1964. Hasta esa fecha, el C.F. Gandía realizaba sus actividades en el Mondúber, sucesor del Bulevar, que ocupaba unos terrenos alquilados por el club deportivo. El ambicioso proyecto inicial abarcaba toda una ciudad deportiva: Estadio de fútbol, pista de atletismo, piscinas cubiertas y al aire libre, frontón, etc. Para su ubicación se adquirieron los terrenos de la Alquería de los Moragues, situada en el límite del casco urbano, junto al río Serpis. Para la realización del proyecto el presidente buscó financiación en distintas instituciones en Madrid, aconsejado también por Vicente Calderón, presidente del Atlético de Madrid y muy vinculado desde el inicio de la década de 1950 con Gandía y con su desarrollo urbanístico.



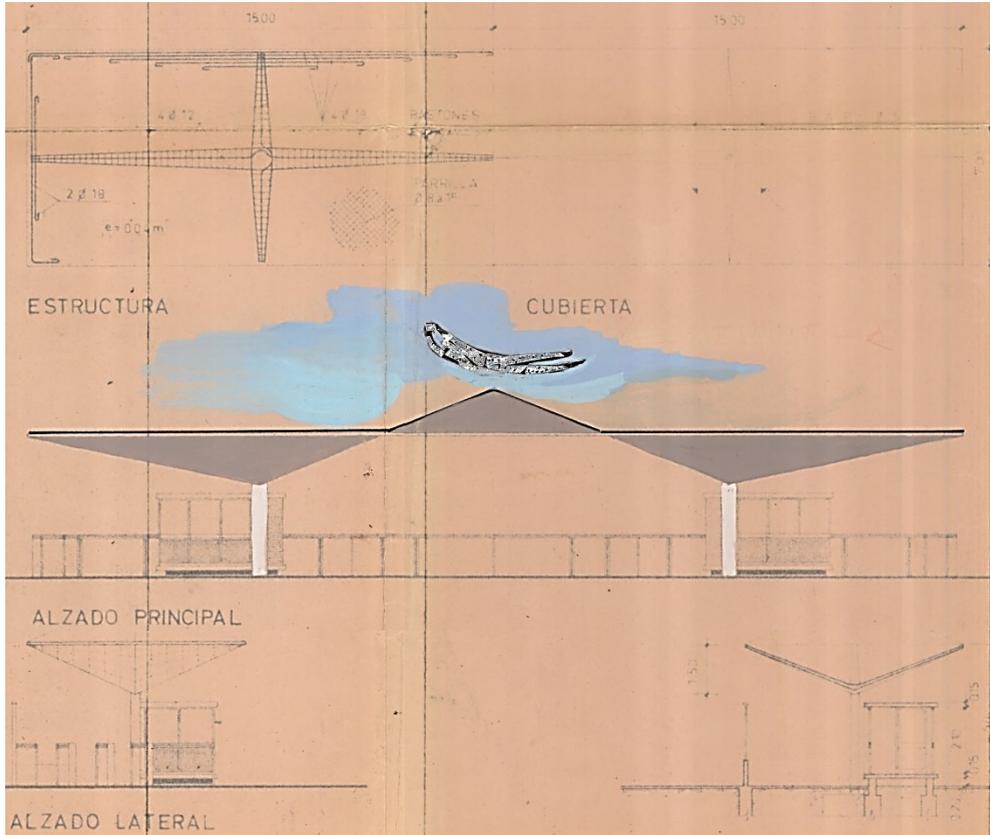
Fuente (Pintado Riba, Proyecto de Parque deportivo/ Club de Fútbol Gandía, 1965).

Imagen 2.116. Planta y alzado longitudinal frontal y posterior (Este y Oeste).

El proyecto se encargó al Dr. arquitecto y urbanista madrileño Pablo Pintado Riba (1924-2007). Tras recibir en 1958 el premio nacional de arquitectura, en 1964 había ganado renombre al adjudicarse el concurso del Palacio de Congresos y Exposiciones de Madrid y se encontraba desarrollando el proyecto de la fábrica Interfruit en la cercana población de Oliva. El uso de paraboloides hiperbólicos, a modo de paraguas invertidos como cubierta de la factoría fue sin duda un referente para la cubierta de las gradas del nuevo estadio (Imagen 2.116).

En el proyecto se implicaron también artistas valencianos de la talla de Ricardo Llorens, Nassio Bayarri y Andrés Cillero. Estos dos últimos trabajaron juntos unos años antes en la Iglesia de San Nicolás del Grao de Gandía obra del ingeniero Eduardo Torroja y el arquitecto Gonzalo Echegaray. Estos artistas realizaron bocetos sobre planos del complejo, como el control de accesos a la ciudad deportiva, cubierto también por dos paraguas invertidos (Imagen 2.117), o la decoración mediante cerámica de la estructura del frontón. Este último boceto recuerda las láminas plegadas de hormigón armado proyectadas, también en 1964, por José Ramón Azpiazu para el IES Joaquín Sorolla de Valencia. Desafortunadamente, a pesar de los esfuerzos realizados por el promotor, el proyecto

tropezó con dificultades en la financiación. Por este motivo sólo se pudo ejecutar el estadio de fútbol y parte de las oficinas sin llegarse a realizar ninguna de las obras ideadas por los tres artistas valencianos. En años posteriores se fueron añadiendo al complejo otras instalaciones, pero sin seguir el proyecto original de Pablo Pintado.



Fuente: (Pintado Riba, Proyecto de Parque deportivo/ Club de Fútbol Gandía, 1965)

Imagen 2.117. Proyecto de acceso a la ciudad deportiva.

La cubierta del graderío del estadio consiste en diez paraguas cuadrangulares invertidos de 10,50 x 10,80 m formado por 4 secciones de paraboloide hiperbólico de hormigón armado, de 4 cm de espesor, soportados por un pilar central de 60 x 60 cm que aloja en su núcleo la bajante de aguas pluviales (Imagen 2.119). Presumiblemente el cálculo de la cubierta de la grada fue obra del arquitecto Ignacio Faure, que también colaboró con Pablo Pintado en la estructura proyectada para Interfruit. El maestro de esta tipología estructural fue el arquitecto madrileño Félix Candela. Exiliado en Méjico, fruto de su investigación en el diseño y cálculo de superficies laminares de hormigón armado, fundó

la empresa constructora Cubiertas Ala que ejecutó esa tipología de estructuras por todo el continente americano. Ignacio Faure se formó con él en Méjico, al igual que los arquitectos José Ruiz-Castillo y Ricardo Urgoiti. Estos últimos tras volver a España fundaron la empresa Construcciones Laminas S.L que ejecutó por estas fechas los paraguas invertidos que cubrían los talleres de la Escuela de Maestría Industrial en Castellón de la Plana, proyectada por el arquitecto madrileño Luis Martínez-Feduchi.



Fuente: Archivo COESMI S.L.

Imagen 2.118. Vistas de la rehabilitación.

En 2014 se realizó una rehabilitación integral del estadio, llevada a cabo por el arquitecto Javier Olagüe Cerdá, hijo de Guillermo Olagüe, y la constructora COESMI S.L. La corrosión del armado, especialmente de borde, de los paraguas, había causado la fisuración y desprendimiento del hormigón (Imagen 2.118). Esta patología es bastante común en la época debido a la falta de conocimientos relativos a la durabilidad del hormigón que llevaban a realizar escasos recubrimientos de las armaduras y a no cuidar especialmente el vibrado y curado del hormigón. En este caso, el fenómeno se ve agravado por el clima marino y por la tipología estructural, en la que los escasos espesores, densidad del armado y superficies inclinadas obligaban al uso de hormigones de consistencia plástica, casi seca, puestos en obra y vibrados a mano.

2.2.11. Estación de servicio “El Rebollet”.

Carretera de Gandía, 35. Oliva.

Juan de Haro Piñar

1960-1962.



Imagen 2.121.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.122. Situación.



Imagen 2.123.



Imagen 2.124.

EDIFICIO: Estación de servicio “El Rebollet”.

SITUACIÓN: Carretera de Gandía, 35. Oliva (València).

PROMOTOR: Miguel Just e Hijos S.A.

PROYECTO: Juan de Haro Piñar (Arquitecto).

INICIO DEL PROYECTO: 1960

FINAL DE OBRA: 1962

CONSTRUCTOR: CLEOP

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: Entramado de madera. / ENCOFRADO: Listones de madera siguiendo las rectas generatrices.

ESTRUCTURA: Superficie de doble curvatura anticlástica: 6 paraboloides hiperbólicos. / Luz: 9,9 m entre apoyos y vuelos. / Espesor: 8 cm. Doble capa de armado.



Imagen 2.125.



Imagen 2.126.

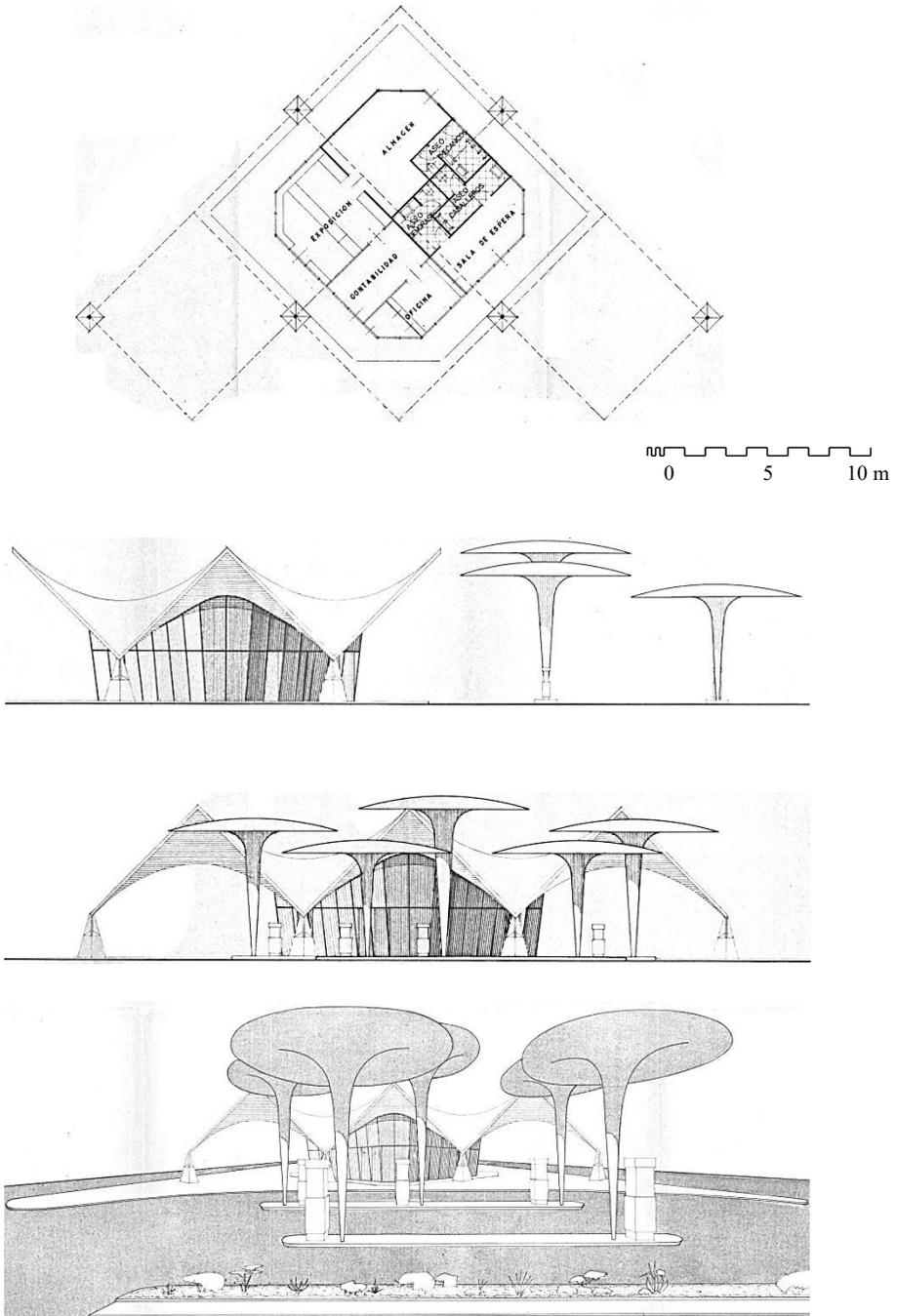


Imagen 2.127. Planta, alzados y perspectiva.

En la década de los años 50 se inicia una época de optimismo social en Estados Unidos fruto de la victoria en la Segunda Guerra Mundial y la recuperación económica que, tras la Gran Depresión, supuso el auge de la industria bélica. Aquella nueva etapa se basó en el consumo como catalizador económico y la confianza en el progreso tecnológico. Estéticamente se concretó en el movimiento “googie” heredero del futurismo y de su pasión por la velocidad, la máquina y en concreto del automóvil, reflejándose en edificios de servicios vinculados a la red de carreteras, que constituyen el entramado de la cultura de Estados Unidos.



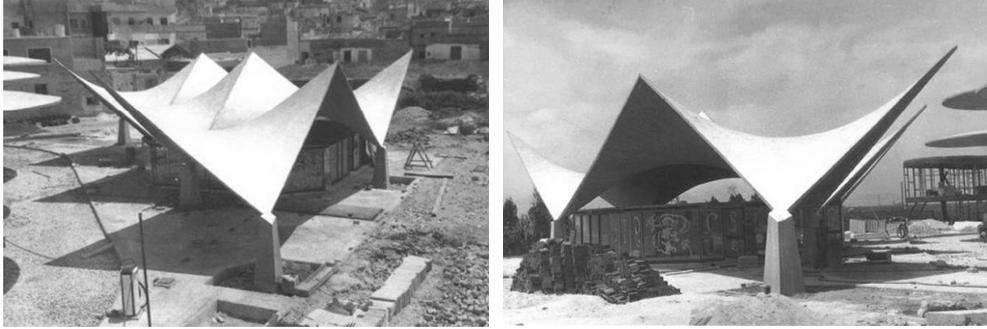
Fuente: (De Haro Piñar, 1960)

Imagen 2.128. Vistas históricas.

Aunque EE.UU. comienza en esa época un acercamiento al régimen de franco como aliado ante el comunismo que culminó con el ingreso de España en la ONU en 1955, no fue hasta finales de la década, con el fin de la política autárquica, que se establecieron las bases del “milagro económico español” (Rincón de la Vega & Tejedor Fernández, 2014). La apertura al mercado internacional trajo a España el desarrollismo e inicia la industria del turismo, que se ha convertido en una de las más potentes del país. En España y Europa, el estilo que representa este nuevo período de euforia económica es continuador del movimiento moderno, interrumpido por el período de guerras y reconstrucción y, en el caso de España, por el clasicismo y eclecticismo de los primeros años de la dictadura. El movimiento moderno, de lenguaje más sobrio y sincero que el “googie” estadounidense, comparte con él su interés por el automóvil y su entorno, como se observa en el cuidado diseño de los hermanos Prouvé de una estación de servicio en Francia en 1953.

La popularidad de la estética moderna pone de acuerdo a arquitectos, artesanos y empresarios que verán las virtudes publicitarias de un estilo que acogerá tanto a turistas como

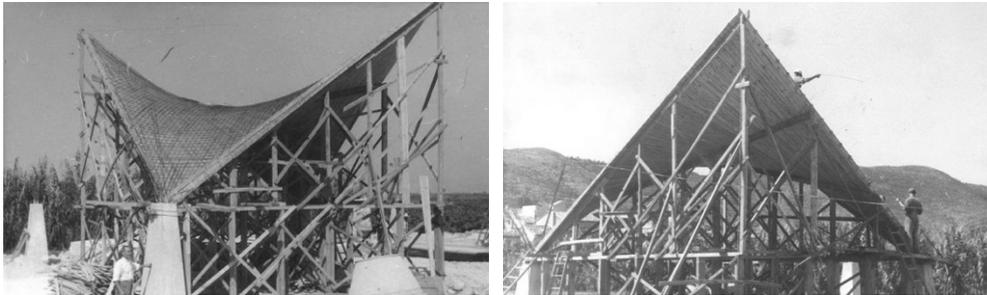
a la población joven esperanzada en la apertura del régimen. Las autoridades de la dictadura aprovecharon también la capacidad propagandística de este estilo para dar una imagen moderna del régimen ante turistas y gobiernos extranjeros.



Fuente: (De Haro Piñar, 1960)

Imagen 2.129. Vistas históricas.

En este contexto los hermanos Rafael y Francisco Just Racaño promovieron en 1960 una estación de servicio en Oliva (Valencia) (Uriós Mondéjar, Estación de Servicio el Rebollar., 2002). Para diseñarla eligieron a Juan de Haro Piñar (1924-2003). El arquitecto barcelonés ya había tratado previamente la tipología en un proyecto en Santander donde aparecen por primera vez un conjunto de marquesinas a distinta altura a modo de "setas". En un proyecto de estación de servicio posterior en León utilizó el paraboloides hiperbólico como lectura moderna de una cubierta inclinada de protección frente a las inclemencias atmosféricas.

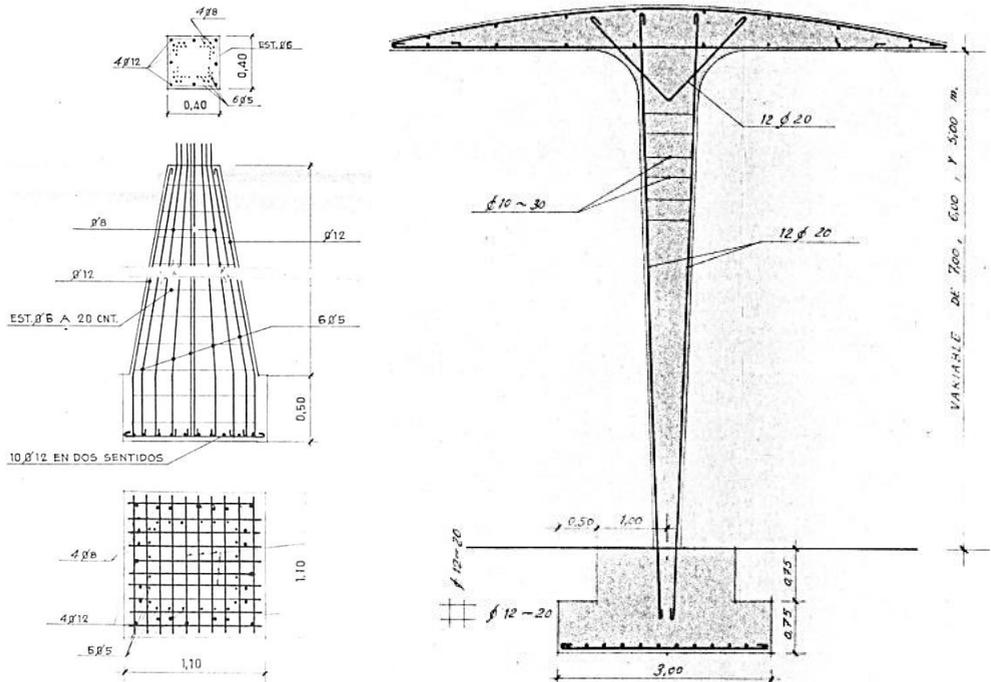


Fuente: (De Haro Piñar, 1960)

Imagen 2.130. Vistas de la construcción.

De Haro se tituló en 1953 en Barcelona. Un año después se trasladó en Madrid donde trabajó como delineante para el arquitecto Francisco Prieto Moreno, estableciendo en 1958 su propio estudio profesional (Grande García, 2013).

La estación de servicio consta de tres sectores. El principal, el pabellón de servicios, está formado por seis paraboloides hiperbólicos de hormigón armado de 8 cm de espesor y con refuerzo con doble malla de acero (Imagen 2.132) (Gallardo Llopis, Borcha Lara, & Ferrándiz López, 2019). Los paraboloides son de planta cuadrangular, de 7 m de lado, y están seccionados por planos inclinados que dejan cuatro bordes libres de tensiones normales. La distancia entre apoyos y entre vuelos es de 9,90 m y la altura de las cubiertas de 7 metros incluidos los 2 m de los pináculos de hormigón armado sobre los que se apoyan con nudo articulado gracias a compartir al menos un borde.



Fuente: (De Haro Piñar, 1960)

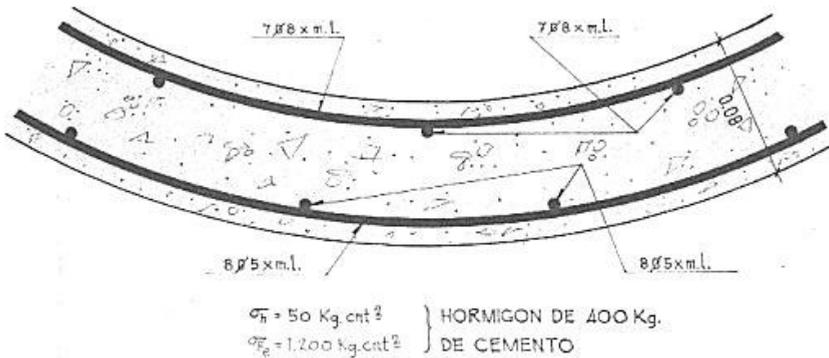
Imagen 2.131. Planos de estructura: Apoyos articulados y estructuras fungiformes.

El encofrado de las láminas se realizó con tablillas de madera de canto, siguiendo las generatrices rectas de los paraboloides, lo que les otorga una rica textura (Imagen 2.125). Aunque en proyecto se previó cerrar con carpintería y vidrio hasta la lámina (Imagen 2.127), finalmente se ejecutaron unos módulos independientes que permitían una lectura más clara de la cubierta (Imagen 2.129). En la actualidad esta nitidez se ha perdido por el cerramiento con muros de fábrica hasta la lámina.

Al otro lado de una de las calles está restaurante sólo queda la estructura. Recuerda de modo muy literal el restaurante Ariston, construido en 1948 por el arquitecto Marcel Breuer en Mar de Plata, en Argentina. (De Haro Piñar, Proyecto estación de servicio en

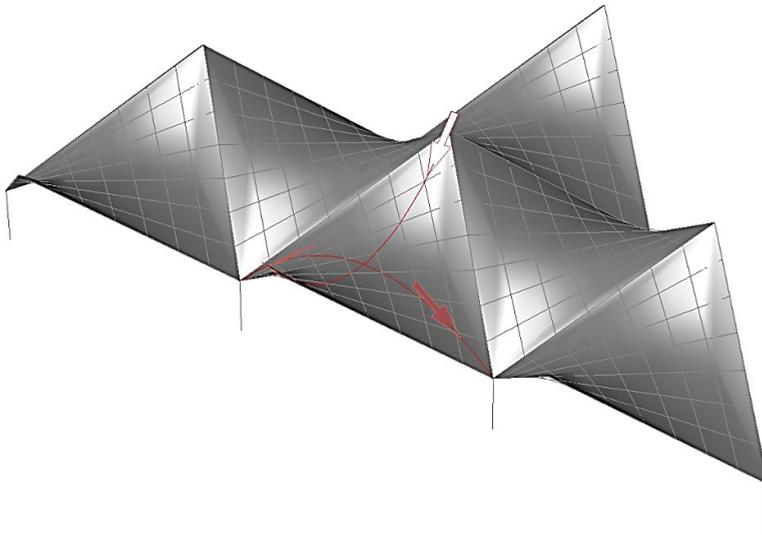
Oliva (Valencia), 1960). Frente a los paraboloides están los surtidores protegidos por unas estructuras que recuerdan a las “setas” del edificio Johnson Wax, construido por Frank Lloyd Wright del 1936 a 1939. Al ponerlos las cubiertas a distintos niveles, de Haro solucionaba la problemática de las distintas alturas de los vehículos a la vez que integraba la escala humana y urbana (Imagen 2.128) (De Haro Piñar, Estación de servicio en Oliva, 1963).

Agradecimientos: Juan Ramón Porta Sancho. Arquitecto Técnico. Ajuntament d’Oliva. / Miguel Just Pérez.



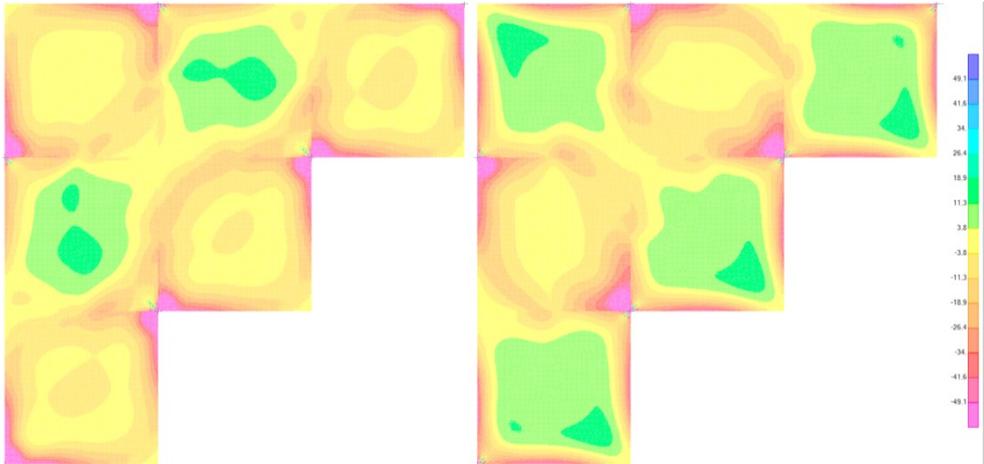
Fuente: (De Haro Piñar, 1960)

Imagen 2.132. Plano de estructura: Sección de la lámina.



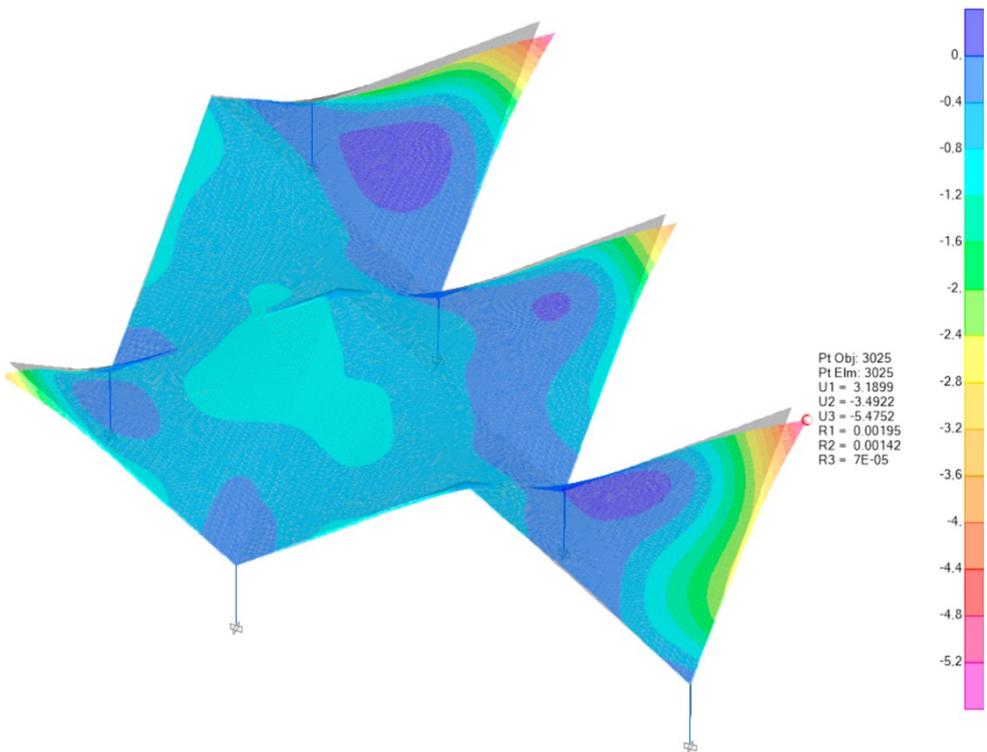
Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.133. Modelo tridimensional de la estructura.



Fuente: (Gallardo Llopis, Borchá Lara, & Ferrándiz López, 2019)

Imagen 2.134. Momentos en la lámina.



Fuente: (Gallardo Llopis, Borchá Lara, & Ferrándiz López, 2019)

Imagen 2.135. Deformada de la estructura.

2.2.12. *Fábrica Interfruit.*

N-332 Km 206,9. Oliva.

Pablo Pintado Riba / Ignacio Faure Rodrigo

1964-1966.



Fuente: (VV.AA. Registro de arquitectura del siglo XX en la C.V. , 2002)

Imagen 2.136.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.137. Situación.



Fuente: (V.V.AA., 2002)

Imagen 2.138.



Fuente: (Caballero Gento, 2013)

Imagen 2.139.

EDIFICIO: Fábrica Interfruit.

SITUACIÓN: N-322, Km 206,9. Oliva (València).

PROMOTOR: Interfruit S.A.

PROYECTO: Pablo Pintado Riba (Arquitecto). / Ignacio Faure Rodrigo (Arq. col.).

INICIO DEL PROYECTO: 1964

FINAL DE OBRA: 1966

CONSTRUCTOR: Construcciones Laminares S.L.

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: tubular metálica. / ENCOFRADO: tablas de madera.

ESTRUCTURA: Superficie de doble curvatura anticlástica: 4 secciones de paraboloides hiperbólicos apoyados en pilar central, con forma de paraguas invertido. / Luz: 22,40m. / Espesor: 4 cm. Armado con una sola capa.

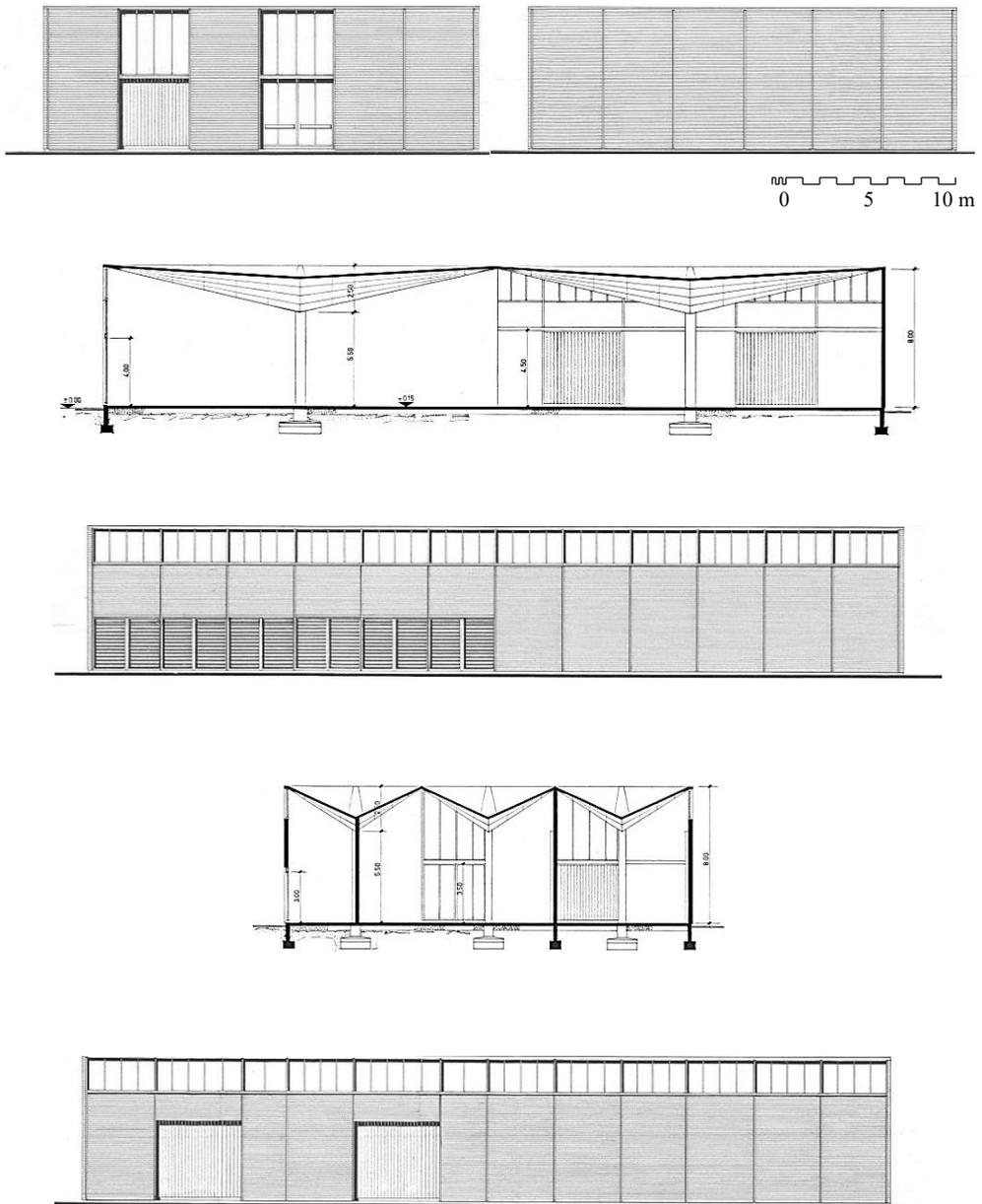


Imagen 2.140.



Fuente: (Caballero Gento, 2013)

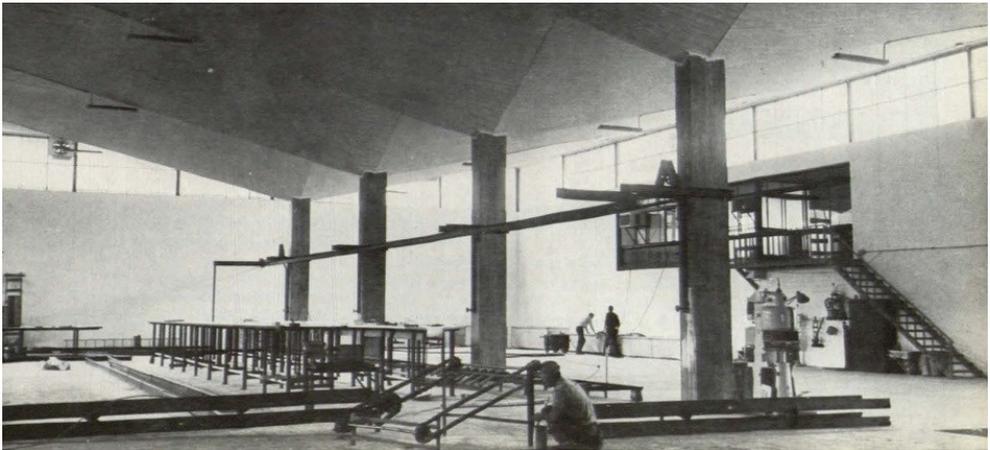
Imagen 2.141.



Fuente: (Pintado Riba, Proyecto de fábrica en Oliva, 1964)

Imagen 2.142. Alzados y secciones del almacén de piensos.

Pablo Pintado Riba (1924-2007) ejerció el magisterio y trabajó en el Instituto Geográfico Nacional, como geógrafo, hasta su titulación en arquitectura y urbanismo en Madrid, de donde es originario y finalmente se doctoró. A pesar de estar preso durante un año por sus manifestaciones contra la dictadura, derivadas de los ideales regeneracionistas que le infundieron sus padres, en 1958 fue galardonado con el premio Nacional de arquitectura. Ganó, también, en 1964 el concurso para proyectar una de sus obras más célebres, el Palacio de Congresos y Exposiciones de Madrid. Compaginó su labor profesional con la docencia en las Escuelas de Arquitectura y de Aparejadores en Madrid. En 1993 y 2006 le fueron otorgadas, respectivamente, las medallas de Plata y Oro del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.



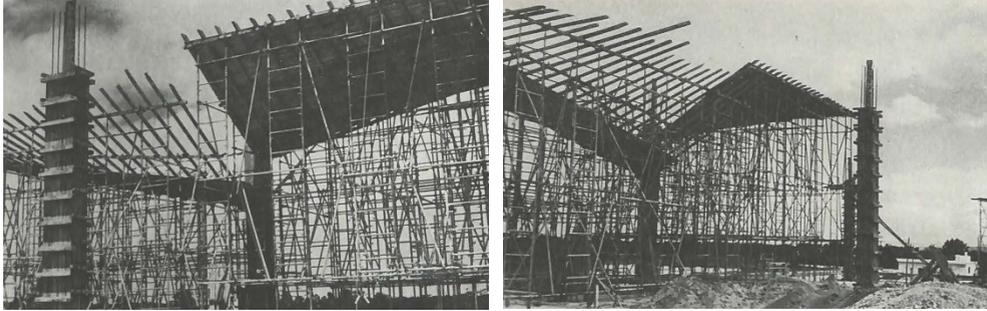
Fuente: (Pintado Riba & Faure Rodrigo, *Fábrica de zumos en Oliva*, 1966)

Imagen 2.143. Vista histórica.

En 1964 recibió el encargo de Juan Sivera Roig, de proyectar unas naves para el almacenaje y procesamiento de naranjas de la empresa que preside, Interfruit España S.A., junto a la N-322, al Sureste del municipio valenciano de Oliva (Uriós Mondéjar, *Fábrica Interfruit en España*, 2002). El complejo consta de dos naves principales destinadas al almacenaje de naranjas y pienso. La cubierta de los dos pabellones está formada por dos cuadrículas con un total de 26 paraguas de hormigón armado de 22,50 m en un sentido y 8 m en el transversal y altura, incluido el canto de 2,5 m de la cubierta (Imagen 2.136). Se disponen sobre un pilar en el centro de 40 x 60 cm que engloba la bajante de pluviales de cubierta (Imagen 2.149) (Caballero Gento, 2013).

Cada paraguas está formado por cuatro secciones de paraboloides hiperbólicos con un espesor de lámina de 4 cm que encierra un simple mallazo de acero. Debido a la longitud de cada módulo requieren refuerzo de armadura en el borde, por tracción y en el valle, por compresión, a pesar de que la superficie cubierta, de 180 m², es menor de 200 m², superficie a partir de la cual es aconsejable reforzar (Imagen 2.147). La esbeltez de los

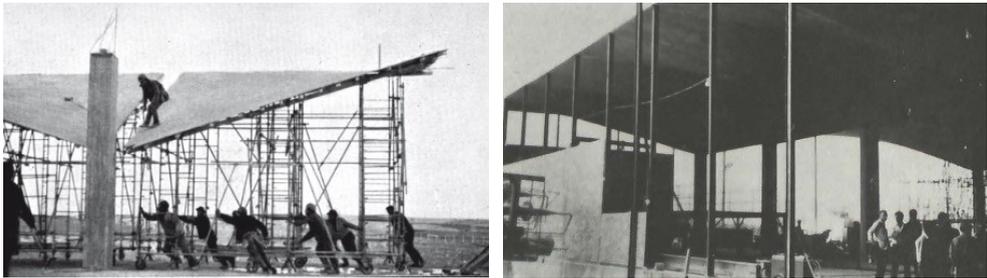
paraguas, resultado de dividir el vuelo por el canto, es de 9 en un sentido, transmitiendo una sensación de ligereza y menor espesor, y de 3,2 en el perpendicular, dando una impresión abovedada (Pintado Riba & Faure Rodrigo, Fábrica de zumos en Oliva, 1966).



Fuente: (Pintado Riba & Faure Rodrigo, Fábrica de zumos en Oliva, 1966)

Imagen 2.144. Vistas de la construcción.

El cálculo de la cubierta fue realizado por Ignacio Faure Rodrigo, que fue formado por Félix Candela en su constructora Cubiertas Ala en México, al igual que los arquitectos españoles José Ruiz-Castillo y Ricardo Urgoiti. Faure volvió a trabajar con ellos en la cubierta del templo proyectado por Fray Coello de Portugal en Torrelavega (Coello de Portugal, Estructuras laminares en España, 1968).



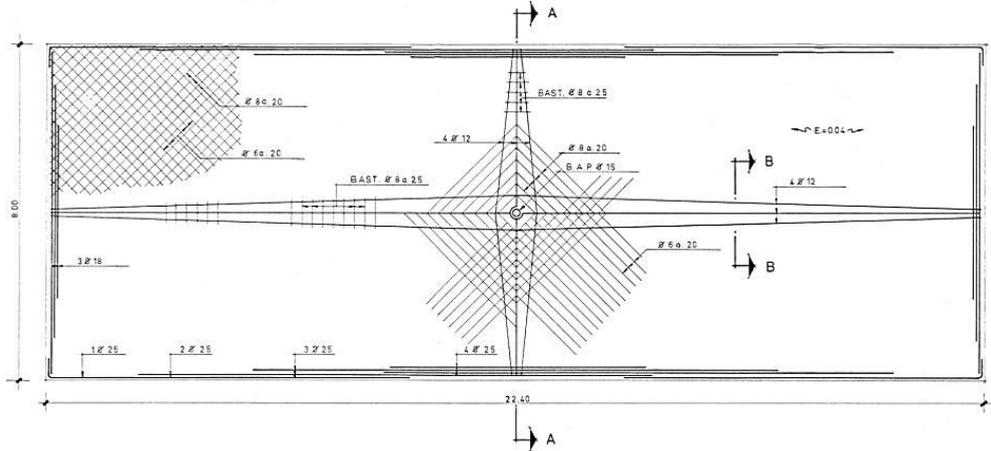
Fuente: (García García, 2015)

Fuente: (Pintado Riba, , 1964)

Imagen 2.145. Vistas de la construcción.

Tras su vuelta de México Ruiz-Castillo y Urgoiti se asociaron creando la constructora Construcciones Laminas S.L. Además del cálculo su misión era la de organizar y controlar la ejecución de la obra. Para reducir los plazos de ejecución empleaban cimbras móviles, dos en obras de hasta 2.500 m² y tres en las de mayor superficie. Emplean también aceleradores del fraguado, que permitían el descimbrado a las 36 horas del hormigonado. De este modo llegaron a ejecutar una nave en Barajas de 2.160 m² de superficie en sólo un mes. Los 4.680 m² de cubierta de Oliva se ejecutaron en un plazo de tres

meses utilizando sólo dos cimbras. Cada cimbra sostenía el encofrado de tablillas de 5 cm dispuestas según las generatrices rectas de un cuarto de paraguas. El proceso de desencofrado se veía facilitado por la doble curvatura de los paraboloides hiperbólicos (Imagen 2.144).



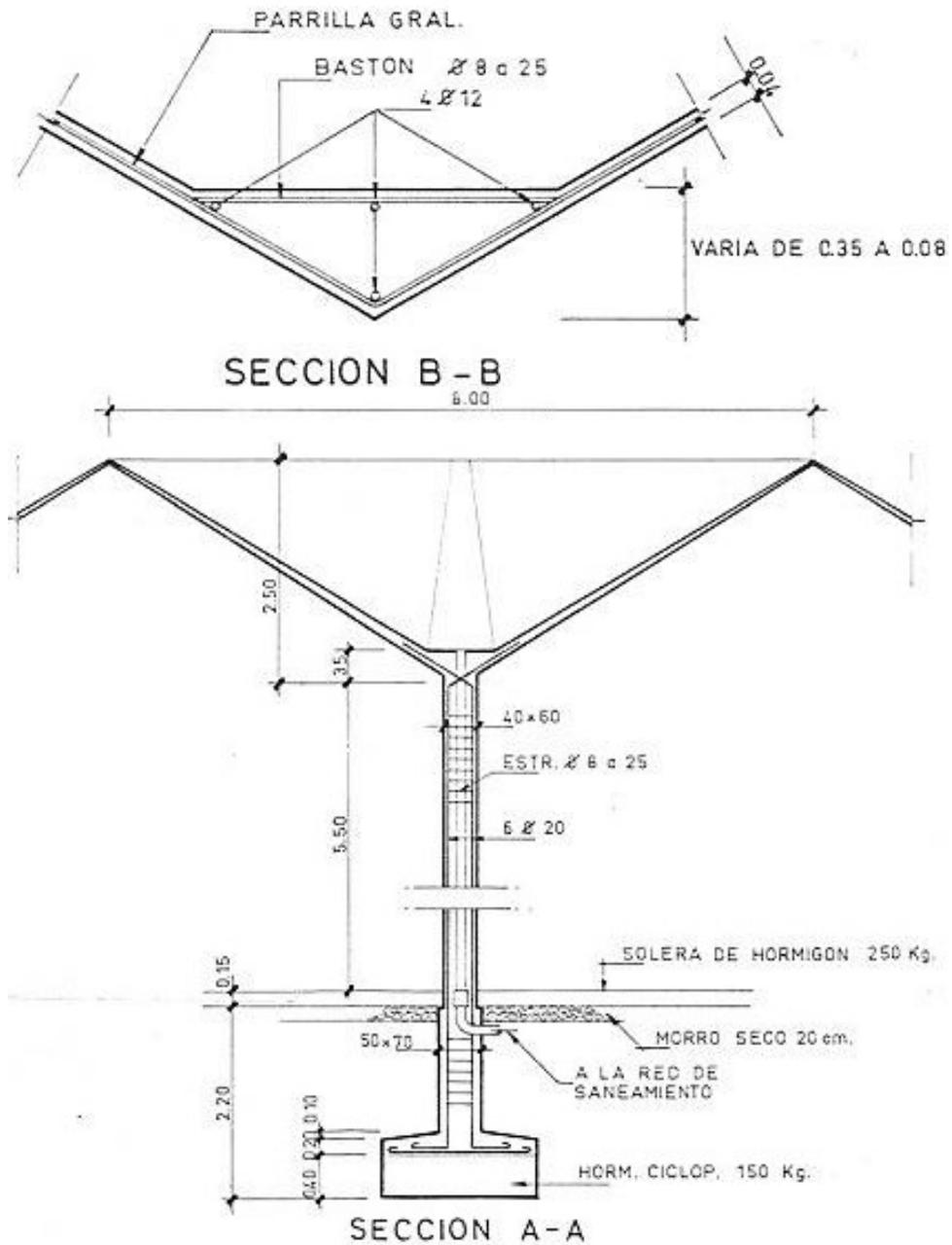
Fuente: (Pintado Riba, Proyecto de fábrica en Oliva, 1964)

Imagen 2.146. Planta estructural. Arnado.

A pesar del ahorro del material que supone el uso de láminas de hormigón armado, en la fábrica de Oliva, su ejecución consume el 37% del presupuesto destinado a la construcción de las naves y el 26% del presupuesto de ejecución material de todo el complejo. Este hecho hizo inviable esta tipología estructural en los años ochenta del siglo pasado, debido al aumento de los costes salariales (García García, *Paraboloides hiperbólicos en España. Las aplicaciones industriales*, 2015).

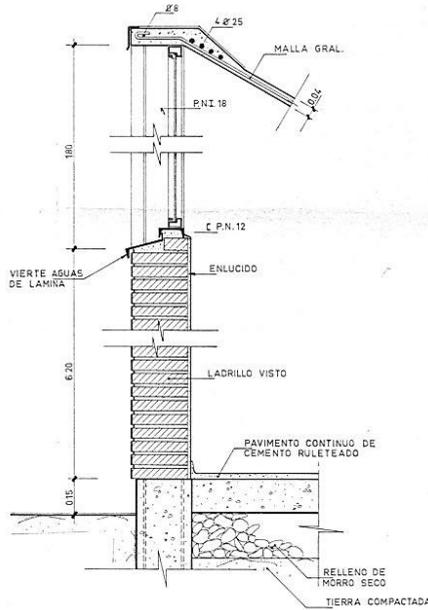
El conjunto empresarial lo completan otros tres pabellones aislados o adosados a los dos anteriores y destinados a las funciones auxiliares asociadas a la actividad principal de la empresa (Pintado Riba, *Proyecto de fábrica en Oliva (Valencia)*, 1964). Los alzados reflejan el racionalismo propio de la época y recuerdan a los de su precursor Walter Gropius y Adolf Meyer en la fábrica Fagus con el uso de paramentos de ladrillo y carpinterías metálicas de acero negras y vidrio. Las naves continúan en la actualidad con su actividad empresarial. A pesar de haber sido mantenidas, la funcionalidad ha conducido a la progresiva desaparición de la imagen racional de la factoría y de sus paraguas tras paneles de fachada, falsos techos y otros elementos impropios (Imagen 2.141).

Agradecimientos: Pedro A. Caballero Gento. Arquitecto Técnico. / Juan Ramón Porta Sancho. Arquitecto Técnico. Ajuntament d'Oliva. / Antonio Barceló. Refrescos Iberia S.A.U.



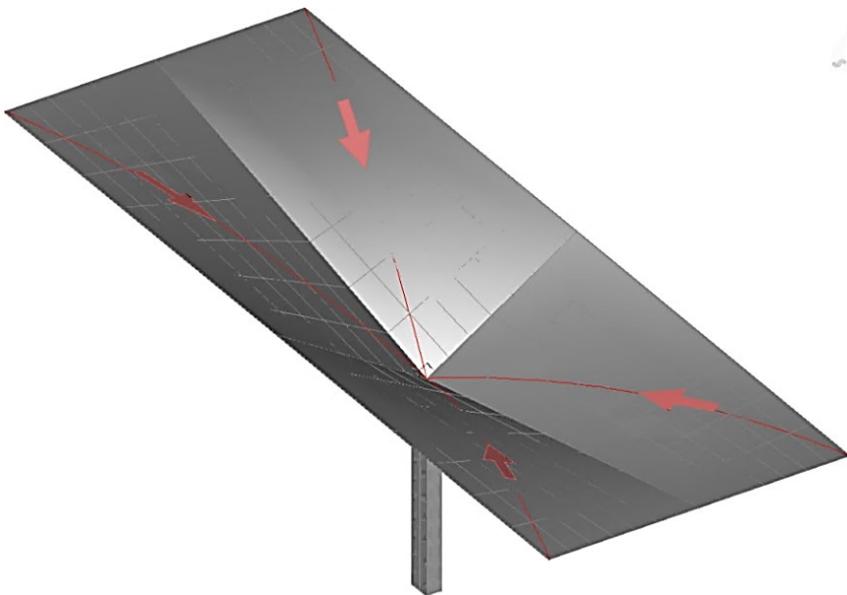
Fuente: (Pintado Riba, Proyecto de fábrica en Oliva, 1964)

Imagen 2.147. Sección de la estructura.



Fuente: (Pintado Riba, Proyecto de fábrica en Oliva, 1964)

Imagen 2.148. Sección constructiva



Fuente: Elaboración propia

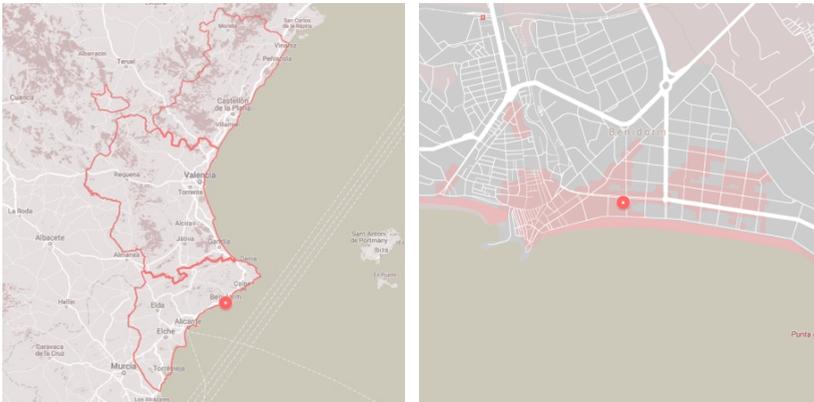
Imagen 2.149. Modelo tridimensional de la estructura.

2.2.13. *Iglesia de N^a Señora del Carmen.*

**C. Sacerdote Juan Rodríguez Serrano, 3 Benidorm.
Antoni Corell / PRODEIN Ingeniería
1973-1974.**



Imagen 2.150.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.151. Situación.



Imagen 2.152.



Imagen 2.153.

EDIFICIO: Iglesia de Nª Señora del Carmen.

SITUACIÓN: C. Sacerdote Juan Rodríguez Serrano, 3. Benidorm (Alacant).

PROMOTOR: Mn. Juan Rodríguez Serrano.

PROYECTO: Antoni Corell (Arquitecto). / PRODEIN Ingeniería.

INICIO DEL PROYECTO: 1973

FINAL DE OBRA: 1974

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: Entramado de madera. / ENCOFRADO: Tablas de madera.

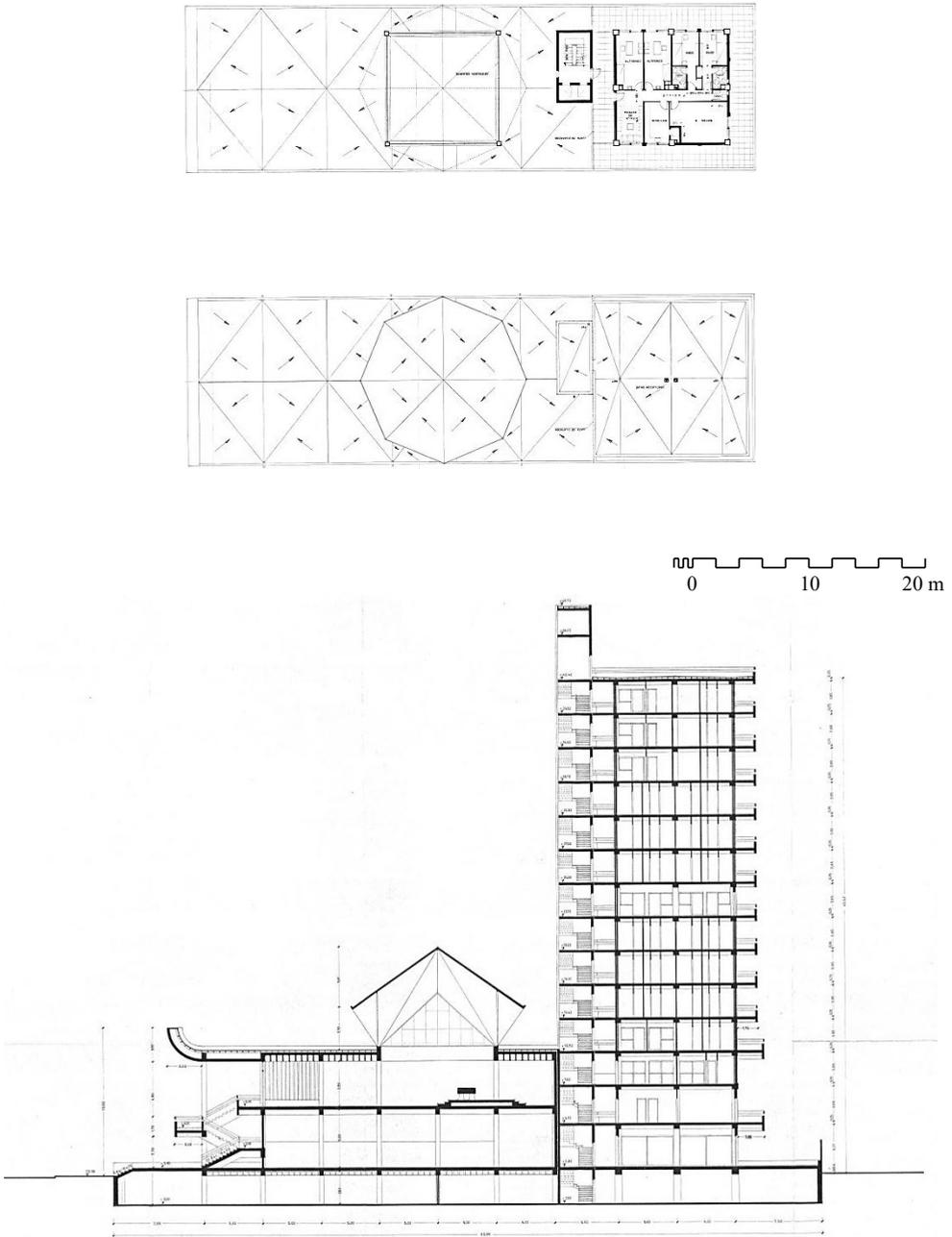
ESTRUCTURA: Lámina plegada hormigón armado. / Luz entre apoyos: 10m; Luz transversal entre vuelos: 15m. / Espesor: 6 cm.



Imagen 2.154.

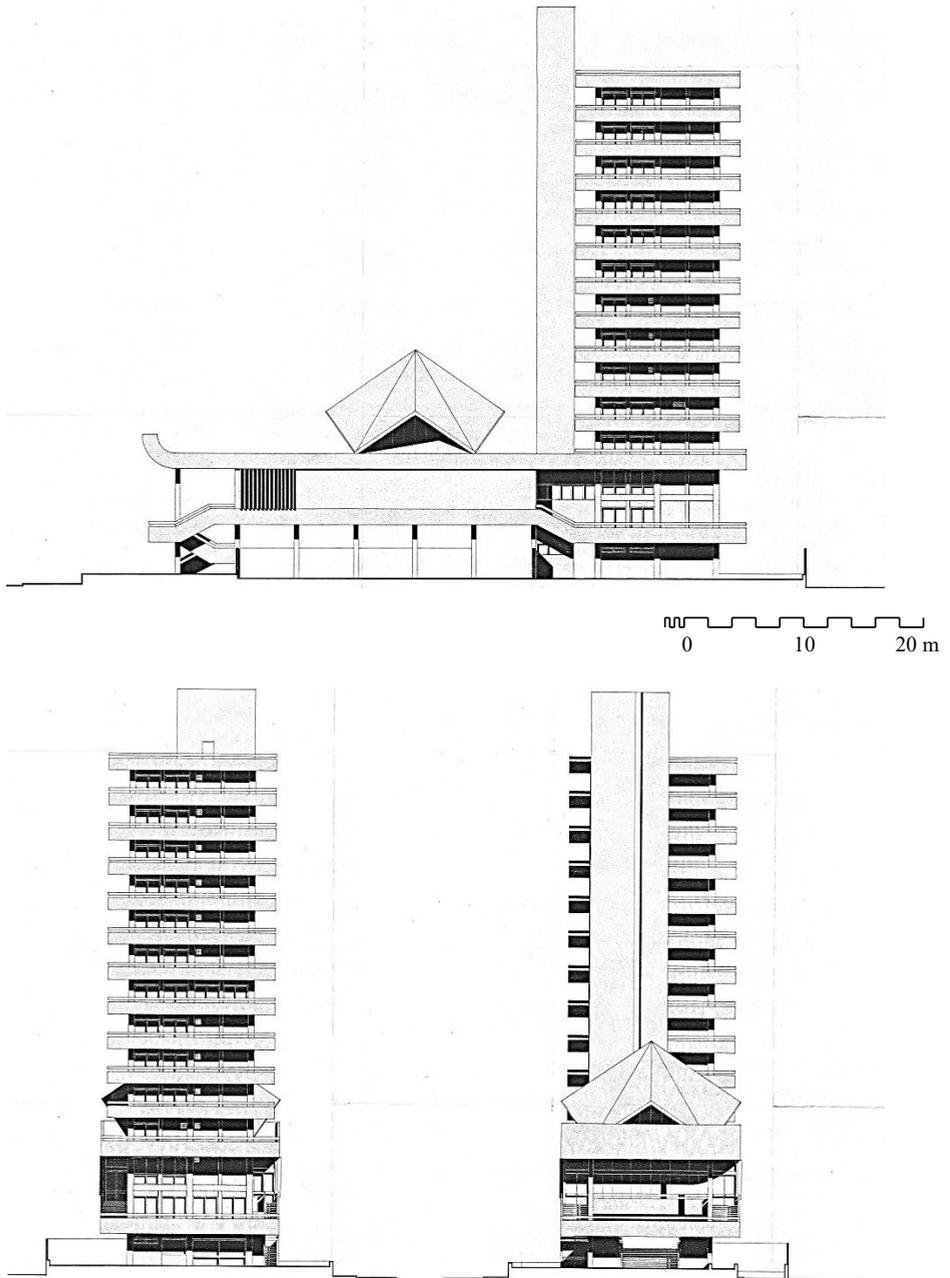


Imagen 2.155.



Fuente: (Corell Vicent, 1973)

Imagen 2.156. Plantas y Sección.



Fuente: (Corell Vicent, 1973)

Imagen 2.157. Alzados.

Se trata de un templo moderno formado por un edificio horizontal con una torre en altura adosada, propia de la zona de ensanche de Benidorm, en el que se emplaza. El edificio en altura, presidido con una gran cruz y con función añadida de campanario con reloj en su coronación, alberga dependencias auxiliares de la parroquia, casa parroquial, una residencia de las religiosas que atienden la parroquia y otra estival para sacerdotes (Imagen 2.150).

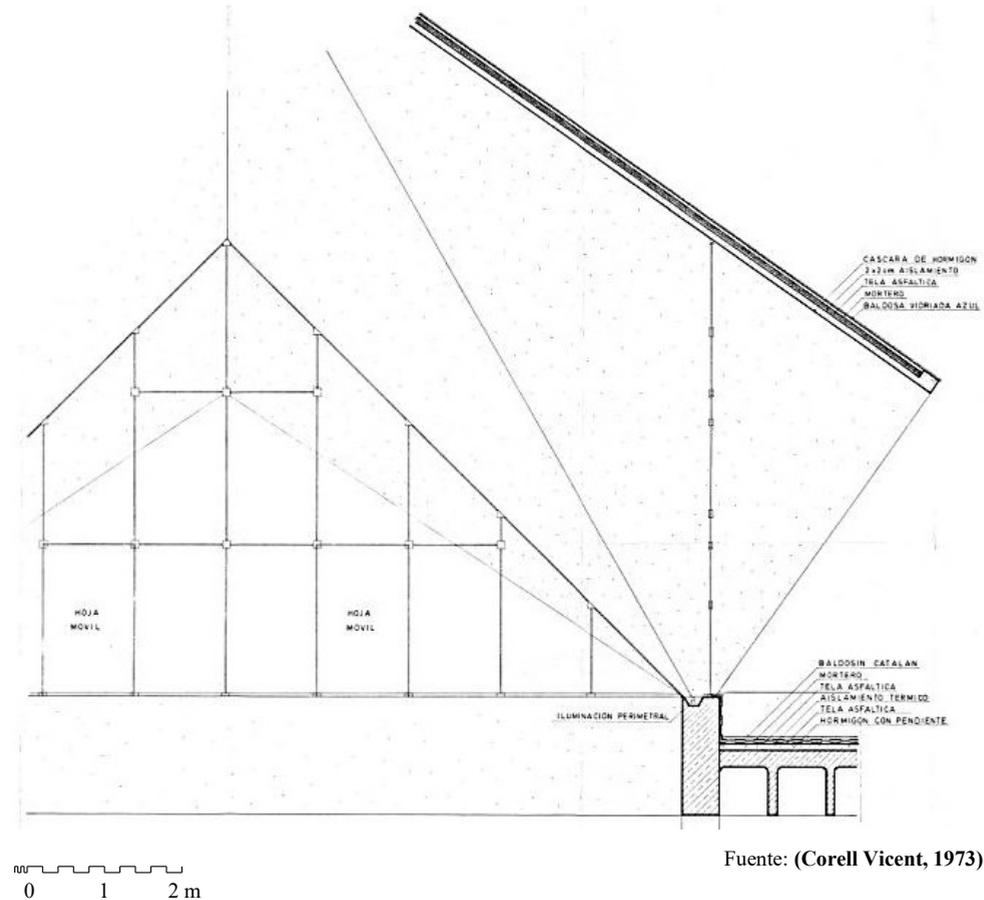


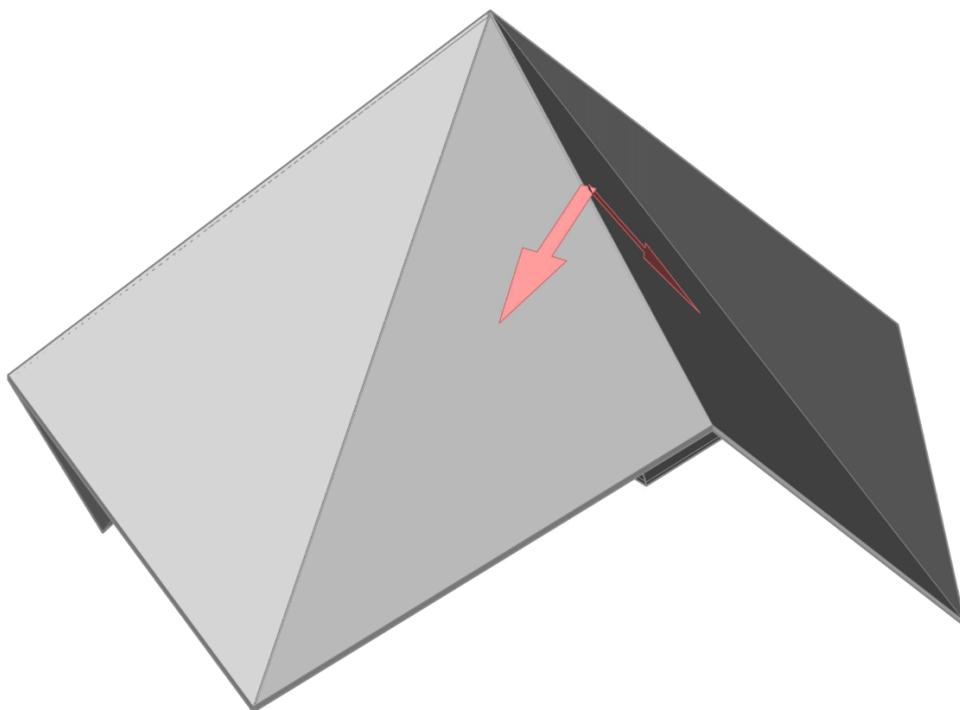
Imagen 2.158. Sección constructiva.

Desde la Avda. Mediterráneo, que constituye la fachada principal del cuerpo horizontal (Imagen 2.157), se accede por una gran escalera exterior a la iglesia en planta primera. Debajo, a nivel de calle y con acceso desde la fachada lateral, hay un salón multiusos, que ha acabado utilizándose como iglesia de diario por cuestiones de accesibilidad, como ya advirtió el arquitecto a los promotores en fase de proyecto.

La iglesia sigue el concepto de templo como casa del pueblo de Dios, emanado del concilio Vaticano II, y que se traduce, entre otras cosas, en mayor centralidad del presbiterio (Martínez Medina, Formigón diví, *llum humana: religiositat i modernitat en les esglésies d'estiueig del sud valencià* (1959-1974), 2002-2003). La nave tiene una altura de 3,80 m que insiste en esta dimensión antropocéntrica (Imagen 2.156). A partir de la mitad de la nave, su escasa altura se ve interrumpida por un cimborrio cuadrado de 10 m de lado y una altura de 8,8 m (Corell Vicent, 1973).

La cubierta de este elemento está formada por una lámina de hormigón armado de 6 cm (Imagen 2.158) y plegada a ocho caras y apoyada en los cuatro vértices del cimborrio. La lámina se complementa constructivamente por 4 cm de aislamiento térmico, una capa de mortero de protección, lámina asfáltica y cerámica vidriada azul, colocada con mortero, que finalmente fue sustituida por tejas asfálticas. Las aberturas triangulares en la base se cierran con grandes lucernarios que constituyen la fuente fundamental de luz de la nave, confiriéndole un ambiente propicio a la meditación (Imagen 2.153).

Agradecimientos: Antoni Correll Vicent. Arquitecto. Archivo. / Luis de Andrés Mir. Ingeniero de Caminos. / Enrique Jordá. Vicario Parroquia N^a Señora del Carmen. Benidorm. / Archivo Municipal de Benidorm.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.159. Modelo tridimensional de la estructura.

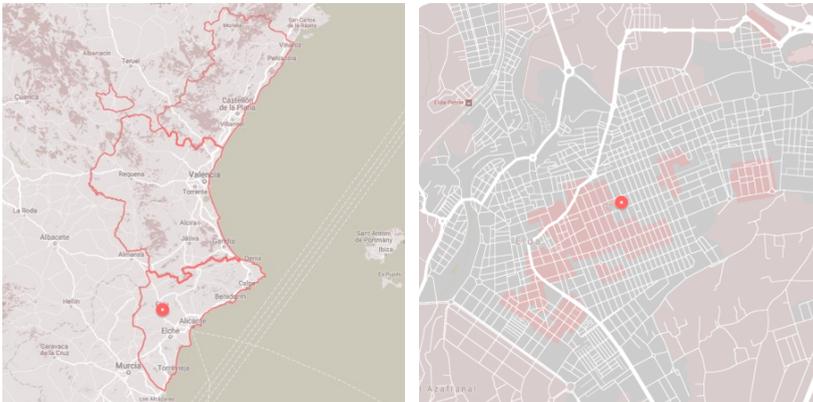
2.2.14. *Cubierta Plaza Castelar.*

Plaza Castelar. Elda.

**José L. Valero / Nemesio Espinosa
1978-1981.**



Imagen 2.160.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.161. Situación.



Fuente: Archivo Efealcubo arquitectura.

Imagen 2.162.



Imagen 2.163.

EDIFICIO: Cubierta en Plaza Castelar.

SITUACIÓN: Plaza Castelar. Elda (Alacant).

PROMOTOR: Ayuntamiento de Elda.

PROYECTO: José L. Valero Nuevo (Arquitecto). / Nemesio Espinosa (Ingeniero).

INICIO DEL PROYECTO: 1978

FINAL DE OBRA: 1981

CONSTRUCTOR: Estructuras Altamira S.A.

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: Entramado de madera y puntales metálicos. / ENCOFRADO: Tablillas de madera siguiendo la dirección de las generatrices.

ESTRUCTURA: Superficie de doble curvatura anticlástica: Paraboloide hiperbólico. Uso de nervios de borde y apoyo trasero con pilares metálicos. / Luz: 24 m. Transversal: 16,80 m. / Espesor: 7,5 cm. doble capa de armado.



Imagen 2.164.



Imagen 2.165.

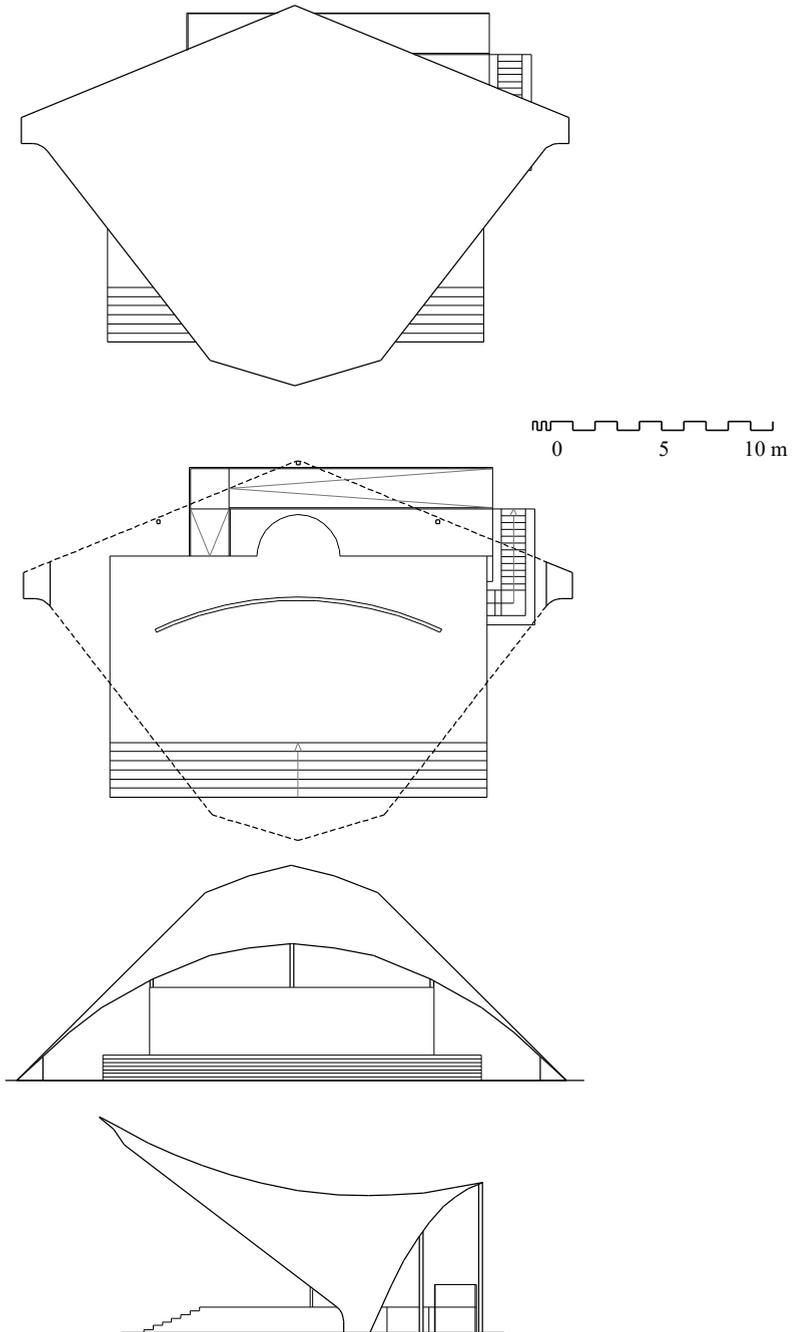


Imagen 2.166. Plantas y alzados.

La plaza de Emilio Castelar recibe su nombre del presidente de la Primera República, que pasó parte de su infancia en el municipio de Elda. Se creó gracias a una cesión de suelo de la Cooperativa “El Progreso”, creada con el fin de edificar viviendas obreras. En 1948 se realizó en la plaza un templete de música historicista obra del arquitecto Miguel López González que fue derruido en 1962 por problemas de visibilidad

En 1978, se encargó al arquitecto José Luis Valero Nuevo, vecino de Elda, el proyecto de una nueva estructura más acorde a la modernidad de la época en que se edifica. Se eligió una cubierta formada por una lámina de hormigón armado que fue calculada por ingeniero Nemesio Espinosa.



Fuente: Archivo José. L. Valero Nuevo

Imagen 2.167. Vistas durante la construcción.

La cubierta es un paraboloide hiperbólico biapoyado seccionado por un plano inclinado en la parte frontal que genere un borde libre de esfuerzos normales, y en la parte posterior por otro, asimétricos con respecto a los apoyos, que estabilizará reforzando el borde mediante un nervio unido a 3 pilares metálicos que actuarán de tirante o pilar según el sentido de la actuación del viento (Imagen 2.169).

La lámina tiene 7,5-12 cm de espesor y está armado con doble mallazo por razones constructivas (Imagen 2.167). La luz entre los apoyos es de 24 m y el vuelo frontal de 16,80 m (Imagen 2.166). Para mejorar el comportamiento acústico del paraboloide

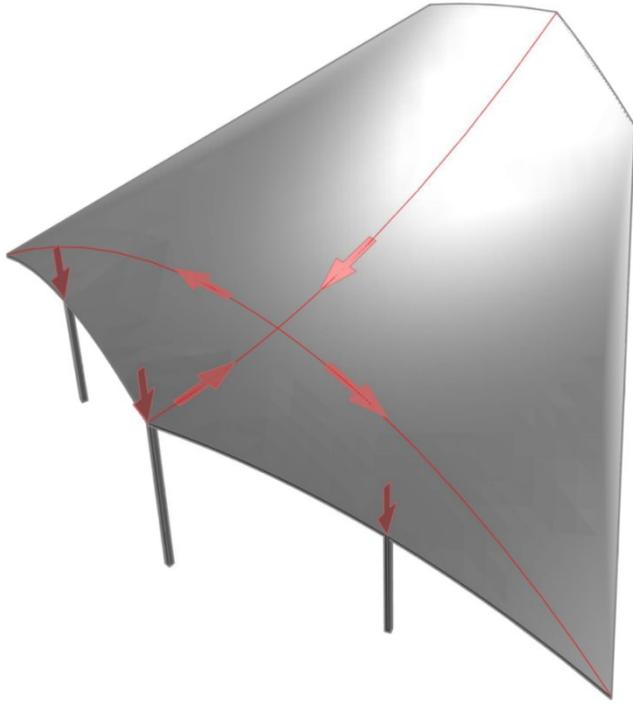
hiperbólico se dispuso, como fondo del escenario, un muro tornavoz que no llega hasta la cubierta. el escenario está formado por una plataforma elevada, con escalinata frontal que, al igual que en el antiguo templete, cubre un almacén al que se accede por unas escaleras en la parte posterior. Fue rehabilitada junto a la plaza en el año 2.015.

Agradecimientos: José Luis Valero Nuevo. Arquitecto. / Nemesio Fernández. Ingeniero de Caminos. / M. Teresa Puentes Pérez. Arquitecta. Ayuntamiento de Elda. / Efealcubo arquitectura S.C.P.



Fuente: Archivo J. L. Valero Nuevo.

Imagen 2.168. Vistas durante la construcción.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.169. Modelo tridimensional de la estructura.

2.2.15. *Marquesina en Plaza Juan XXIII.*

Plaza Juan XXIII. Sant Vicent del Raspeig

José M. Chofre / Juan S. Pérez / José L. Frías / Florentino regalado

1990-1992



Imagen 2.170.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.171. Situación.



Imagen 2.172.



Imagen 2.173.

EDIFICIO: Marquesina en Plaza Juan XXIII.

SITUACIÓN: Parque Juan XXIII, Sant Vicent del Raspeig. (Alacant).

PROMOTOR: Ajuntament de Sant Vicent del Raspeig.

PROYECTO: José M. Chofre Gil. (Arquitecto). / Juan S. Pérez Parra. (Arquitecto). / José L. Frías Wamba. (Arquitecto). / Florentino Regalado Tesoro (Ingeniero).

INICIO DEL PROYECTO: 1990

FINAL DE OBRA: 1992

CONSTRUCTOR: CUBIERTAS Y MZOV S.A.

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: tubular metálica. / ENCOFRADO: Tablas de madera de canto siguiendo la dirección de las generatrices.

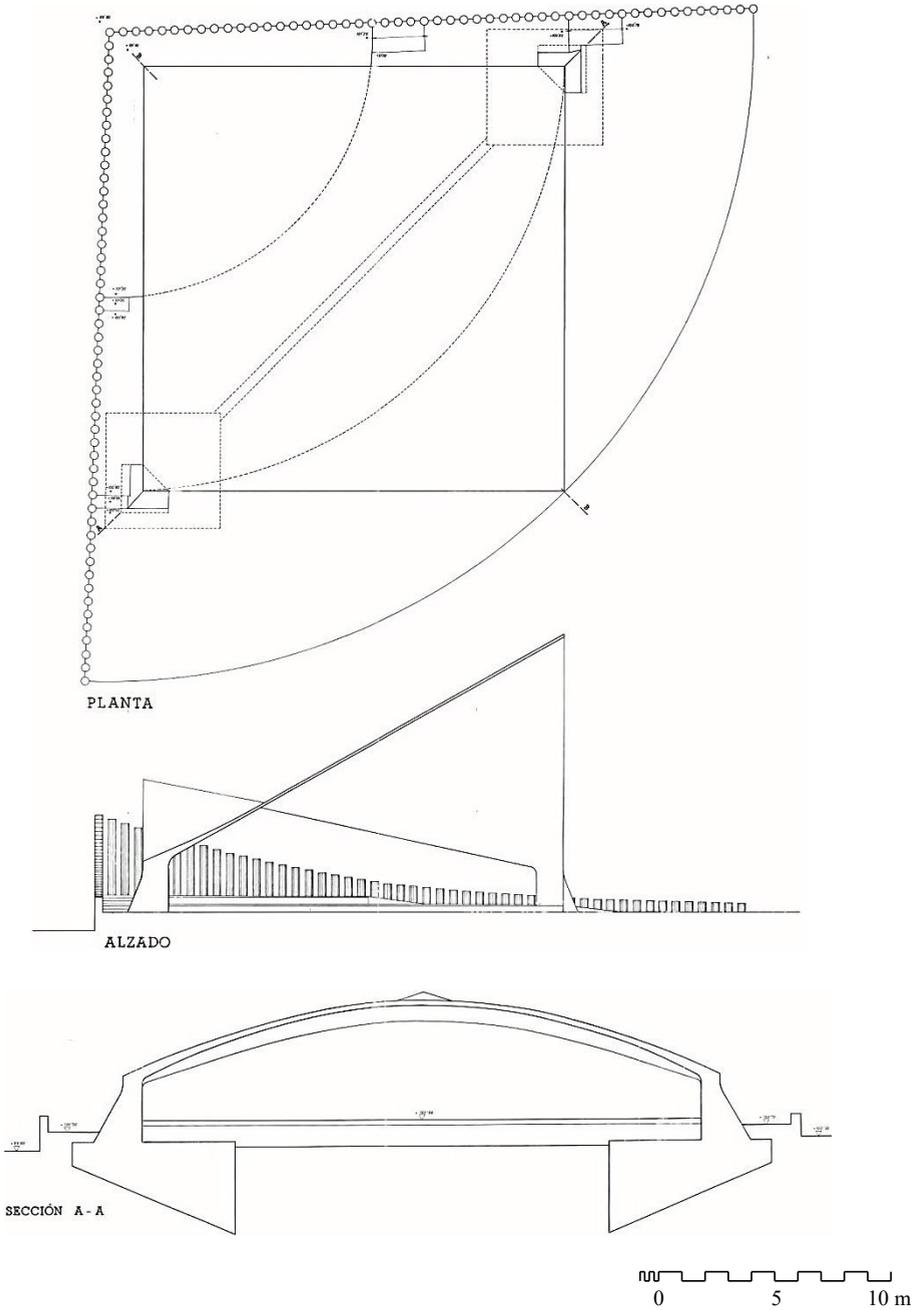
ESTRUCTURA: Superficie de doble curvatura anticlástica: Paraboloide hiperbólico. / Luz: 22,63 m entre apoyos y vuelos. / Espesor: 10 y 11 cm. Doble capa de armado.



Imagen 2.174.



Imagen 2.175.



Fuente: (Chofre Gil, Pérez Parra, Frías Wamba, & Regalado Tesoro, 1990)
Imagen 2.176. Planta, alzado y sección.

En 1990 Ayuntamiento de San Vicent del Raspeig promovió una marquesina para la Plaza Juan XXIII de la población. Quería dotarla de un elemento icónico que a la vez protegiese del polvo de las cementeras cercanas. Para el proyecto contó con los arquitectos José L. Frías Wamba y Juan S. Pérez Parra que trabajaron en colaboración con José M. Chofre Gil, arquitecto municipal. (Chofre Gil, Pérez Parra, Frías Wamba, & Regalado Tesoro, 1990)



Fuente: Archivo F. Regalado Tesoro.

Imagen 2.177. Vistas de la construcción.

La solución adoptada fue la de una lámina biapoyada de hormigón armado con forma de paraboloides hiperbólico. El Ingeniero de Caminos Florentino Regalado Tesoro fue el responsable del cálculo que fue realizado finalmente a mano, tras una etapa de investigación del marco teórico y descartarse la posibilidad del uso de computadores (Regalado Tesoro, *La humildad de la Ingeniería pura*, 1992). Félix Candela felicitó al equipo en persona al conocer la cubierta en una visita (Regalado Tesoro, *Un hiperboloide para Félix Candela*, 2019).

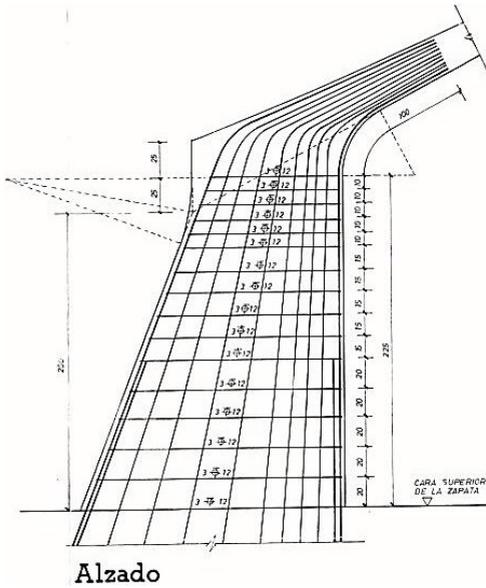
La cubierta es de planta cuadrangular de 16 m de lado y cubre una luz entre apoyos y vértices de los vuelos de 22,63 m, alcanzando una altura de 11,5 y 6 m (Imagen 2.176). La lámina tiene un espesor de 10 y 11 cm con un armado de doble capa, sobre todo, para facilitar el proceso de hormigonado (Imagen 2.178). El paraboloides está seccionado por dos planos inclinados por los apoyos de modo que deja dos bordes libres sin esfuerzos normales. Al igual que en la gasolinera de Oliva, se utilizaron como encofrado tablas de maderas, siguiendo la dirección de las generatrices rectas (Imagen 2.177).

Agradecimientos: José M. Chofre Gil. Arquitecto. / Florentino Regalado Tesoro. Ingeniero de Caminos. / (Alonso Durá & Llopis Pulido, 2019) Vicente Bevia Sogorb. Ayuntamiento de San Vicent del Raspeig.



Fuente: Archivo F. Regalado Tesoro.

Imagen 2.178. Vistas de la construcción.

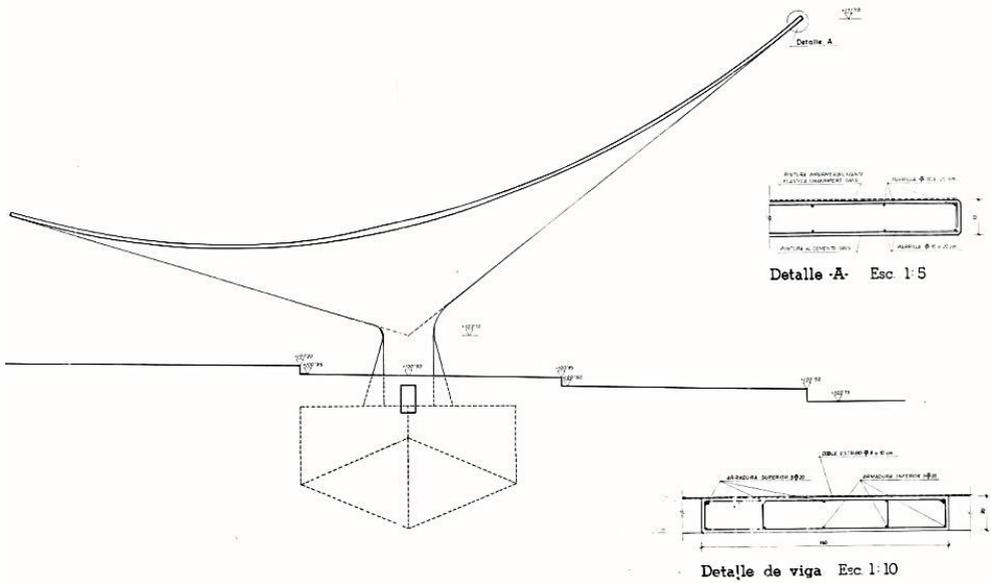


Fuente: (Chofre Gil y otros, 1990)



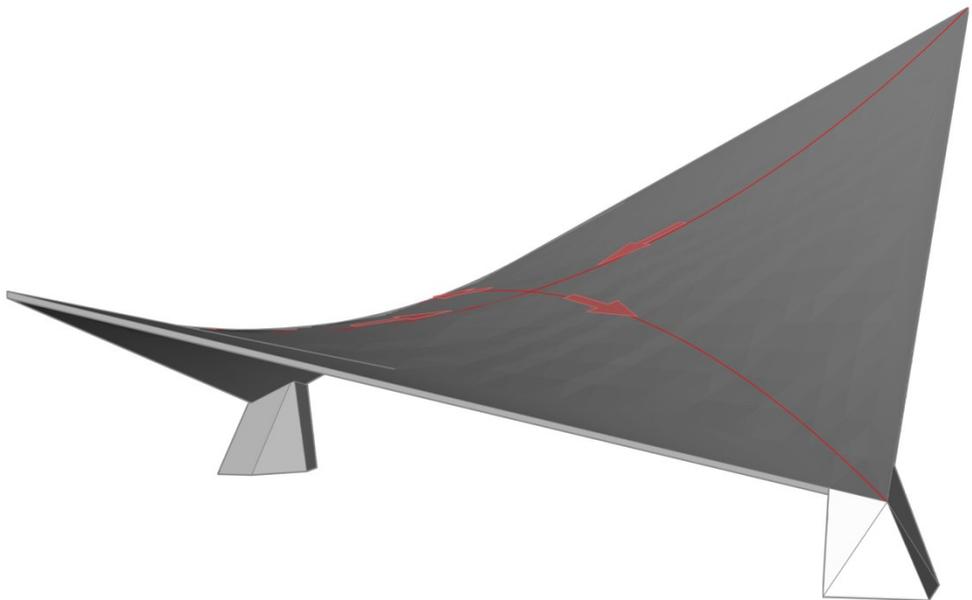
Fuente: Archivo F. Regalado Tesoro.

Imagen 2.179. Plano y vista del armado del apoyo



Fuente: (Chofre Gil, Pérez Parra, Frías Wamba, & Regalado Tesoro, 1990)

Imagen 2.180. Plano de estructura.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.181. Modelo tridimensional de la estructura.

2.2.16. *Porche en el colegio de Jesús y María.*

C. Caja de ahorros, 15, Alicante.

Agustín Borrell Sensat

1963-1969



Imagen 2.182.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.183. Situación.



Imagen 2.184.



Imagen 2.185.

EDIFICIO: Porche Colegio Jesús y María.

SITUACIÓN: C. Caja de Ahorros, 15, Alicante (Alicante).

PROMOTOR: Religiosas de Jesús y María.

PROYECTO: Agustín Borrell Sensat (Arquitecto).

INICIO DEL PROYECTO: 1963

FINAL DE OBRA: 1969

CONSTRUCTOR: SICOP

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: Entramado de madera. / ENCOFRADO: Tablas de madera.

ESTRUCTURA: Lámina plegada hormigón / Luz: 3,63 m. / Espesor: 10 cm.



Imagen 2.186.



Imagen 2.187.

El arquitecto originario de Barcelona Agustín Borrell Sensat (1910-1970), titulado en 1935 en la misma ciudad, proyectó para las Religiosas de Jesús-María un colegio en Madrid en 1950 y otro en 1956 en la ciudad de Valencia. En 1963, recibió el encargo de proyectar una nueva sede, en el barrio alicantino de Vistahermosa, para el colegio situado en la Avda. Dr. Gadea, 1, en el centro de Alicante (Borrell Sensat, Proyecto de colegio-internado propiedad de la congregación de las religiosas de Jesús y María, Alicante, 1964).



Fuente: Archivo Borrell-Jover arquitectura.

Imagen 2.189. Vistas históricas.

El clima privilegiado de levante permite que el nuevo colegio se distribuya en distintos pabellones dispersos por la gran extensión del espacio exterior o unidos por pasillos cubiertos al aire libre, como el atrio de la capilla (Imagen 2.184), construido en una intervención posterior, en 1966.

El porche, de 363 cm de ancho, está cubierto por una lámina de hormigón armado formada por la adición sucesiva de cubiertas de crucería sobre 4 pilares cuadrangulares de 13 cm de lado, resultado de la intersección cada 250 cm de una lámina plegada longitudinal con otras sucesivas perpendiculares, también a dos aguas. La cubierta del claustro está formada con el mismo esquema, seccionado longitudinalmente en la cumbre y

apoyado en el cerramiento del edificio, quedando una lámina inclinada a un agua seccionada perpendicularmente en cada módulo por otra a dos aguas (Imagen 2.182). El plegado en crucería no es desarrollable, lo que dota a la estructura de la inercia y rigidez necesaria. Esta tipología es utilizada también en el convento en Alcobendas de Santa Catalina de Siena (1966-1968) de Fray Coello de Portugal (Imagen 2.190) (Coello de Portugal, Monasterio de Santa Catalina de Siena, MM. Dominicas. Alcobendas, Madrid, 2009).



Fuente: (García García, Láminas plegadas de hormigón armado. Realizaciones en España, 2007)

Imagen 2.190. Claustro e iglesia del monasterio de Santa Catalina de Siena.

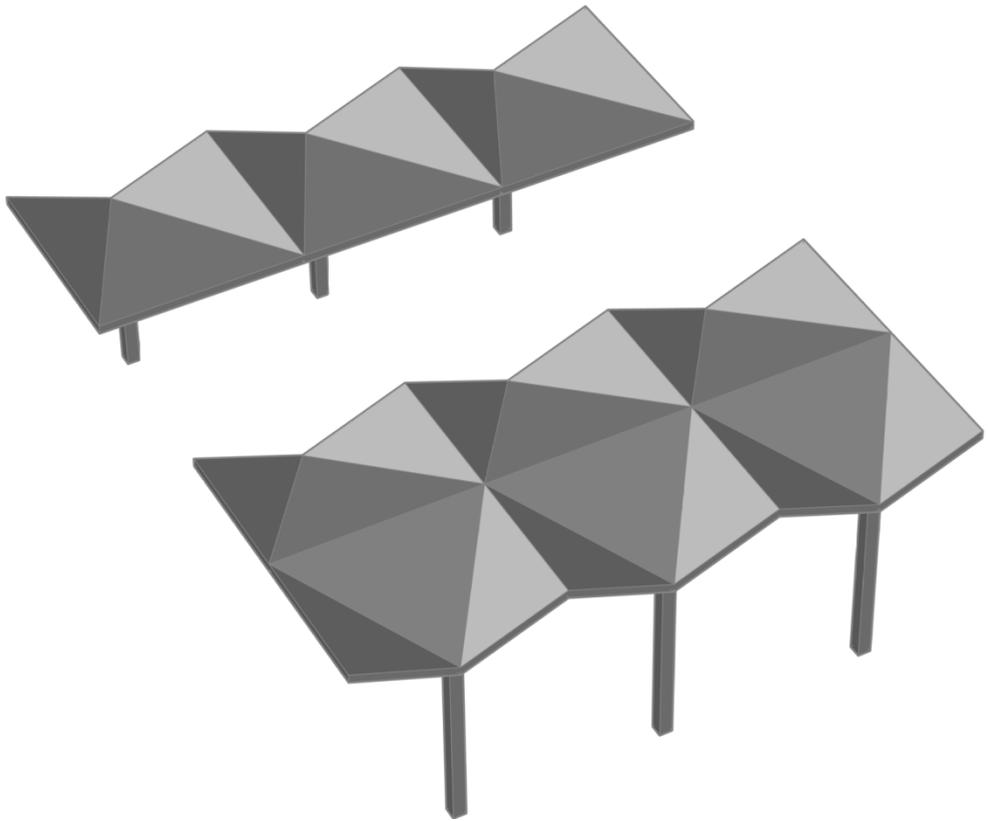
El lenguaje arquitectónico utilizado en el colegio es moderno, con profusión en el uso de elementos y texturas mediterráneos como aparejo de ladrillo o piedra, o celosías de cerámica o mimbre. En la actualidad el colegio ya no pertenece a la Congregación Jesús-María sino que fue adquirido por la Fundación Universitaria San Pablo-CEU.

Agradecimientos: Beatriz Borrell. Archivo. / Borrell Jover Arquitectura. / M. Nuria Cuadras Rofastes. Congregación Jesús y María. / Francisco Javier Soler Mur. Colegio CEU Jesús y María. Alicante.



Fuente: Archivo Borrell-Jover arquitectura.

Imagen 2.191. Vistas durante la construcción.



Fuente: Elaboración propia

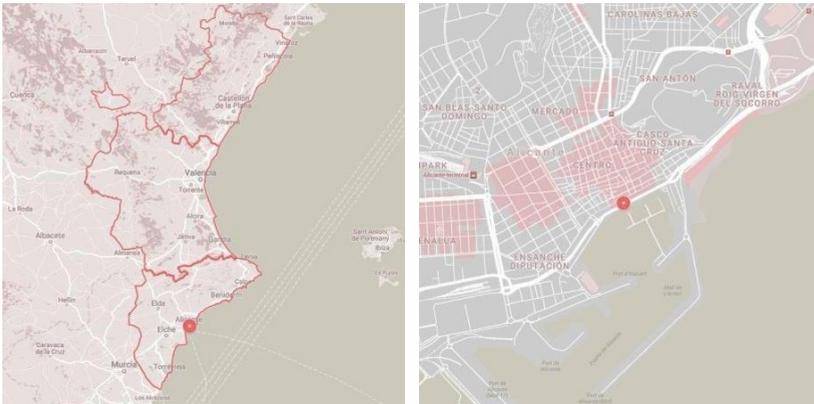
Imagen 2.192. Modelo tridimensional de la estructura.

2.2.17. *Auditorio de la Explanada.*

Paseo de la Explanada. Alicante
Miguel López González
1954



Imagen 2.193.



Fuente: <https://maps.google.es/>

Imagen 2.194. Situación.



Imagen 2.195.



Imagen 2.196.

EDIFICIO: Auditorio

SITUACIÓN: Paseo de la explanada. Alicante. (Alacant).

PROMOTOR: Ayuntamiento de Alicante.

PROYECTO: Miguel López González (Arquitecto).

AÑO: 1954

CONSTRUCTOR: G.O.Y.S.A.

CONSTRUCCIÓN: CIMBRA: Entramado de madera. / ENCOFRADO: Tablas de madera.

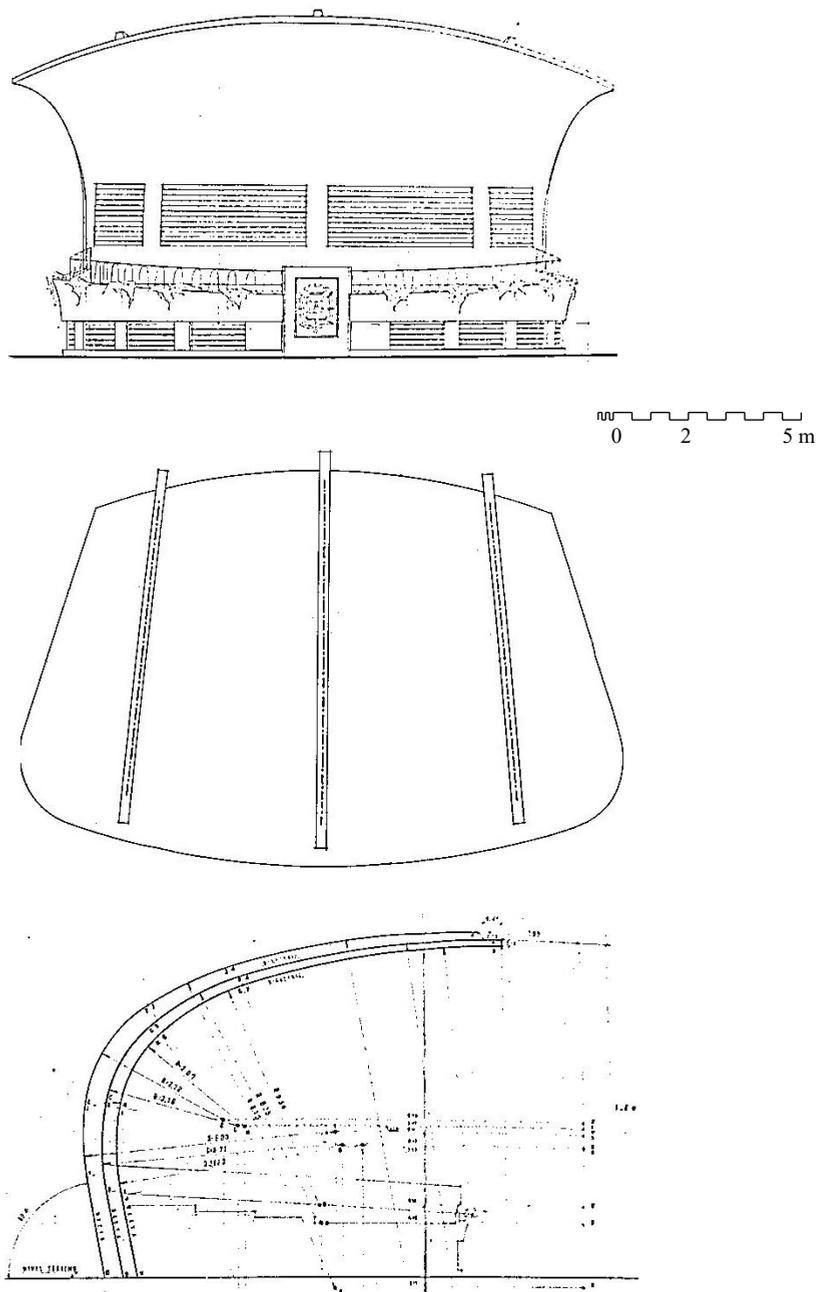
ESTRUCTURA: Superficie de doble curvatura sinclástica nervada de hormigón armado en voladizo. / Vuelo 9,5 m. Ancho: 14,5 m. / Espesor: De 35 a 15 cm.



Imagen 2.197.



Imagen 2.198.



Fuente: (López González, Construcción de un nuevo templete para música en la Explanada de España ,1954)

Imagen 2.199. Alzado, planta y sección.

Miguel López González (1931-1976) fue arquitecto municipal de Alicante, su ciudad natal, en una primera etapa de diez años a partir de 1932 y posteriormente en 1948. Se tituló en Barcelona en 1931. Allí se recibió la influencia del racionalismo del GATEPAC que puede respirarse en sus primeras obras. La nueva situación política tras la guerra civil, le hace evolucionar hacia un casticismo e historicismo. En la década de los sesenta vuelve a sus orígenes racionalistas amparado por la apertura internacional del régimen y su apuesta por la arquitectura moderna.



Fuente: (www.cype.es, s.f.)

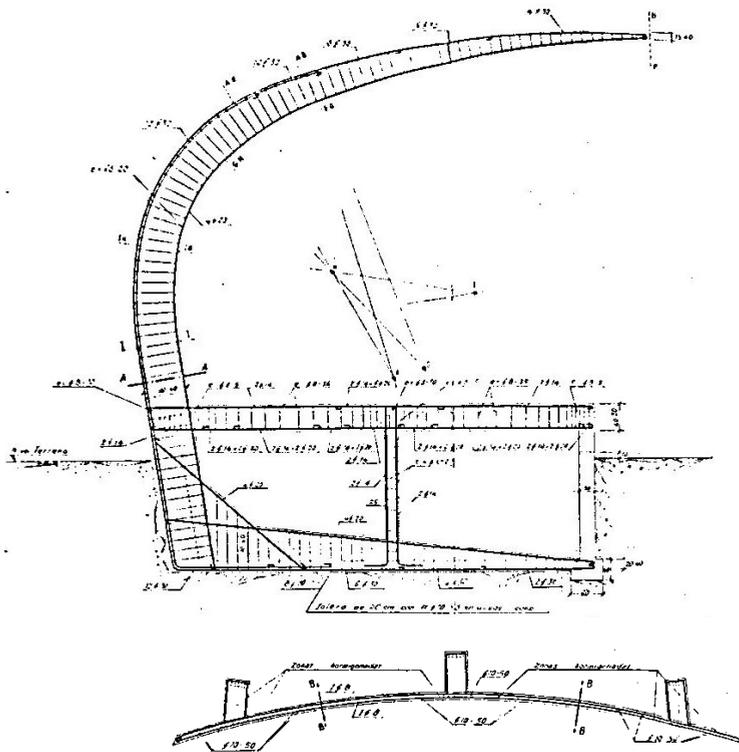
Imagen 2.200. Estado previo a la rehabilitación.

En 1954 se inició el proyecto para sustituir un templete de música historicista en el Paseo de la Explanada (Imagen 2.195-Imagen 2.198), un importante paseo junto al centro histórico y frente al puerto de la capital levantina (López González, Proyecto de demolición del kiosco de la Banda de Música sito en la Explanada de España, 1954). El nuevo templete debía tener una imagen que respondiese a la aspiración de la época de conducir a Alicante a la modernidad.

Cubriendo un escenario elevado de 14,5 m de ancho sobre un almacén en semisótano, se construyó una concha acústica formada por una lámina de hormigón armado con un espesor de 35 cm en su base hasta los 15 cm en el extremo del voladizo de 9,5m (Imagen 2.199). Tres nervios de hormigón refuerzan la sección de la concha con un canto variable de 75 cm en la base hasta desaparecer en el extremo (Imagen 2.201).

Con el paso de los años y en vanguardia de clima marino el templete sufrió una agresiva y acelerada degradación que lo condujo al borde del derribo, hasta que fue objeto de rehabilitación integral los años 2.001 y 2.007 (Imagen 2.200).

Agradecimientos: Archivo Municipal de Alicante.



Fuente: (López González , Auditorium de la Explanada de, 1954)

Imagen 2.201. Sección estructural.

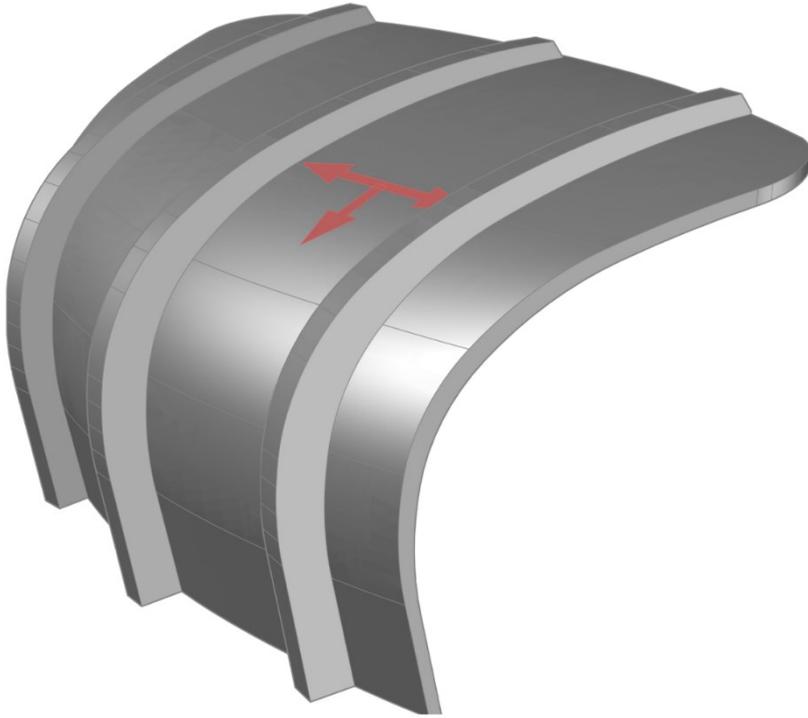


Fuente: (www.alicante.es, s.f.)



Fuente: (Martínez Medina & Oliva Meyer, 1987)

Imagen 2.202. Vistas históricas.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.203. Vista tridimensional de la estructura.

Capítulo 3

El caso de la iglesia de San Nicolás

La localización y documentación de las láminas de hormigón armado en la Comunitat Valenciana: constituyen una primera fase en la labor de su puesta en valor.

Las estructuras laminares de hormigón armado presentan escasos recubrimientos de las armaduras de acero, lo que las convierte en elementos muy vulnerables desde el punto de vista de la durabilidad, especialmente en el clima marítimo de la costa de la Comunitat Valenciana. La distancia en el tiempo de su edad de oro, en los años 50-70 del siglo pasado, hace bastante probable la acumulación de daños constructivos o estructurales o de elementos impropios de los elementos.

Una segunda fase la formarían estudios exhaustivos de cada uno de los ejemplos. Estos estudios constituirían la materia prima para la elaboración de proyectos de rehabilitación y conservación y mantenimiento de los edificios que constituirían una necesaria tercera fase para su puesta en valor.

En los próximos dos capítulos se presenta el análisis pormenorizado, publicado en tres artículos, de uno de los ejemplos: la Iglesia de San Nicolás de Gandía (1962) obra póstuma del célebre ingeniero español Eduardo Torroja. Se presenta información relativa a la historia, análisis estructural avanzado, a la construcción, la patología y a las obras de rehabilitación realizadas.

La última fase de la puesta en valor es la difusión entre la población de los resultados de los estudios y la rehabilitación de los elementos en exposiciones, congresos, medios de comunicación e internet, etc. En el caso de la Iglesia de San Nicolás de Gandía, tras su rehabilitación integral reciente, este proceso ha culminado en su incoación para ser declarada bien de interés cultural.

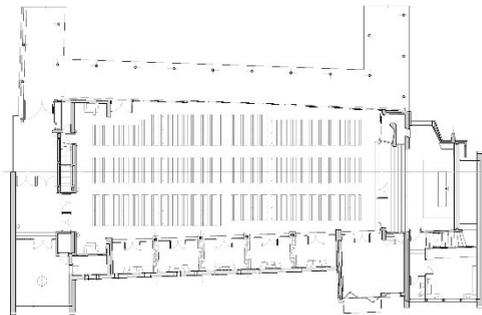
3.1. Introducción.

La Iglesia de San Nicolás es de especial interés por ser la última obra del ingeniero Eduardo Torroja Miret (Fernández Ordóñez & Navarro Vera, 1999) y por su singular tipología estructural, a base de láminas plegadas de hormigón. La intervención del arquitecto Gonzalo Echegaray Comba proporcionó al proyecto una gran calidad arquitectónica. Constituye un interesante ejemplo de arquitectura del Movimiento Moderno, puesto en valor gracias a la labor de investigación de la catedrática Carmen Jordá y la consecuente inclusión de la obra en el Registro DOCOMOMO Ibérico relativo a los Equipamientos (Jordá Such, Introducción: Los equipamientos en España) (Jordá Such, Capítulo: Comunidad Valenciana, 2010) (Jordá Such, Eduardo Torroja la vigencia de un legado, 2002)



Fuente: (Arnau-Paltor, F. 2014).

Imagen 3.1.1. Vista exterior de la iglesia.



Fuente: (Echegaray, G. 1959) (Arnau-Paltor, F. 2014).

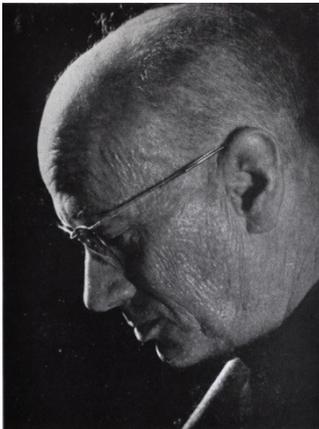
Imagen 3.1.2. Planta de la iglesia

Eduardo Torroja Miret (1899-1961), ingeniero de caminos, gozó de un gran prestigio internacional. Compaginó el ejercicio de la profesión junto con la docencia en la Escuela de Caminos de Madrid y la investigación en el campo del hormigón armado, en el Instituto Técnico de la Construcción y la Edificación, del que fue fundador y primer director (actualmente Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, IETcc). Fue, con Franz Dischinger, uno de los pioneros de las estructuras laminares de pared delgada (Krivoshapko, Bock Hyeng, & Mamieva, 2014) y junto a Félix Candela, Anton Tedesco y Pier Luigi Nervi, autor de las más elegantes. Entre las más conocidas están la cubierta del mercado de Algeciras (Torroja Miret, Las estructuras de Eduardo Torroja, 1999), con el arquitecto Manuel Sánchez Arcas o el frontón de Recoletos (Chías Navarro & Navarro Balboa, 2005), en colaboración con el arquitecto Secundino Zuazo, ambas construidas en 1935, o los graderíos del Hipódromo de la Zarzuela (Arredondo Verdú, 1977), de 1941, junto a los arquitectos Carlos Arniches Moltó y Martín Domínguez, también en Madrid.

La antigua iglesia de San Nicolás del Grau de Gandia quedó irreparablemente dañada por los bombardeos durante la Guerra Civil, debiendo ser derribada en 1953 (Miñana

Pavía, 1962). Dos años después, el nuevo párroco, Juan Miñana, encabezó un movimiento popular destinado a dotar a la población de un espacio religioso digno. Conocidas las excelentes referencias de Eduardo Torroja a través de la iglesia de Pont de Suert, en Lérida, otra de sus interesantes obras, el padre Miñana, le propuso la construcción del nuevo templo. Éste, tras una visita al emplazamiento junto a su hijo José Antonio, asumió el encargo.

El proyecto de la iglesia de San Nicolás lo realizó en colaboración con el arquitecto Gonzalo Echegaray Comba (Echegaray Comba, Proyecto de iglesia parroquial y casa abadía en el Grao de Gandía, 1959) y el ingeniero Jaime Nadal Aixalá (Nadal Aixalá, 1960). El fallecimiento de Torroja en 1961, un año antes de la culminación de las obras, la convierte en su última obra.



Fuente: (Miñana Pavía, 1962)

Imagen 3.1.3. Eduardo Torroja Miret.



(Informes de la Construcción, 1966)

Imagen 3.1.4. Gonzalo Echegaray Comba.



Fuente: (Alamán Simón, 1999)

Imagen 3.1.5 Jaime Nadal Aixalá.

La iglesia se encuentra en un extremo del puerto del Grau de Gandía. Desde el exterior el edificio se percibe como un único volumen paralelepípedo, con la cabecera orientada al Este, tal y como establecen los cánones clásicos (Imagen 3.1.1).

El complejo lo forman la iglesia, la Casa Abadía y el claustro ajardinado con el campanario que une a ambas. La nave principal de la iglesia tiene forma trapezoidal y de 35 x 10-12 m en planta con una altura de 13,5 m. confiriéndole al volumen rotundidad y visibilidad.

Adosados a la nave principal se encuentran al Este el Baptisterio, al Sur las capillas laterales, de las que sobresale la capilla del Paso y al Norte el primer ala del claustro (Imagen 3.1.2). Las fachadas están revestidas con ladrillo caravista con un aparejo con

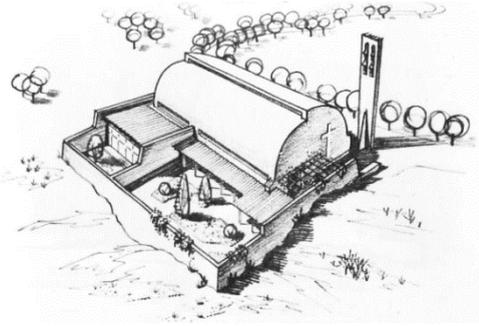
resaltos que junto a las gárgolas de hormigón prefabricado les confiere una textura rítmica (Echegaray Comba, *Moderna iglesia: Grao de Gandia, Valencia, 1964*).

Se construye en una época en el que el hormigón armado se había consolidado en España como principal material para la ejecución de estructuras y se experimentaba con nuevos sistemas, que superaban el diseño básico configurado mediante pórticos de pilares y vigas. En concreto, se recurrió a la utilización de una innovadora solución, mediante la disposición de dos láminas plegadas.



Fuente: (Arnau-Paltor, F. 2014).

Imagen 3.1.6. Interior de la iglesia donde se aprecian las tres rasgadas longitudinales.



Fuente: (Torroja, E.1999).

Imagen 3.1.7. Boceto para una iglesia en el campo

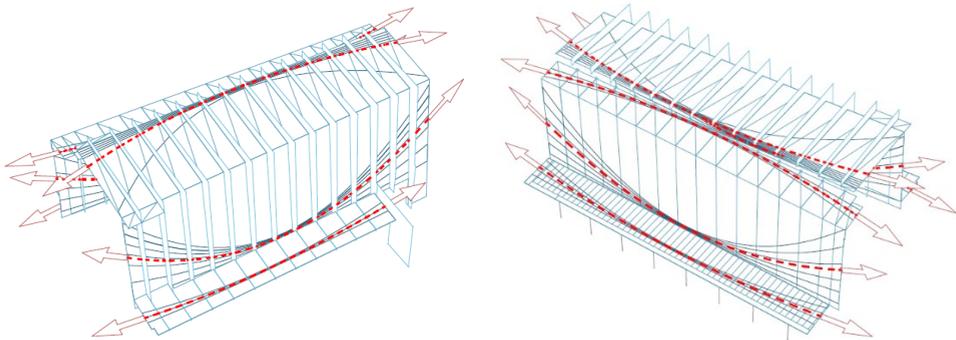
El profesor Cassinello definió de una forma clara este tipo estructural: «las láminas plegadas, definidas por planos que se cortan, ofrecen indudables posibilidades de aplicación al ser capaces de dar un gran canto, pese a su poco espesor, y una gran rigidez transversal, gracias a su forma» (Cassinello Pérez, 1970) (Cassinello Pérez, *Construcción. Hormigonería*, 1974). Félix Candela las clasificó como el grupo de estructuras laminares que están “sometidas a un régimen mixto de esfuerzos de membrana y de flexión” (Faber, 1970).

Esta geometría de plegaduras tuvo su máximo desarrollo en el siglo XX, concretamente en los años comprendidos entre principios de los 50 y finales de los 60 (García García, *Dos décadas de estructuras plegadas de hormigón. Inicio y ocaso de un movimiento*, 2013). Según Azpiazu, su decadencia a principios de los años 70, se debe al encarecimiento y complejidad de los encofrados artesanales y por no haber desarrollado un sistema de prefabricación adecuado para su ejecución que permitiera que estas láminas mantuvieran su monolitismo para no perder su condición de cáscara (Azpiazu Ordóñez, *Experiencias adquiridas a través del proyecto arquitectónico, dirección de obra y construcción de cubiertas laminares*, 1971).

Torroja proyecta dos láminas plegadas de hormigón, independientes entre sí, apoyadas en los testeros de la edificación, a la manera que ya utilizó en el Frontón de Recoletos (Fernández Ordóñez & Navarro Vera, 1999), cubriendo una luz de casi 30 m. y dejando

totalmente diáfana la nave principal. La autonomía de las dos láminas plegadas permite generar tres rasgaduras longitudinales: el lucernario de cubierta, el tragaluz sobre las capillas y el acristalamiento al claustro. Cabe destacar la increíble sensación de ingravidez que esta solución confiere a la cubierta de la iglesia (Imagen 3.1.6).

El proyecto parece estar inspirado en una idea previa de Torroja, plasmada en una serie de dibujos para una modesta iglesia en el campo. (Arnau-Paltor, *La iglesia de san Nicolás en el Grau de Gandía: estudio histórico y estructural*, 2014). En este caso, la cubierta estaba formada por dos láminas de cuarto de cilindro, que recuerda la imagen del Frontón de Recoletos. Al igual que en la iglesia de San Nicolás, las dos cubiertas son completamente independientes entre sí, separadas por un lucernario, en el sentido longitudinal de la nave (Imagen 3.1.7) (Torroja Miret, *Las estructuras de Eduardo Torroja*, 1999).



Fuente: (Arnau-Paltor, F. 2014).

Imagen 3.1.8. Esquema estructural de las láminas plegadas con la identificación de los pórticos (costillas) y las láminas en Z (losas): Lámina Sur (Izq.), Lámina Norte (Der.).

Las láminas de hormigón (Imagen 3.1.8) adquieren inercia gracias a la altura de los muros (9,5 m el muro Norte y 10,5 m el Sur) y al plegado horizontal en sus extremos. Tienen forma de Z, con el alma formada por las fachadas y el ala superior por la cubierta de la nave. El ala inferior está constituida por la cubierta de las capillas laterales de la lámina Sur y por la cubierta del claustro en la Norte. Sin embargo, la losa inferior de la lámina Sur no se encuentra directamente conectada con el muro, sino que se une únicamente a través de las costillas. Por ello, es frecuente referirse a la forma de esta lámina como una L invertida.

El comportamiento estructural de las delgadas láminas fue mejorado por Torroja mediante dos soluciones constructivas. Por un lado, dispuso una serie de costillas, como elemento de rigidización frente a los esfuerzos de flexión esviada y torsión, causados por la geometría asimétrica y quebrada de las láminas y para evitar los fenómenos de inestabilidad elástica.

Por otro lado, introdujo esfuerzos activos en las losas mediante el postesado de tendones de acero (Barredo de Valenzuela R. , *Pretensado Sistema Barredo*, 1955). Los situados

en la superficie vertical contrarrestan la mayor parte del peso propio, reduciendo los esfuerzos de flexión. Los tendones situados en la cubierta de la nave y de las capillas producen dos fuerzas horizontales de sentidos contrarios que reducen los esfuerzos de torsión (Torroja Miret, Iglesia en Gandía, 1962).

3.2. Eduardo Torroja y el pretensado.

“El proceso de pretensado consiste en la aplicación de fuerzas a la estructura de hormigón por elongación de los tendones en relación al elemento de hormigón” (Eurocódigo 2, 2004). El sistema de pretensado se diseña de forma que la superposición de estas tensiones previas con las originadas por las acciones exteriores sea el estado final deseado por el proyectista.

Según la misma Instrucción, en función del momento en el que se realiza el tesado del acero respecto del hormigonado del elemento, el pretensado puede ser (Narayanan, Wilson, & Milne, 2000):

Con armaduras pretesas: los cables de acero son tensados previamente al hormigonado de la pieza. Los cables al ser traccionados se alargan disminuyendo su sección. Tras el endurecimiento del hormigón se deja de aplicar la fuerza y los cables tienden a recuperar la forma original. Al estar aprisionados por el hormigón le transmiten dicha tensión mediante la adherencia mejorada por el efecto Poisson. Los cables se disponen con cierta excentricidad respecto del centro de gravedad de la sección para producir un momento flector sobre el elemento. Esta técnica se conoce comúnmente como pretensado y se usa fundamentalmente en la prefabricación.

Con armaduras postesas: los cables de acero son tensados posteriormente al endurecimiento del hormigón. El procedimiento más habitual consiste en disponer unas vainas en el encofrado, entre las armaduras, con la directriz deseada para los cables. Cuando el hormigón ha adquirido suficiente resistencia, se enfilan los cables y se tensan mediante gatos hidráulicos y cuñas. Esta técnica genera dos tipos de fuerzas sobre el elemento. Una en la cara interna de la curva, al tender los cables a recuperar la forma recta al ser estirados. Así, mediante directrices parabólicas se puede contrarrestar el estado tensional causado por la flexión de la pieza.

La otra fuerza producida sigue la dirección de la directriz del cable y se genera en el punto de anclaje al tratar el cable de recuperar su forma inicial tras eliminar la fuerza de tesado. La excentricidad de estas fuerzas respecto al centro de gravedad de la sección genera un momento adicional sobre el elemento estructural. Con esta fuerza se pretende que toda la pieza quede comprimida. Finalmente, y a modo de protección, las vainas se rellenan con un mortero líquido. Esta técnica se conoce comúnmente como postesado.

Según Eduardo Torroja (Torroja Miret, Razón y ser de los tipos estructurales, 1957) las principales ventajas del pretensado del hormigón se derivan del estado tensional de compresión al que queda sometido el elemento:

- se evita su fisuración, reduciéndose la probabilidad de corrosión del acero, y aumentando la durabilidad de la estructura,
- la sección dispone de un mayor momento de inercia que le proporciona mayor rigidez y reduce las deformaciones,
- se incrementa la capacidad resistente a cortante y mejora el comportamiento bajo cargas dinámicas.

La mayor capacidad resistente permite alcanzar mayores luces y una menor relación canto/luz, lo que a su vez reduce el peso de la estructura, disminuyendo las dimensiones de los soportes y cimientos.

En lo sucesivo, denominaremos genéricamente estructura pretensada a aquella que ha sido sometida a tensiones previas a las producidas por las cargas exteriores que soportará durante su vida útil, independientemente de la técnica que se utilice, pretensado o postesado (Torroja Miret, Razón y ser de los tipos estructurales, 1957).

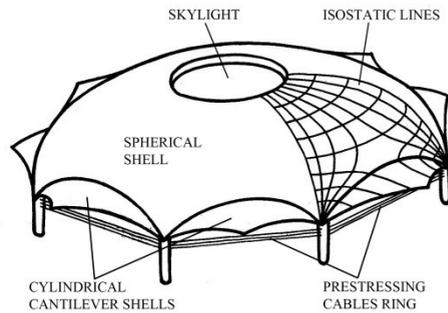
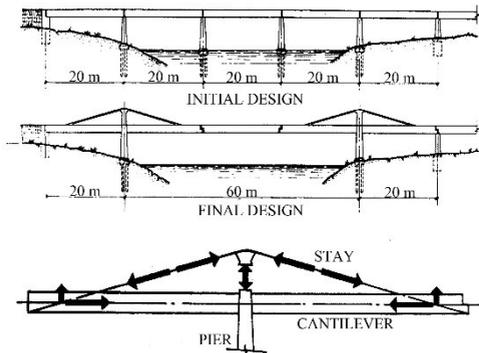
Aunque muchos hayan visto en Torroja el precursor del hormigón pretensado, anticipándose a Freyssinet con su intervención en el acueducto de Tempul, ambos ingenieros eran conscientes de que esto no fue así (Torroja Cavanillas, 2005). Desde sus primeras intervenciones Torroja utiliza la técnica del pretensado como un medio para obtener el comportamiento estructural deseado y Freyssinet centra su vida profesional en dicha técnica. Torroja, Maillart y Nervi consideran el pretensado como un corolario del desarrollo del hormigón armado mientras que Freyssinet entiende el hormigón pretensado como un sistema estructural nuevo (Arredondo Verdú, 1977) .

Si bien Torroja consideraba el hormigón el culmen en la evolución de los materiales y reconocía en el pretensado el máximo refinamiento de su técnica, nunca se cerró al uso de otros materiales, como el acero o el ladrillo, con sus características propias. Consideraba que cada tipología estructural tiene su máxima expresión en el material que da mejor respuesta a su mecanismo resistente. No sólo utilizó el pretensado en sus estructuras de hormigón, sino también en otras estructuras laminares de ladrillo como la iglesia en Pont de Suert (1952), la capilla de Sancti Spiriti (1953) y en la bóveda de cubierta del depósito de agua de Fedala y en el de la Zarzuela. Otra muestra de su versatilidad en el empleo de materiales fue su fascinación ante la idea de Heinz Hossdorf del uso del pretensado en un puente de sillares de piedra que quedaría plasmada en un artículo en la revista *Informes de la Construcción* (Torroja Miret, *Puente pretensado de piedra natural*, 1955).

Eduardo Torroja no usa el pretensado como punto de partida, sino que en la mayoría de ocasiones lo utiliza como instrumento para conseguir el comportamiento estructural deseado. Interviene en el diseño de la forma y en la introducción de fuerzas activas a través del pretensado para inducir en la estructura los esfuerzos deseados en función de las características resistentes del material. Es en este sentido en el que podríamos calificar sus estructuras como “activas” (Miguel Sosa, 2000). Este proceso exige un profundo conocimiento del comportamiento y deformación de las estructuras y una gran intuición

para la aplicación de nuevas técnicas. A continuación, se muestran algunas de las obras donde Torroja aplica la técnica del pretensado mediante imaginativas soluciones que van evolucionando a lo largo del tiempo:

Acueducto de Tempul (1925) (Lozano Galant & Payá Zaforteza, 2017). Fue uno de los primeros proyectos que realizó trabajando con Eugenio Ribera, profesor en la Escuela de Caminos, en su compañía Hidrocivil (Fernández Ordóñez & Navarro Vera, 1999), en la que también comenzaron su andadura profesional otros ilustres ingenieros como José Entrecanales e Ildefonso Sánchez del Río.



Fuente: Adaptado de (Fernández Ordóñez & Navarro Vera, 1999)

Imagen 3.2.1. Acueducto de Tempul, alzado y esquema de pretensado.

Imagen 3.2.2. Mercado de Algeciras. Anillo de Pretensado.

El acueducto no debía transportar agua directamente sino acoger dos tuberías. El proyecto inicial consistía en cuatro pilas, dos de ellas en mitad del río Guadalete (Torroja Miret, *Las formas laminares*, 1957). Torroja eliminó las dos pilas centrales, evitando los problemas de cimentar en el cauce, dejando un vano de 57 m entre las pilas situadas en las riberas (Imagen 3.2.1) El tramo central de 17 m apoya sobre dos ménsulas laterales de 20 m de luz que se atirantan mediante dos cables que pasan sobre las pilas y se anclan en los estribos.

No confiando en la prolongación por solape o soldadura de las barras de acero convencionales, decidió utilizar cables trenzados de acero de alta resistencia. Desconocía la deformación de dichos cables en carga y le preocupaba que el hormigón pudiese seguir la deformación de los cables. Por ello ideó un sistema de pretensado que convertiría este acueducto en una de las primeras estructuras con elementos pretensados. Las torres fueron hormigonadas inicialmente sólo en la base y en su cabeza colocando gatos hidráulicos entre ellos. Tras llenar el acueducto, elevó la cabeza de las pilas mediante los gatos, estirando y tensando los cables (Imagen 3.2.1). La acción se repitió sucesivamente hasta que los cables dejaron de deformarse. A continuación, se terminaron de hormigonar las pilas y los tirantes para mejorar la durabilidad de los cables, al quedar rodeados por

hormigón comprimido siempre que el acueducto esté cargado por debajo de la carga de servicio.

Aunque llega a él de modo indirecto y con otras pretensiones (Jordá Such, Eduardo Torroja la vigencia de un legado, 2002), por esta actuación algunos consideran a Torroja precursor del hormigón pretensado, ya que Freyssinet patentó su sistema de pretensado en 1929.

El Mercado de Algeciras (1933) (Torroja Miret, *Las formas laminares*, 1957) (Cassinello Plaza, Schlaich, & Torroja Cavanillas, Félix Candela. *In memoriam* (1910-1997). *From thin concrete shells to the 21st. century's lightweight*, 1997). Se trata de una cúpula de 47,8 m de radio y 9 cm de espesor con base octogonal y ocho apoyos. La transición se realiza mediante bóvedas, que prolongadas en voladizo protegen la entrada (Imagen 3.2.2). Es la primera lámina sin nervaduras (Krivoshapko, Bock Hyeng, & Mamieva, 2014) que supera las dimensiones de la del Panteón de Roma. Torroja utilizó un anillo octogonal de cables de acero pretensados mediante rosca para absorber los empujes horizontales. Así los soportes están solicitados únicamente a compresión y se evitan los esfuerzos de flexión en la lámina debidos al desplazamiento de los apoyos. La puesta en carga de este anillo hizo que la cúpula se despegara del encofrado, facilitando el desmontaje de la cimbra (Krivoshapko, Bock Hyeng, & Mamieva, 2014).

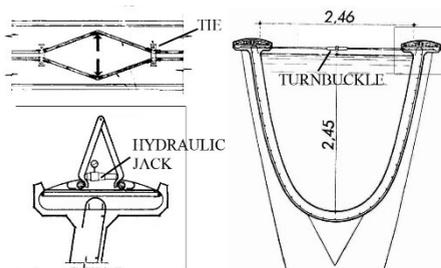


Imagen 3.2.3. Acueducto de Alloz, sección y detalles.

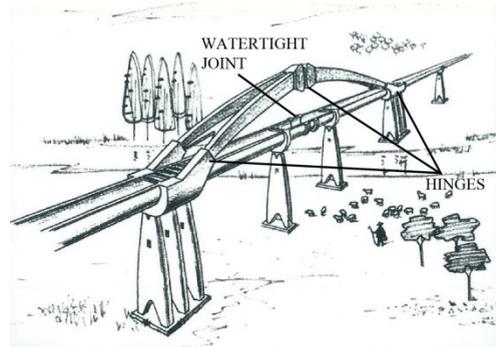


Imagen 3.2.4. Proyecto de acueducto en Tabellina

En el acueducto de Alloz (1939) (VV.AA., *Monografía sobre la obra de Eduardo Torroja*, 1962) (Fernández Ordóñez & Navarro Vera, 1999) Sobre el río Salado en Navarra, se utilizó tanto el diseño como el pretensado para conseguir tensiones de compresión en todas las direcciones, evitando la fisuración del hormigón y garantizando su estanquidad para el transporte de agua. Torroja proyectó vanos de 20 m con voladizos de 10 m en ambos lados de modo que los momentos flectores sean negativos a lo largo de todo el elemento. Las tensiones de tracción que aparecen en la parte superior de la sección son contrarrestadas mediante un postesado longitudinal realizado mediante parejas de cables

situados en la cara superior de los laterales del conducto, utilizados como pasarelas de servicio. Los cables se ataban en dos puntos mediante bridas y en el punto medio se los separaba mediante una tijera metálica accionada por un gato hidráulico e interponiendo una barra que impidiese que se cierran (Imagen 3.2.3). El proceso se repetía las veces necesarias hasta alcanzar la tensión deseada en los cables y posteriormente se procedía a su hormigonado. Transversalmente la compresión de la cuba se consiguió mediante barras con tensores de rosca dispuestos cada 4m.

El acueducto de Tablellina (1956, Proyecto) (Torroja Cavanillas, El genio y el ingenio en la obra de Eduardo Torroja, 2000) es un largo conducto sobre columnas. Para disminuir el número de juntas de cara a mejorar la estanquidad ideó el pretensado mediante un arco triarticulado situado en medio del acueducto, que empujase ambos extremos por su peso propio (Imagen 3.2.4). Bajo el arco introdujo una articulación estanca que hiciese compatibles la deformación del sistema con mantener constante el empuje horizontal en el conducto, de modo que se encontrase siempre comprimido longitudinalmente. Dicho sistema es una ingeniosa alternativa de inducir esfuerzos sin necesidad de cables, que en este caso debido a la longitud del acueducto resultaba poco económico. Transversalmente se produce la compresión de la cuba mediante un sistema semejante al acueducto de Alloz.



Imagen 3.2.5. Depósito de Fedala. Vista exterior.

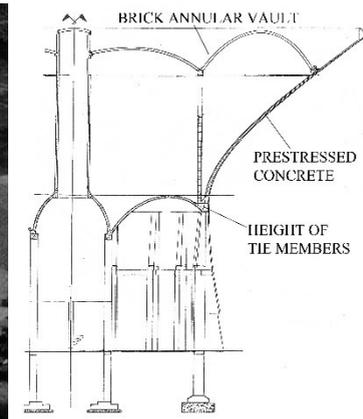
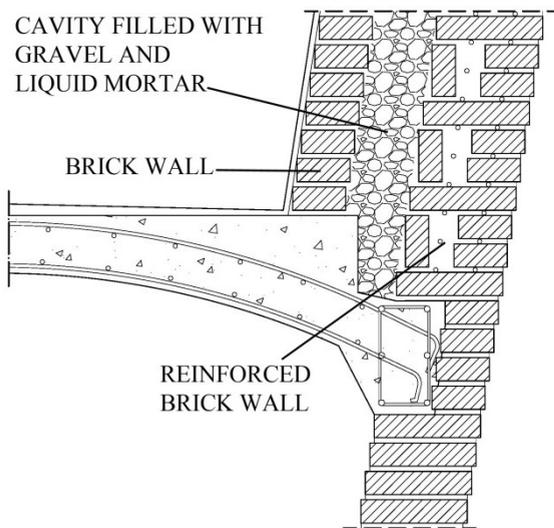


Imagen 3.2.6. Depósito de Fedala sección.

Fuente: adaptado de (Chías Navarro & Navarro Balboa, 2005)

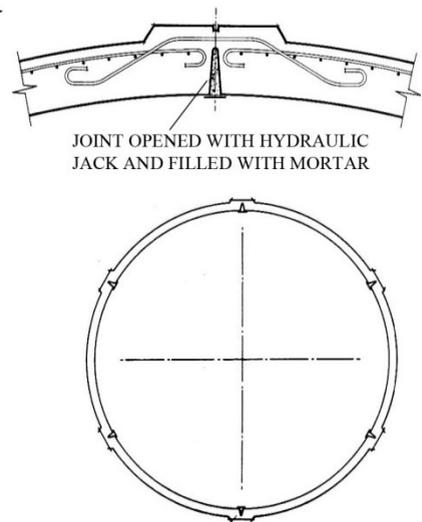
En el caso de los depósitos de agua, Torroja usó el pretensado para mantener la cuba comprimida evitando la fisuración del hormigón y garantizando su estanquidad. La forma habitual de realizar dicho pretensado era mediante nervios que permitiesen el tesado y anclaje en sus cabezas además de alojar las vainas de postesado. Pero Eduardo Torroja quería conservar la pureza de las superficies de las cubas de modo que proyectó formas para que dicho postesado pueda realizarse en superficies lisas.

En el depósito de Fedala (1956) (Antuña Bernardo, *Prestressed Masonry for Reservoirs: A project of the Engineer Eduardo Torroja*, 2008), la elevada sensibilidad estética de Eduardo Torroja le llevó a evitar la disposición de nervios que oculten la pureza geométrica de la obra. Empleó su creatividad para diseñar una cuba con forma hiperbólica (Imagen 2.5) y alojar los tendones del postesado en las dos familias de generatrices rectas que la formaban, disponiendo los anclajes de los cables en los extremos de la cuba (Fenollosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá, & Arnau-Paltor, 2018). Para evitar los empujes horizontales sobre los apoyos en el zuncho situado en la base del depósito se dispuso otro sistema de postesado mediante armaduras cruzadas con tesado mediante tensores de rosca (Imagen 3.2.6).



Fuente: Redibujado de (Antuña Bernardo, 2009)

Imagen 3.2.7. Muro doble de ladrillo. Detalle.



Fuente: Adapt. de (Arredondo Verdú, 1977)

Imagen 3.2.8. Proyecto de depósito.

Tanto en este caso como los depósitos de Khemiser, Souk el Arba o Sidi Bernoussi Torroja empleó el Método Barredo o Método Español de Pretensado, que también utilizó en la iglesia de San Nicolás de Gandía (Fenollosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá, & Arnau-Paltor, 2018) y en la cubierta de la cocina de la Universidad Laboral de Tarragona (Torroja Cavanillas, *El genio y el ingenio en la obra de Eduardo Torroja*, 2000).

En otros dos de estos proyectos Torroja empleó de nuevo su ingenio para idear nuevos métodos para pretensar la estructura. Para el depósito de la Junta de Energía Nuclear en Madrid (Antuña Bernardo, *Prestressed Constructions without Steel. A Project of the Spanish Engineer Eduardo Torroja*, 2009), diseñó una cuba con doble pared de ladrillo. La exterior reforzada con barras de acero (Imagen 3.2.7). A medida que se iba

construyendo la cara interior se iba rellenando la cámara de grava dejando unas vainas que llegasen hasta la parte superior. Finalmente, se llenaba el depósito de agua por encima del nivel de servicio de modo que la pared de ladrillo se deformaba traccionando el armado y fisuraba el muro de ladrillo produciendo fugas importantes de agua. Se seguía aportando agua al depósito a la vez que se rellenaba la cámara con un mortero líquido a través de las vainas, que iba sellando las juntas. Al fraguar dejaba las armaduras traccionadas, quedando el depósito comprimido siempre que el agua quedase por debajo del nivel de servicio.

En otro proyecto Torroja realizó una serie de hendiduras en la cara interior de la cuba (Imagen 3.2.8) de modo que tras aplicar fuerza con un gato en cada una de ellas para abrirlas, las rellenaba de un mortero resistente. De este modo al endurecer el mortero la cuba se encontraba precomprimida (Torroja Cavanillas, Eduardo Torroja. Una visión personal, 2005). En la Tabla 3.2.1 se presenta un cuadro resumen de los distintos métodos de pretensado empleados por Eduardo Torroja en sus obras.

Tabla 3.2.1. Algunos métodos de pretensado utilizados por E. Torroja.

	Año	Sistema	Descripción
Acueducto de Tempul	1925	Pretensado	Cables, anclados por longitud, tensados con gato y hormigonados
Mercado de Algeciras	1933	Postesado	Barras del perímetro tensadas por roscas y hormigonadas para empujes horizontales
Acueducto Alloz	1939	Pretensado y Postesado	Longitudinal, por cables gatos y bielas. Transversal mediante barras roscadas
Acueducto Tablellina (proy.)	1956	Postesado	Longitudinal mediante el diseño, arco triarticulado. Transversal barras roscadas.
Depósito Fedala	1956	Postesado	Método Barredo en la cuba. Barras roscadas en la base para empujes horizontales.
Depósito de agua	Proy.	Pretensado	Sin gatos. Predeformación de las armaduras mediante el empuje de agua y sustitución por mortero
Depósito de agua	Proy.	Postesado	Sin cables. Deformación por gatos en hendiduras y relleno de mortero de la junta

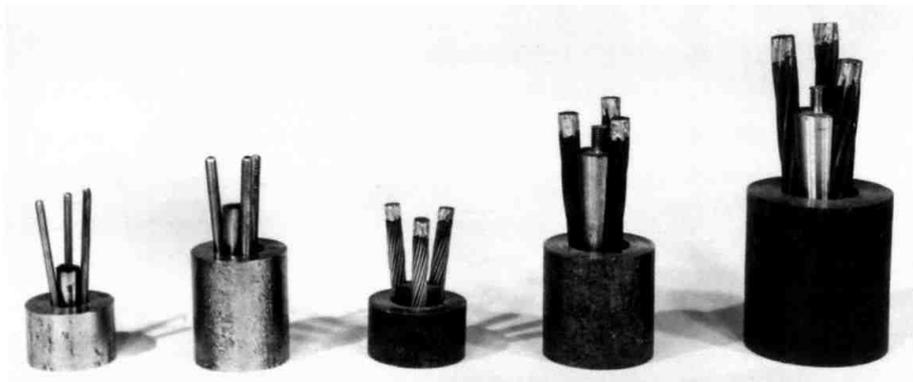
3.2.1. El método Barredo o Método Español de Postesado.

A partir de 1943 la aparición de los aceros finos de alta resistencia llevaron al desarrollo de patentes industrializadas de pretensado con armaduras pretensas ancladas por adherencia. El desarrollo de la tecnología para las estructuras pretensadas con alambres postesados alcanzará su culmen en 1960 (Cassinello Pérez, El hormigón pretensado en la arquitectura española, 1970).

En función de su sistema de anclaje, los sistemas de postesado se pueden clasificar en (Torroja Cavanillas, Dispositivos y sistemas de pretensado, 1966):

- Anclaje por adherencia al embeber el tendón en el hormigón. Es el sistema que utilizó Eduardo Torroja en el acueducto de Tempul.
- Anclaje mediante rosca, como el sistema Dywidag. Este método fue utilizado por Torroja en los tirantes de la base de la cúpula del mercado de Algeciras.
- Sistemas especiales como el BBRV, VSL o Leoba.
- Sistemas de anclaje mediante cuñas. En este tipo de sistemas existe un cono hembra como tope en la pieza de hormigón y una cuña que impide que deslicen las armaduras.

Como se ha visto en los ejemplos, Eduardo Torroja empleó distintos mecanismos de tesado y anclaje de los cables hasta que ayudó a patentar el Método Barredo o Método Español (Cassinello Plaza, 2007). Ricardo Barredo era estudiante de grado medio de Ingeniería Industrial cuando Torroja lo escogió como jefe de encofrados en Hidrocivil. Entre 1924-1927 Torroja trabajaba en dicha empresa a las órdenes de José Eugenio Ribera, profesor de Puentes en la Escuela de Ingeniería de Caminos e introductor en España de la patente de Hennebique. En 1940, Barredo fundó, junto a Torroja, el primer Laboratorio de Materiales privado, colaboró en el desarrollo del laboratorio de Torroja y de la Asociación Nacional del Pretensado. Trabajó con él como constructor en muchas de sus obras, entre ellas el mercado de Algeciras (Barredo de Valenzuela R. , 2008).

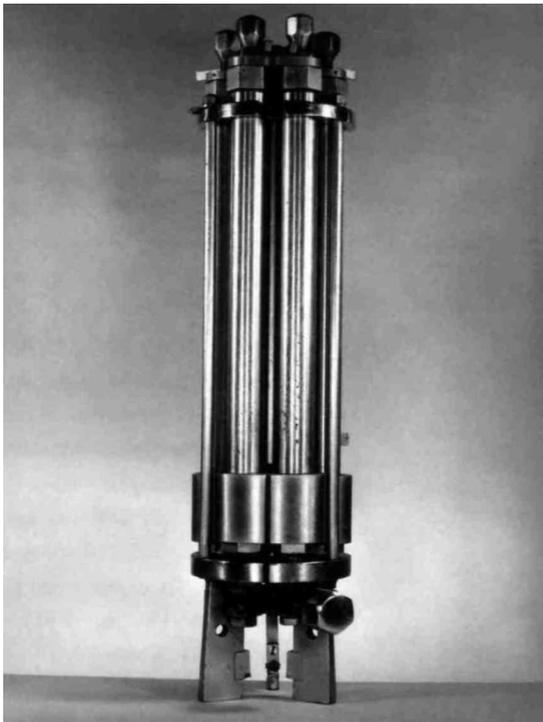


Fuente: (González, F. 2007)

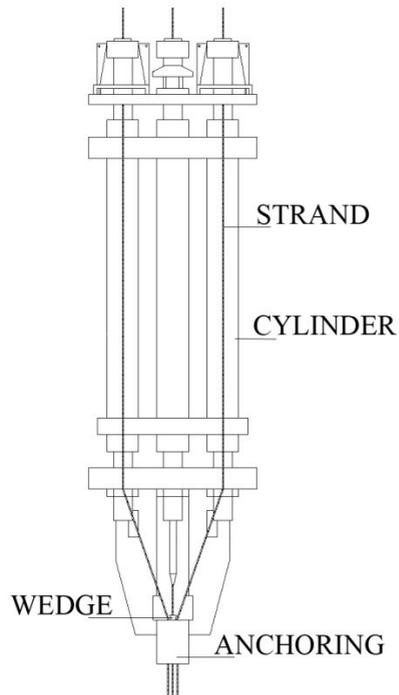
Imagen 3.2.9. Anclajes de Método Barredo de postesado.

El Sistema Español fue elaborado con el asesoramiento de Eduardo Torroja y del IETcc. Al contrario del sistema CCL el anclaje consiste en una cuña cónica exterior que aprisiona los alambres contra el cono hembra (Barredo de Valenzuela R. , System of fixing

cables and rods subjected to stress. US3605202, 1971). Esta cuña permite la corrección del tesado durante la aplicación de la carga e incluso durante la fase de servicio (Imagen 3.2.9). Este sistema permite el anclaje de dos tendones como en el sistema Magnel, o de tres en el sistema Barredo. En ambos pueden emplearse superficies lisas e indeformables pues se produce un apoyo isostático de la cuña en los tendones. Para más tendones por anclaje es necesario que uno de los elementos del anclaje sea deformable de modo que puedan retener todas las armaduras con la misma intensidad. Así sucede en el sistema Freyssinet (Llorente Zurdo, Anaya Díaz, & de Miguel Sánchez, 2013), en el que la cuña además de ser deformable posee unas acanaladuras que distribuyen la tensión trasversal en toda la superficie del tendón.



Fuente: (Barredo de Valenzuela R. , Pretensado Sistema Barredo, 1955)



Fuente: (Arnau, F. 2013).

Imagen 3.2.10. Gato hidráulico. Método Barredo: Fotografía (izq.) Esquema (der.)

Algunas patentes posteriores de los sistemas Barredo y Freyssinet combinan el método de cuña interior y exterior alojando un tendón en el interior de la cuña, facilitando al ser tensado el acañamiento en el anclaje (Barredo C., 1970). Otro avance en sus procedimientos fue la cuña de curvatura convexa con la que pretendía suavizar la transferencia de las cargas de tendón y anclaje por fuerzas transversales. Dicha idea evolucionó hasta

obtener la patente del anclaje CGC (Barredo de Valenzuela C. , Refuerzos realizados últimamente y presentación del nuevos sistema de anclaje CGC., 1981).

En todos los sistemas el tesado de las armaduras se realiza mediante el uso de gatos hidráulicos, que aprisionan las barras mediante cuñas, en la mayoría de sistemas, o mediante rosca (sistema Dywidag o BBRV). Los tendones, pueden tesarse uno a uno (sistema CCL) o bien todos los alojados en una misma vaina al mismo tiempo. El tesado simultáneo permite mayor rapidez de trabajo, pero requiere un gato de mayor tamaño y más difícil de manejar. Además, la posibilidad de alargamiento distinto de alguna armadura o el deslizamiento de cualquier tendón durante el tesado puede causar la sobrecarga no prevista del resto. Estos inconvenientes fueron superados por los sistemas Magnel y Barredo. El primero utilizaba un sistema de balancín que equilibra la tensión en ambos tendones y el segundo un gato hidráulico con tres émbolos interconectados (Imagen 3.2.10) que podían tener recorridos distintos de modo que las armaduras trabajasen todas a igual tensión (Barredo de Valenzuela R. , Tensioning system. US2820606, 1958).

El tensado, en el caso de cables con directriz recta podía hacerse desde uno de los extremos, normalmente alternándolos por grupos. En el caso de que la directriz del cable fuese curva debía tesarse en ambos costados como se realizó en las láminas de la iglesia de San Nicolás de Gandía (Barredo de Valenzuela R. , Realizaciones en estructuras con armaduras postesas, 1960). El sistema Español compitió a nivel internacional con los más prestigiosos como BBRV, Freyssinet, CCL, Magnel, VCL, LEOBA o Dischinger (Anaya Díaz, Azpilicueta Astarloa, & Cassinello Plaza, 2006). Desde su aparición, Eduardo Torroja sólo empleará éste, no sólo por ser en parte responsable de su creación, sino como un modo de promocionar un producto patrio (González Blanco, 2007). En la Tabla 3.2.2 se presenta un cuadro resumen de los distintos tipos de sistema de postesado contemporáneos a Eduardo Torroja.

Tabla 3.2.2 Principales métodos de postesado desarrollados principalmente en la segunda mitad del siglo XX.

Tipo Anclaje	Sistema de postesado	Anclaje de gato hidráulico	Tipo de cuña
Especiales	VSL, Leoba		
	BBRV		
Rosca	Dywidag	Rosca	
Cuña	Interior	CCL	Cuña. 1 cable
	Exterior	Magnel	Cuña. 2 cables
		Barredo	Cuña. 3 cables
	Interior y Exterior	Barredo CGC y otras	Cuña. Múltiples
Freyssinet	acanaladuras		
Adherencia			

3.3. Análisis estructural de la iglesia de San Nicolás.

La innovadora solución estructural de la Iglesia de San Nicolás, un verdadero alarde, ha hecho de esta iglesia un interesante ejemplo de arquitectura española del siglo XX (www.docomomoiberico.com 4). Dos delgadas láminas plegadas, independientes entre sí y apoyadas en los muros testeros, salvan una luz de casi 30 m. generando un volumen único libre de pilares. Las tres franjas continuas por donde penetra la luz al interior proporcionan una increíble sensación de ingravidez a la cubierta de la iglesia. De este modo todas las capillas laterales situadas en el lado sur se encuentran completamente abiertas a la nave principal. En la cara norte la ausencia de apoyos permite abrir el templo al claustro, incrementando su capacidad.

E. Torroja abordó el cálculo de su estructura utilizando únicamente lápiz y papel. Recurriendo a su intuición y pericia, simplificó el comportamiento de las láminas al de dos vigas biapoyadas. Advirtió que su sección asimétrica abierta en forma de Z produce flexión esviada y torsión incluso en la hipótesis de cargas gravitatorias. Su indeseable efecto es contrarrestado mediante la introducción de una serie de costillas que rigidizan las láminas (Antuña Bernardo, 2006) y con el postesado de tendones situados en los muros y cubiertas desarrollado por el ingeniero.

Como se verá, el postesado no sólo le sirve como recurso técnico, sino que lo utilizó para conseguir el perfeccionamiento formal de su obra. Su elevada sensibilidad estética le condujo a un uso singular que le permitió la simplicidad formal a la vez que mostrar la “verdad estructural” que predicaba (Torroja Cavanilles, 2007).

Posteriormente se explicará el proceso de cálculo seguido por el ingeniero y comparará sus resultados con los procedentes del cálculo de la estructura utilizando herramientas informáticas. Como en estudios desarrollados en otras obras maestras de arquitectura moderna de mediados de siglo pasado (Ramakrishna, Raghavan, & Desai, 1997) (Draper, Garlock, & Billington, 2008) (Adriaenssens, Brown, Lowinger, & Hernandez, 2014), el análisis de las láminas bajo distintas combinaciones de cargas mostrará su comportamiento estructural facilitándonos claves para el diseño de estas singulares estructuras.

El modelo de elementos finitos (E.F.) elaborado no se limita únicamente a las láminas de la nave principal. Incluye también los pórticos testeros de apoyo, la estructura del ábside y el sistema múltiple de tendones pretensados. El análisis del modelo completo permitirá comprobar el funcionamiento de la doble articulación en los muros testeros que libera el giro de las láminas y permite conseguir el comportamiento estructural deseado. Mostrará el efecto que producen las diferencias entre el modelo simplificado de viga biapoyada utilizado por el ingeniero y la estructura realmente construida. Se verá el efecto de los soportes de la cubierta del claustro, la continuidad de la lámina sur en la zona del ábside, la prolongación de las láminas y una de las costillas hasta la cimentación.

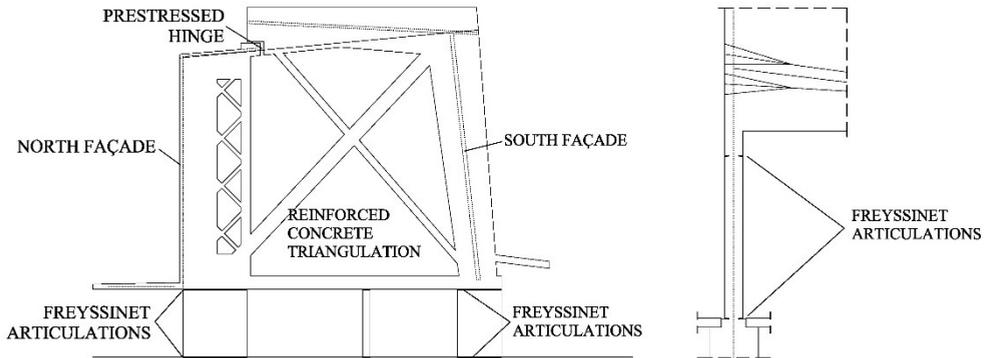
La modelización de los tendones tesados en su verdadera posición, en lugar de la curva resultante como es frecuente encontrarla en la bibliografía (Fernández Ordóñez & Navarro Vera, 1999) mostrará la eficacia del sistema de anclaje utilizado que minimiza la concentración de tensiones en las delgadas láminas.

3.3.1 Descripción de la estructura.

3.3.2.1 Los pórticos testeros.

Las láminas plegadas de las fachadas se apoyan rígidamente en dos pórticos testeros, pórtico 0, situado junto al acceso principal, y el pórtico 15 que separa la nave del presbiterio.

El pórtico 0 dispone de dos elementos singulares. Uno es la junta situada en su parte superior que libera el giro de los extremos e independiza las dos láminas de las fachadas (Imagen 3.3.1 Izq.). Con dicha articulación independiza la parte del pórtico donde apoya la lámina norte, mientras que rigidiza el resto del pórtico, frente a los esfuerzos horizontales, con una triangulación. A continuación, introduce un postesado sobre la rótula ejerciendo un momento sobre la estructura que contrarreste el causado por la excentricidad de la carga de la Lámina norte, causado por el apoyo rígido en el borde del Pórtico 0 (Nadal, J. 1960). Dicho postesado permite la transmisión de los esfuerzos horizontales producidos por las cargas de viento.



Fuente: (Arnau-Paltor, Serrano-Lanzarote, & Fenollosa Fomer, 2020)

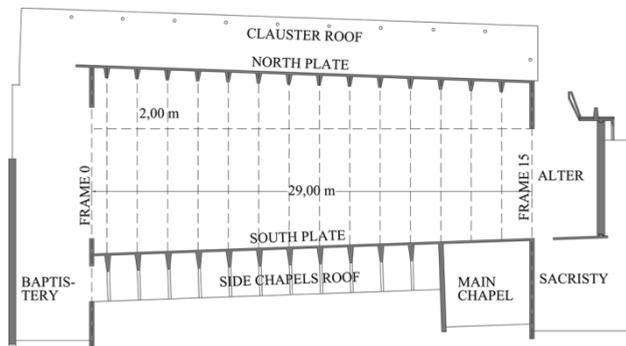
Imagen 3.3.1 Pórtico 0 (Izq.) Rótulas de tipo Freyssinet de apoyo láminas en el pórtico 0 (Der.)

El otro elemento singular es la doble articulación, de tipo Freyssinet, situada una en el arranque de la cimentación y la otra bajo las láminas de las fachadas (Imagen 3.3.1. Der.). Con ello el pórtico se comporta como un péndulo, liberando el giro y del desplazamiento horizontal de las láminas y simplificando su modelo de cálculo al comportarse como viga simplemente apoyada. Además, permite la libre dilatación de las láminas debido a las variaciones térmicas. Este mecanismo junto a la reducida rigidez transversal del

pórtico 15 en comparación con la de las láminas, permite considerarlas biapoyadas en los pórticos, lo que propicia el cálculo simplificado realizado por Torroja. A ambos pórticos se les dota de gran rigidez en su propio plano con el fin de poder considerar nulos los desplazamientos de las láminas frente a las cargas de viento.

3.3.2.2 Las láminas plegadas.

La parte principal de la estructura que caracteriza este edificio son las dos láminas plegadas de hormigón de 15 cm de espesor que constituyen las dos fachadas longitudinales del templo, apoyadas en los dos muros testeros. Este sistema permite cubrir una luz de 27 m. dejando libre y sin apoyos la construcción, a la manera que Torroja ya utilizó en la cubierta del Frontón de Recoletos (Lozano-Galant & Payá-Zaforteza, 2011).



Fuente: (Fenollosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá, & Arnau-Paltor, 2018)

Imagen 3.3.2. Esquema de planta estructural.

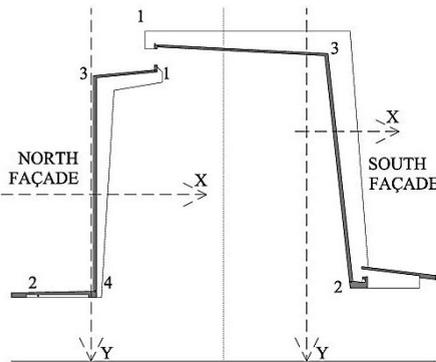
Ambas finas láminas de hormigón adquieren inercia gracias a la gran altura del muro y al plegado horizontal en sus extremos. Tienen forma de Z, con el alma formada por las fachadas y el ala superior por la cubierta de la nave. El ala inferior está constituida por la cubierta del claustro en la lámina norte y la cubierta de las capillas laterales en la sur. Sin embargo, la losa inferior de la lámina sur no se encuentra directamente conectada con el muro sino a través de las costillas de hormigón. Por ello es frecuente referirse a la forma esta lámina como una L invertida.

El comportamiento estructural de las delgadas láminas es mejorado por E. Torroja mediante dos soluciones constructivas. Por un lado, dispone la serie de costillas de hormigón de sección variable, situadas a intervalos de 2,00 m. Estas costillas aparecen en la parte interior de la nave en la lámina norte y al exterior en la lámina sur, caracterizando la imagen del templo (Imagen 3.3.2). Las costillas se prolongan por debajo de la cubierta de las capillas en la fachada sur mientras que se eliminan en la cubierta del claustro en la fachada norte, siendo sustituidas por unos soportes de hormigón armado. La inclusión de las costillas es justificada como elemento de rigidización frente a los esfuerzos de flexión esviada y torsión causados por la geometría asimétrica y quebrada de las láminas

y para evitar los fenómenos de inestabilidad elástica (Joó & Ádány, 2009) (Szychowski, 2014) (Kowal & Szychowski, 2014). No obstante, cumplen un segundo papel como elementos rígidos en voladizo sobre los que se sustentan las láminas horizontales de la cubierta del templo y de las capillas (Nadal Aixalá, 1960).

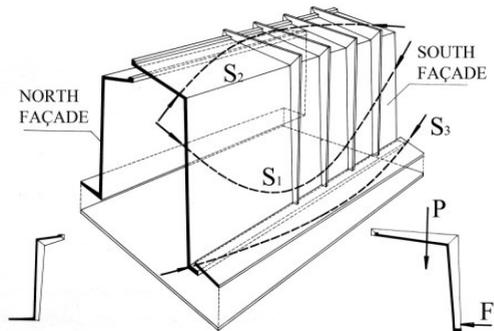
3.3.2.3 El postesado de las láminas.

Como hemos dicho la forma abierta y asimétrica de la sección de las láminas (Imagen 3.3.3) origina flexión esviada, incluso en la hipótesis de peso propio, debido a que las direcciones principales de inercia se encuentran giradas respecto del plano vertical. Además, debido a que el centro de gravedad no coincide con el centro de cizalladura, se originan esfuerzos de torsión sobre las láminas. Este estado tensional, al igual que los efectos de inestabilidad elástica debidos al escaso espesor de la lámina, además de verse mejorados por el uso de costillas de hormigón armado lo es sobre todo mediante el ingenioso sistema de postesado. La iglesia de San Nicolás, es junto al comedor de la universidad de Tarragona, los únicos casos en que Torroja emplea el postesado, al menos en parte, de forma tradicional.



Fuente: (Arnaú-Paltor, Serrano-Lanzarote, & Fenollosa Forner, , 2020)

Imagen 3.3.3. Sección transversal de las dos láminas plegadas.



Fuente: Adapt. de (Torroja Miret, Iglesia en Gandía, 1962)

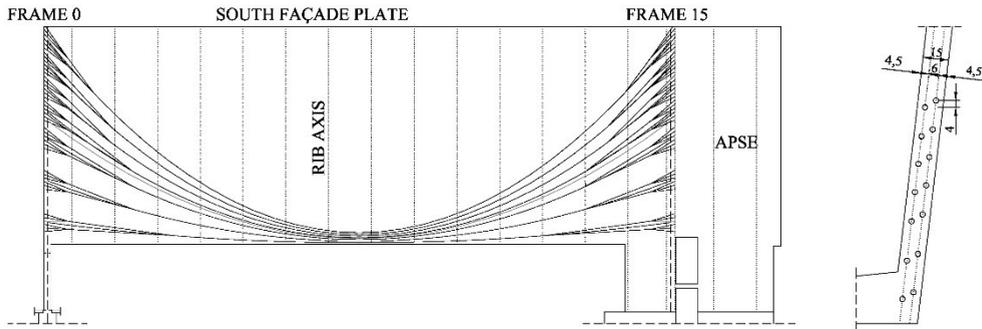
Imagen 3.3.4. Descripción del sistema de postesado.

Las fuerzas del postesado de los muros contrarrestan gran parte del peso propio, reduciendo los esfuerzos de flexión y minimizando las tensiones de tracción que se originan en la parte inferior de la lámina hasta unos valores admisibles por la resistencia a tracción del hormigón. Los tendones situados en la cubierta de la nave y de las capillas producen dos fuerzas horizontales de sentidos contrarios que reducen los esfuerzos de flexión esviada y torsión. Torroja explica el mecanismo resistente de la estructura de este modo:

Una viga de sección en L, de pared delgada, se encuentra sometida a tensiones siempre que la resultante de las fuerzas exteriores no pasa por el centro de esfuerzos cortantes, que, en este caso, es el vértice de la L. Como la resultante, P,

de los pesos muertos no pasa por dicho punto, se originan esfuerzos de torsión, imposibles de soportar con la sección en pared delgada abierta. Para eliminar estas torsiones se introducen las fuerzas, F , que originan momentos torsores respecto al centro de esfuerzos cortantes que anulan los producidos por P . Estas fuerzas F se originan por medio del sistema de pretensado, S , situado en la cubierta de las capillas laterales. La viga en L correspondiente a la fachada sur está, por tanto, sometida a dos sistemas de fuerzas, P y F , que producen flexiones en planos vertical y horizontal, respectivamente.

Estas flexiones están absorbidas por los sistemas de pretensado, $S1$ y $S2$ lográndose con esto eliminar las tensiones cortantes de torsión, y la pared y la cubierta quedan libres de tracciones, con lo que se mejora notablemente su impermeabilidad. La viga en Z correspondiente a la fachada norte lleva unos sistemas de pretensado análogos a los descritos. Ambas vigas apoyan sobre las estructuras de las fachadas este y oeste, siendo una de ellas móvil para poder admitir las dilataciones o contracciones de aquéllas (Imagen 3.3.4) (Torroja Miret, Iglesia en Gandía, 1962).



Fuente: (Arнау-Paltor, Serrano-Lanzarote, & Fenollosa Fomer, 2020)

Imagen 3.3.5 Esquema de postesado lámina Fachada sur.

Los tendones del postesado discurren en vainas, en grupos de 3 alambres, que constituyen un anclaje del sistema Barredo. Cada vaina acoge 3 anclajes en las láminas verticales y en la cubierta de las capillas laterales, pero sólo 2 anclajes en cubiertas de la nave y del claustro. En el caso de las láminas verticales, cada directriz parabólica corresponde a dos vainas discurrendo casi en paralelo separadas 40 mm en vertical y situadas a 45 mm de las caras exterior e interior respectivamente (Imagen 3.3.5). Los tendones fueron tensados desde ambos lados de la lámina, tal y como debe ser realizado en el caso de directriz curva de los tendones. Los anclajes se disponen en los cantos de las láminas, perpendicularmente a la directriz de la parábola, disponiendo un armado suplementario para soportar la inevitable concentración de tensiones.

Tal como menciona Torroja, el postesado mantiene comprimidas las láminas de hormigón garantizando la estanqueidad sin necesidad de elementos impermeabilizantes incluso en las cubiertas, de sólo 10 cm de espesor. La estanqueidad aumenta la durabilidad de la lámina pues en sus sesenta años de vida los elementos postesados no han manifestado signos de corrosión de las armaduras (Fernández Gómez, 1999), como sí lo han hecho otros elementos estructurales de hormigón armado que precisaron de reparación en al menos dos ocasiones en el mismo período (Serrano-Lanzarote, Fenollosa Forner, & Arnau-Paltor, 2016).

3.3.2 Análisis estructural.

3.3.2.1 Consideraciones previas.

a) Propiedades de los materiales.

Según la información obtenida en el análisis del proyecto original del estructura la resistencia a compresión considerada en el hormigón fue de $f_{ck}=13,5$ MPa con un coeficiente de seguridad ($\gamma_c=1,6$). Además E. Torroja admitió tensiones de tracción siempre que no superaran una resistencia a tracción del hormigón de 0,5 MPa.

Considera la resistencia del acero utilizado $f_{yk}=240$ MPa, el coeficiente de seguridad $\gamma_s=1,2$ y porcentaje del pretensado del 90% con pérdida de fuerzas de pretensado a largo plazo del 20%.

Las resistencias consideradas se indican en la Tabla 3.3.1

Tabla 3.3.1. Valores de resistencias de hormigón y acero.

Resistencias consideradas		Kg/cm ²
Resistencia característica del hormigón	$R_c=$	135
Resistencia básica del hormigón*	$R_b= 135 / 1,6 =$	85
Límite de elasticidad acero normal	$L_a=$	2.400
Resistencia básica acero normal	$R_b= 2400 / 1,2 =$	2.000
Resistencia de acero pretensado	$R_a=$	15.000
Resistencia básica del acero pretensado	$R_b= (15.000 \times 0,9) / 1,2=$	11.200
Tensión inicial del acero pretensado	$t_i=$	11.000
Tensión final del acero pretensado**	$t_f= 11.000 \times 0,8 =$	8.800

* Básica: resistencia minorada de cálculo.

** Pérdidas del 20% a largo plazo del acero pretensado.

Fuente: (Arnau-Paltor, Serrano-Lanzarote, & Fenollosa Forner, 2020)

b) Hipótesis de carga.

E. Torroja (Nadal Aixalá, 1960) somete a las láminas a tres hipótesis de carga

Cargas permanentes constituidas por el peso propio de las láminas más las costillas, el peso de las cubiertas (1 kN/m²), cerramientos y revestimientos.

Cargas variables de 0,6 kN/m² aplicadas sobre las cubiertas,

Cargas de viento sobre las fachadas con un empuje de 1,5 kN/m² y una succión de 0,5 kN/m².

Además tiene en cuenta las fuerzas activas proporcionadas por el pretensado de alambres de acero de 5 mm de diámetro dispuestos en grupos de 9. Teniendo en cuenta la resistencia del acero utilizado ($f_{yk}=240\text{MPa}$), el coeficiente de seguridad ($\gamma_s=1,2$) y las pérdidas a largo plazo (20%), la fuerza aplicada en cada grupo es de 176,72 kN.

Las fuerzas de postesado consideradas en los distintos elementos se reflejan en la Tabla 3.3.2

Tabla 3.3.2 Valores de fuerzas de postesado.

Grupos	Alambres por grupo	Alambres Ø 5 mm	Alambres adoptados	Área total (cm ²)	Fuerza de postesado (kg)	Fuerza de postesado en memoria (kg)	
Cubierta claustro	4	6	24	24	4,71	41.469,02	41.450
Viga-muro norte	12	9	104	108	21,21	186.610,60	179.700
Cubierta norte	3	6	20	18	3,53	31.101,77	34.560
Cubierta capillas	3	9	24	27	5,30	46.652,65	41.450
Viga-muro sur	14	9	128	126	24,74	217.712,37	221.140
Cubierta sur	6	6	36	36	7,07	62.203,53	62.220
Pórtico 0	1	16	16	15	2,95	25.918,14	21.250

Fuente: (Arnau-Paltor, Serrano-Lanzarote, & Fenollosa Fomer, 2020)

En la lámina norte únicamente contempla una combinación de cargas, la correspondiente a la aplicación simultánea de las cargas permanentes más las fuerzas de tesado y el viento actuando en la dirección Norte-Sur. En la lámina sur contempla cuatro combinaciones de carga:

Cargas permanentes más fuerzas de tesado,

Cargas permanentes más fuerzas de tesado y sobrecarga en cubiertas,

Cargas permanentes más fuerzas de tesado y viento en dirección Norte-Sur,

Cargas permanentes más fuerzas de tesado y viento en dirección Sur-Norte.

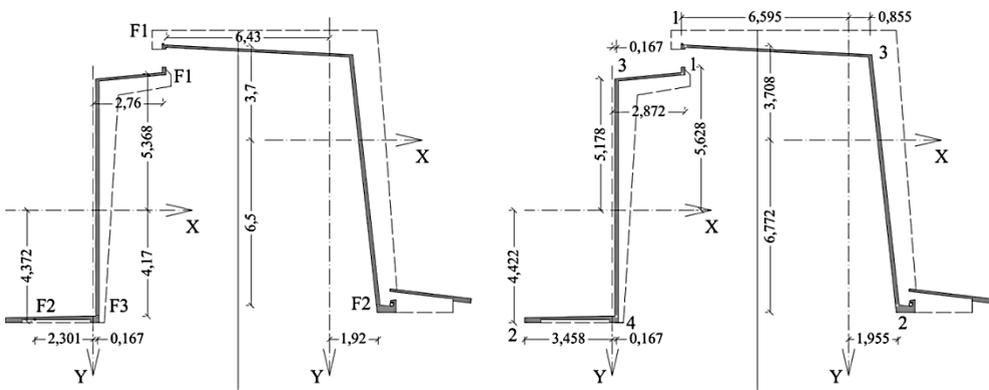
3.3.2.2 El modelo de cálculo de Torroja.

E. Torroja aborda el cálculo de las dos láminas de forma independiente. A semeja su comportamiento al de una viga biapoyada, suponiendo articulado la unión con el pórtico 15 junto al altar mayor y articulado-deslizante el extremo oeste, gracias a la doble articulación del pórtico 0 situado en el acceso principal.

Asume la sección de lámina del muro norte en forma de Z mientras que considera la del muro sur con forma de L invertida debido a la desconexión de la superficie vertical con la cubierta de las capillas.

Tabla 3.3.3. Características mecánicas sección y coordenadas de los puntos de estudio.

Características sección				Pto 1			
Lámina	I_x m^4	I_y m^4	I_{xy} m^4	W m^2	x_1 m	y_1 m	
norte	28,572	2,686	-5,914	2,214	2,872	-5,628	
sur	26,716	12,757	12,8	2,27	-6,595	-3,708	
		Pto. 2		Pto. 3		Pto. 4	
Lámina	x_2 m	y_2 m	x_3 m	y_3 m	x_4 m	y_4 m	
norte	-3,458	4,422	0,167	-5,178	0,167	4,422	
sur	1,955	6,772	0,855	-3,328			



Fuente: (Fenollosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá , & Arnau-Paltor, 2018)

Imagen 3.3.6. Posición del centro de esfuerzos y de las fuerzas de tesado (Izq.). Posición de los puntos de estudio (Der.).

A partir de la geometría de la lámina y las costillas (Nadal Aixalá, 1960), Torroja determina la posición del centro de esfuerzos (Imagen 3.3.6. Izq.), el área, las inercias, el producto de inercia de las secciones y coordenadas de cuatro puntos de la lámina norte y tres de la sur para su estudio que se reflejan en la 3.

E. Torroja calcula el valor de las tensiones normales en esos siete puntos (Imagen 3.3.6. Der.) bajo las hipótesis de carga consideradas.

3.3.2.3 Resultados del cálculo simplificado de Torroja.

E. Torroja realiza la evaluación de tensiones normales suponiendo un comportamiento elástico y lineal de las láminas. Aceptando la hipótesis de Navier-Bernouilli, utiliza la ecuación clásica de la resistencia de materiales (Gere & Timoshenko, 1996) para ejes no principales de inercia.

$$\sigma = \frac{1}{I_x \cdot I_y - I_{xy}^2} (x, y) \begin{bmatrix} I_x & -I_{xy} \\ -I_{xy} & I_y \end{bmatrix} \begin{pmatrix} M_y \\ M_x \end{pmatrix} + \frac{N}{A}$$

Ecuación 3.3.1

Cabe mencionar que no usó ningún proceso de optimización estructural como los realizados en la actualidad (Balogh & Lógó, 2014).

La Ecuación 3.3.1, particularizada para cada una de las láminas y conservando la nomenclatura, el sistema de referencia (Imagen 3.3.6) y los subíndices utilizados por el ingeniero son las siguientes:

Muro norte:

$$\sigma = \frac{(M'_V - 4,17 \cdot F_3)(y \cdot I_y - x \cdot I_{xy}) + (M'_H - 0,167 \cdot F_3)(x \cdot I_x - y \cdot I_{xy})}{I_x \cdot I_y - I_{xy}^2} - \frac{F_1 + F_2 + F_3}{W}$$

Ecuación 3.3.2

Muro sur

$$\sigma = \frac{(M'_V - 3,70 \cdot F_1 - 6,50 \cdot F_2)(y \cdot I_y - x \cdot I_{xy}) + (M'_H + 6,43 \cdot F_1 - 1,92 \cdot F_2)(x \cdot I_x - y \cdot I_{xy})}{I_x \cdot I_y - I_{xy}^2} - \frac{F_1 + F_2}{W}$$

Ecuación 3.3.3

Siendo:

- M_v Momento en el plano de flexión vertical
- M_H Momento en el plano de flexión horizontal
- F₁ Fuerza de postesado de la cubierta

- F₂ Fuerza de postesado de cubierta de las capillas en la fachada norte (Ecuación 3.3.2)
Fuerza de postesado del muro en la fachada sur (Ecuación 3.3.3)
- F₃ Fuerza de postesado del muro en la fachada norte
- I_x Inercia de la sección respecto eje horizontal
- I_y Inercia de la sección en Z respecto eje vertical
- I_{xy} Producto de Inercia de la sección en Z
- W Área de la sección transversal de la lámina
- x, y Coordenadas geométricas del punto

El valor de los momentos flectores, respecto del plano de flexión vertical (M_V) y horizontal (M_H), producidos por las cargas de las distintas hipótesis, así como las fuerzas de postesado utilizados en el cálculo se recogen en la Tabla 3.3.4.

Tabla 3.3.4. Momentos flectores y cargas de postesado.

Lám.	M_V (kN·m)				M_H (kN·m)				F (kN)		
	Perm	Uso	N-S	S-N	Perm	Uso	N-S	S-N	F1	F2	F3
norte	10.220,0	313,9	-159,0	-159,0	0	0	1407,0	-1029,0	345,6	41,45	1797,0
sur	15.877,0	629,0	-622,0	-622,0	-642,3	93,9	-648,0	286,0	622,2		2211,4

Fuente: (Fenollosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá , & Arnau-Paltor, 2018)

En el presente estudio, utilizando las mismas ecuaciones (Ecuación 3.3.2 y Ecuación 3.3.3) y los mismos esfuerzos, se ha obtenido las tensiones producidas en cada una de las hipótesis simples. Esto nos permitirá comparar los resultados con los valores obtenidos del modelo de E.F.

Se puede obtener mayor información sobre el proceso de cálculo realizado por E. Torroja en el trabajo de Núñez-Collado et. Al. (Núñez-Collado, Garzón-Roca, Payá-Zaforteza, & Adam Martínez, 2013).

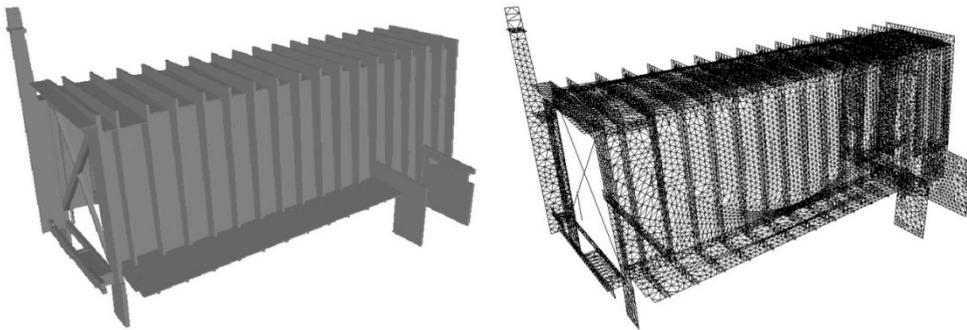
A diferencia de las cubiertas del frontón de Recoletos y del mercado de Algeciras, en este caso no se realizó un modelo reducido de la estructura para contrastar los resultados analíticos obtenidos.

3.3.2.4 Modelo con Elementos Finitos.

Basándose en la geometría del edificio se ha elaborado el modelo informático de la estructura del templo: las láminas plegadas y sus rigidizadores, los pórticos sobre los que éstas apoyan y el resto de la estructura del ábside. Todos éstos se han descompuesto mediante elementos finitos (E.F.) triangulares planos a los que se ha asignado los parámetros de cálculo característicos del hormigón: un módulo de elasticidad de 23.760 MPa y un coeficiente de Poisson de 0,20. El tamaño medio de los E.F. es de unos 40 cm. (Imagen 3.3.7). Las diagonales del pórtico 0 y los soportes del claustro se han modelizado mediante líneas que representan la directriz de la barra.

La inclusión en el modelo de los pórticos testers se considera fundamental para poder comparar el análisis simplificado realizado por Torroja con la estructura realmente construida. Éstos se han modelado mediante E.F. triangulados de 30 cm de espesor. La articulación del pórtico 0, bajo el encuentro con las láminas plegadas se ha modelado mediante una fila de E.F. de mitad de espesor (15 cm) y el encuentro del pórtico con la cimentación mediante una articulación teórica. También se ha modelado la junta del extremo superior del pórtico 0, con la conexión entre las dos partes del pórtico a través de un único vértice. El pórtico 15, junto al altar, no dispone ninguna articulación ni junta de dilatación y su encuentro con la cimentación, al igual que la del resto de elementos que llegan hasta la cimentación, se ha modelado como un empotramiento.

En la mayor parte de representaciones que explican el sistema de tesado de las láminas de la iglesia (Imagen 3.3.4), el conjunto de tendones se suele sustituir por una única curva que representa la resultante de los esfuerzos. La modelización de esta manera conduciría inevitablemente a una concentración de tensiones en el entorno del anclaje (Núñez-Collado, Garzón-Roca, Payá-Zaforteza, & Adam Martínez, 2013). En este estudio se ha recurrido a la introducción de los distintos tendones en su verdadera posición (Imagen 3.3.5) y a la aplicación de la fuerza de tesado de cada uno de ellos. La fuerza de tesado a lo largo del cable se ha evaluado siguiendo los criterios de ACI (ACI Committee 318, 2005) teniendo en cuenta una pérdida global del 20%, considerada por E. Torroja. Ésta incluye las pérdidas instantáneas diferidas, por rozamiento y de los anclajes. Además, se ha aplicado la fuerza de compresión tangente a la directriz de la curva en el punto de anclaje de los tendones.

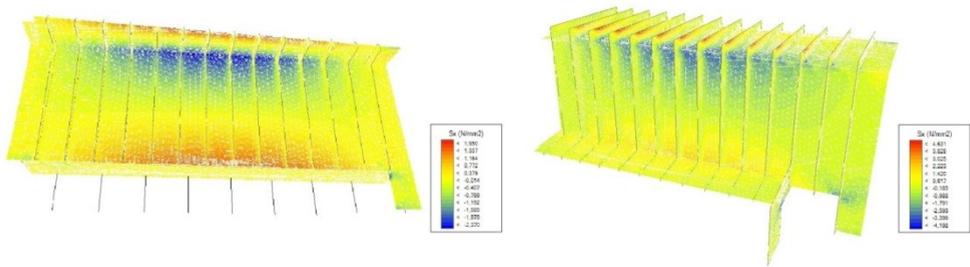


Fuente: (Arнау Paltor, Fenollosa Forner, & Serrano Lanzarote, 2019)

Imagen 3.3.7. Modelo estructural. visualización “sólida” (Izq.) Mallado de E. F. (Der.)

El análisis estructural del modelo se ha realizado mediante el programa de cálculo en régimen lineal ANGLE (Alonso Dura, 2016). A los elementos de cáscara se le asigna un comportamiento como lámina (momentos flectores) y de membrana (axiles y cortantes) (Mín, 2002).

El programa evalúa directamente el peso propio de los elementos estructurales, teniendo en cuenta un peso específico del hormigón de 24 kN/m³, tal como utilizó E. Torroja. El resto de cargas de elementos constructivos, sobrecargas y cargas de viento se han aplicado a través de fuerzas superficiales o lineales, según el caso con los mismos valores e hipótesis que los utilizados por E. Torroja.



Fuente: (Fenolosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá , & Arnau-Paltor, 2018)

Imagen 3.3.8. Tensiones normales. Cargas permanentes: Vista interior (Izq.). Lámina sur. Vista exterior (Der.).

3.4. Discusión de resultados

3.4.1 Cargas Permanentes.

El estado tensional al que se encuentra sometido la lámina frente a cargas gravitatorias de carácter permanente muestra lo esperado en una viga biapoyada: tensiones de compresión en la parte superior de la lámina y de tracción en la parte inferior (Imagen 3.3.8). La lámina vertical se comporta como una viga pared, rigidizada por las láminas de las cubiertas. En la misma figura se observa una concentración de tensiones en los vértices de la lámina y en la esquina junto a la zona de apoyo.

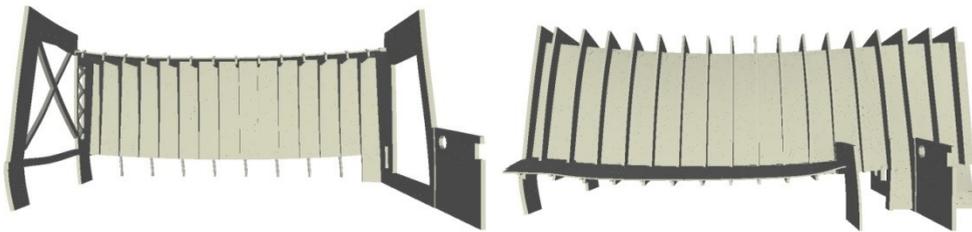
Tabla 3.4.1. Tensiones normales (MPa). Cargas permanentes. Comparación de resultados.

	Lámina norte				Lámina sur		
	Pto 1	Pto. 2	Pto. 3	Pto. 4	Pto 1	Pto. 2	Pto. 3
Torroja	0,46	-2,10	-3,16	3,15	3,80	5,63	-5,03
E.F. Modelo	1,95	0,24	-2,37	1,69	2,25	2,62	-3,76
E.F. Modelo 2	1,53	-1,15	-2,69	2,76	2,36	3,78	-4,39

Los valores de las tensiones normales obtenidas con el modelo de E.F. son comparadas en la Tabla 3.4.1 (E.F. Modelo) con las procedentes del cálculo realizado por E. Torroja (Ecuación 3.3.2 y Ecuación 3.3.3). Se observa una buena aproximación en todos los

puntos, con valores absolutos en general ligeramente menores que los proporcionados por E. Torroja. La excepción se produce en el punto 2 de la lámina norte donde se obtiene una tensión de tracción en lugar de la esperada de compresión.

La explicación se encuentra en las diferencias entre el modelo de cálculo simplificado utilizado por Torroja y la realidad construida reproducida por el modelo de E.F. Las imágenes de la deformada elástica de ambas láminas muestran lo sucedido. (Imagen 3.4.1 Izq.) muestra la deformación esperada: el giro de las dos articulaciones en apoyo y en la base de las láminas permiten el desplazamiento longitudinal de la lámina, comportándose como un apoyo deslizable. La escasa rigidez del pórtico 15 respecto de las láminas hace que su apoyo se comporte como una articulación.



Fuente: (Fenollosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá , & Arnau-Paltor, 2018)

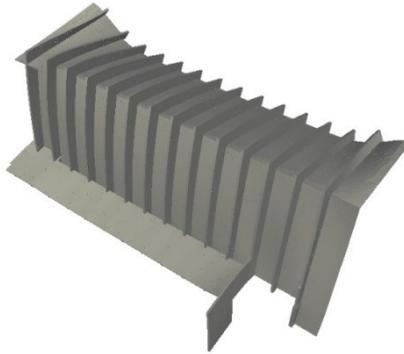
Imagen 3.4.1. Deformaciones. Cargas permanentes: Lámina norte. Vista interior. (Izq.). Lámina sur. Vista exterior (Der.).

No obstante, hay varios elementos que distorsionan el modelo. El más evidente es la continuidad de la lámina sur en la fachada del ábside. Además, aunque con menor repercusión, existen varias costillas en la fachada sur e incluso un tramo de la propia lámina en ambas fachadas que coartan la libertad al giro del extremo del altar. Estos elementos introducen una rigidez que impide el giro libre de la lámina en el pórtico 15. Por ello, las láminas tienen un comportamiento más bien parecido al de una viga apoyada-empotrada, especialmente evidente en la lámina sur (Imagen 3.4.1 Der.) Así, las tensiones obtenidas son menores que las esperadas.

Por último, la serie de soportes de hormigón armado situados bajo la cubierta del claustro (lámina norte) explica el mencionado cambio de signo de la tensión en esta zona.

Para corroborar la hipótesis expuesta, se ha analizado un segundo modelo de E.F. eliminando todos los elementos que distorsionan el comportamiento previsto. Es decir, se ha eliminado la estructura del ábside, las costillas y tramos de las láminas que continúan hasta la cimentación y los soportes del claustro. Las tensiones obtenidas bajo este modelo frente a cargas permanentes se muestran en la Tabla 3.4.1 (E.F. Modelo 2), obteniéndose una mejor correspondencia con el modelo analizado por E. Torroja.

La función de las costillas se observa en la Imagen 3.4.2. La lámina de la cubierta está rígidamente unida a los pórticos testeros 0 y 15 cuya rigidez impide su desplazamiento vertical. Sin embargo, en la zona central, la lámina queda sujeta por las costillas con un trabajo fundamental en ménsula (obsérvense en la Imagen 3.3.8 Der., las tensiones de tracción en la cara superior de las costillas). La deformación máxima alcanza un valor de 18,4 mm en la hipótesis de carga considerada. Como ya adelantaba E. Torroja, las costillas realizan una doble función como rigidización de las láminas y como elementos rígidos en voladizo que sustentan las cubiertas.



Fuente: (Fenolosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá , & Arnau-Paltor, 2018)

Imagen 3.4.2. Deformación. Cargas permanentes. Lámina sur. Vista exterior

3.4.2 Cargas de Pretensado.

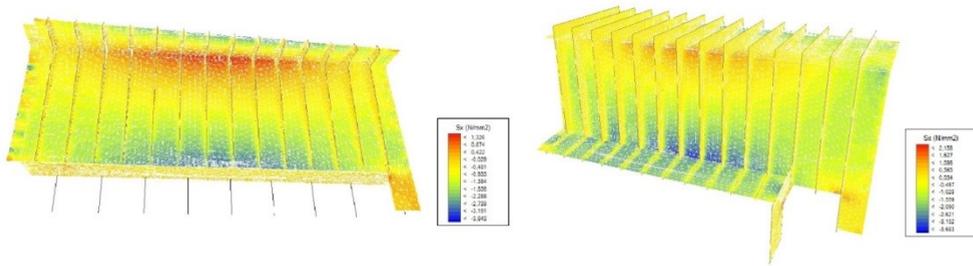
Los valores de las tensiones normales obtenidas con el modelo de E.F. (Imagen 3.4.3) son comparadas en la Tabla 3.4.2 con las procedentes del cálculo realizado por E. Torroja. Al igual que con la hipótesis de cargas permanentes, se observa una buena aproximación en todos los puntos, especialmente en la lámina norte. Los valores absolutos son ligeramente menores que los proporcionados por E. Torroja y se produce un cambio de signo de la tensión en el punto 2 de la lámina norte. Los motivos son idénticos a los relatados para cargas permanentes, hecho que se confirma con los valores obtenidos en el modelo de E.F. modificado.

Tabla 3.4.2. Tensiones normales (MPa). Cargas de pretensado. Comparación de resultados.

	M. norte				M. sur		
	Pto 1	Pto. 2	Pto. 3	Pto. 4	Pto 1	Pto. 2	Pto. 3
Torroja	-1,84	0,91	1,35	-3,69	-3,60	-5,39	2,30
E.F. Model	-2,75	-1,01	1,32	-2,99	-2,49	-3,64	1,32
E.F. Model 2	-2,60	-0,87	1,44	-3,22	-2,75	-4,77	1,83

La tensión máxima de compresión es significativamente menor del valor máximo ($\sigma < 0,60 \cdot f'_{ci}$) admitido por el código ACI (ACI Committee 318, 2005). Igualmente, la tensión de tracción no alcanza el valor límite para el caso de vigas biapoyadas ($\sigma < \sqrt{f'_{ci}}/2$), aunque se encuentra muy cerca en el punto 3 del muro sur en el Modelo modificado.

Las tensiones de compresión producidas en la parte inferior de las láminas por el tesado de los tendones son ligeramente superiores a las tensiones de tracción generadas por las cargas permanentes, mientras que las tensiones de tracción en la parte superior en aquella hipótesis no alcanzan los valores de compresión debido a las cargas permanentes. Si se tienen en cuenta ambas hipótesis, ya que ambos tipos de cargas son de carácter permanente, todos los puntos de las láminas se encuentran sometidos a compresión.



Fuente: (Fenollosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá, & Arnau-Paltor, 2018)

Imagen 3.4.3. Tensiones normales. Cargas de pretensado: Lámina norte. Vista interior (Izq.) Lámina sur. Vista exterior. (Der.)

En la Tabla 3.4.3 se muestran los resultados del modelo de elementos finitos bajo cargas permanentes y cargas de pretensado y la suma de ambas hipótesis.

Tabla 3.4.3 Valores de tensiones normales (MPa). Comparación de resultados.

	Muro norte				Muro sur		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Cargas permanentes	1,53	-1,15	-2,69	2,76	2,36	3,78	-4,39
Cargas pretensado	-2,6	-0,87	1,44	-3,22	-2,75	-4,77	1,83
Suma de hipótesis	-1,07	-2,02	-1,25	-0,46	-0,39	-0,99	-2,56

Fuente: (Arnau-Paltor, Serrano-Lanzarote, & Fenollosa Forner, 2020)

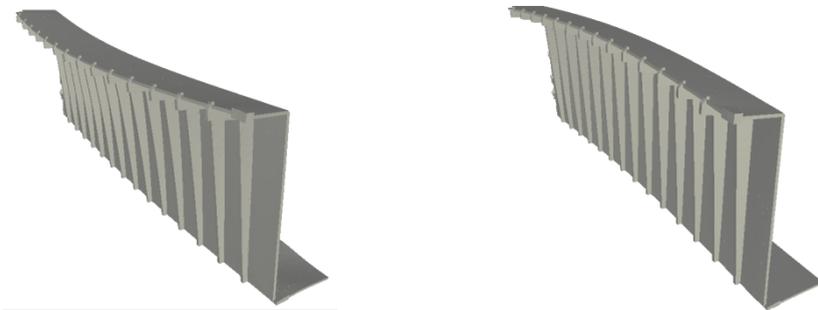
Debido a la sección asimétrica y abierta de las láminas plegadas aparece torsión incluso bajo cargas permanentes. Este efecto se puede ver en las deformaciones de la lámina norte mostradas en la Imagen 3.4.4 y de modo más claro por la diferencia en los desplazamientos horizontales de los puntos de estudio reflejados en la Tabla 3.4.4. El momento torsor es corregido mediante la introducción del postesado de los tendones y el arriostramiento mediante las costillas.

Cada anclaje del Sistema Barredo acoge tres cables por lo que, en la lámina sur los 126 tendones se anclan mediante 42 anclajes. Los anclajes quedan separados se sitúan cada 20 cm a lo largo de los 9m del canto de la lámina. Por este motivo, no se observa la concentración de tensiones mostrada por Núñez-Collado (Núñez-Collado, Garzón-Roca, Payá-Zaforteza, & Adam Martínez, 2013) no se produce en la realidad.

Tabla 3.4.4. Desplazamientos horizontales (mm). E.F. Modelo 1

	M. norte				M. sur		
	Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 1	Pto 2	Pto3
Cargas permanentes	4.30	1.22	4.12	1.20	-4.63	-1.03	-4.17
Pretensado	-5.62	-1.98	-5.54	-1.94	1.91	0.23	1.88

Las mayores tensiones en la zona de anclajes se producen en el extremo del acceso de la lámina norte. Los valores máximos obtenido es de -3,64 MPa Ello se debe a que esta lámina rebasa el plano del pórtico 0 realizándose el anclaje sobre la lámina con un espesor de 15 cm. En el resto, los anclajes se realizan en el plano de los pórticos testeros que tienen un espesor de 30 cm, distribuyéndose las tensiones de forma más homogénea.

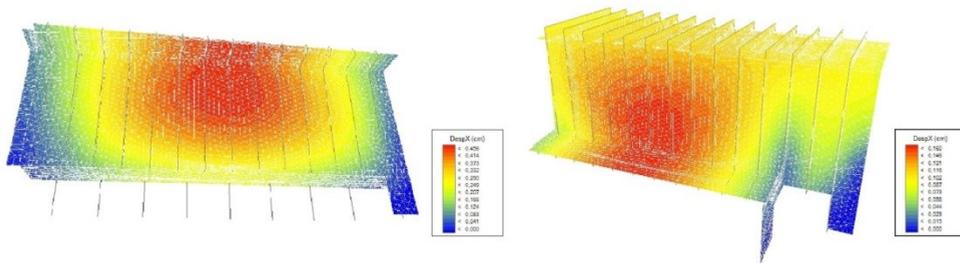


Fuente: (Fenollosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá , & Arnau-Paltor, 2018)

Imagen 3.4.4. Lámina norte. Deformaciones bajo carga permanente (Izq.) y bajo cargas de postesado (Der.)

3.4.3 Cargas horizontales de viento.

El mapa de colores que representa los desplazamientos horizontales en la Imagen 3.4.5. muestra que los pórticos son suficientemente rígidos en su plano para poder considerarlo indesplazables. El desplazamiento transversal no supera 1 mm en ninguno de los vértices superiores de ambos pórticos (Tabla 3.4.5). El comportamiento frente a cargas horizontales de viento es el de dos vigas de gran canto (cubiertas de la nave y de las capillas) apoyadas sobre los pórticos testeros. El muro vertical se comporta como una losa bidireccional sujeta en su perímetro a las vigas horizontales y a los pórticos testeros. Frente a esta hipótesis de carga las costillas cumplen también un papel de rigidización, en este caso de las láminas verticales, reduciendo su desplazamiento transversal.



Fuente: (Fenollosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá , & Arnau-Paltor, 2018)

Imagen 3.4.5. Desplazamientos horizontales a) Vista interior de la lámina norte. b) Vista exterior de la lámina sur.

Tabla 3.4.5 Desplazamientos horizontales (mm). Hipótesis de viento.

Dir. Viento	Sección	M. norte				M. sur		
		Pto. 1	Pto. 2	Pto. 3	Pto. 4	Pto. 1	Pto. 2	Pto. 3
N-S	Pórtico 0	0,84	0,30	0,82	0,27	1,03	0,38	0,99
	Central	4,44	2,43	4,47	2,44	1,16	1,39	1,19
	Pórtico 15	0,88	0,17	0,87	0,19	0,87	0,02	0,85
S-N	Pórtico 0	-0,91	-0,31	-0,89	-0,27	-1,03	-0,37	-1,00
	Central	-3,23	-1,84	-3,24	-1,84	-1,33	-1,76	-1,39
	Pórtico 15	-0,85	-0,15	-0,85	-0,17	-0,85	-0,02	-0,83

Se consideran positivos los desplazamientos en la dirección N-S

Fuente: (Fenollosa Forner, Serrano-Lanzarote, Alonso Durá , & Arnau-Paltor, 2018)

Los desplazamientos horizontales son mayores en la lámina norte, debido a la menor dimensión de las cubiertas de la nave y del claustro. El efecto de los soportes del claustro produce un desplazamiento de las deformaciones máximas hacia la parte superior de la lámina. Sin embargo, en la lámina sur los desplazamientos máximos se sitúan en la parte

inferior, debido a la mayor dimensión de la cubierta y a la escasa influencia de la cubierta de las capillas, unida a la lámina vertical únicamente por las costillas (Imagen 3.4.5).

La prolongación de la lámina sur en la zona del altar no produce una interferencia significativa.

3.4.4 Combinación de acciones.

E. Torroja comprueba la validez del diseño estructural con la obtención de las tensiones bajo distintas combinaciones de carga. Mientras que en la lámina norte únicamente contempla una combinación de cargas, en la lámina sur contempla cuatro combinaciones. Sus resultados se indican en la Tabla 3.4.6, junto con los valores obtenidos en los dos modelos de E.F. analizados en el presente artículo.

Tabla 3.4.6. Tensiones normales (MPa). Combinación desfavorable. Comparación de resultados.

		Perm+Post			Perm+Post+Sobr.		
		Torroja	E.F. Modelo	E.F. M-2	Torroja	E.F. Modelo	E.F. M-2
M. norte	Pto. 1	-1,38	-0,85	-1,16	-1,37	-0,67	-1,08
	Pto. 2	-1,19	-1,26	-2,02	-1,26	-0,76	-2,2
	Pto. 3	-1,81	-2,61	-1,25	-1,91	-1,16	-1,39
	Pto. 4	-0,54	-1,43	-0,46	-0,44	-1,23	-0,25
M. sur	Pto. 1	0,20*	-0,24	-0,39	0,40*	0,35	-0,21
	Pto. 2	0,25*	-1,02	-0,99	0,48*	-0,44	-0,75
	Pto. 3	-2,73*	-2,44	-2,56	-2,95*	-3,11	-2,89
		Per+Post+N-S			Per+Post+S-N		
		Torroja	E.F. Modelo	E.F. M-2	Torroja	E.F. Modelo	E.F. M-2
M. norte	Pto. 1	0,25*	1,06	0,73	-2,59	-1,88	-2,44
	Pto. 2	-3,61*	-2,07	-4,21	0,63	0,18	-0,1
	Pto. 3	-2,63*	-2,14	-2,51	-1,13	-0,41	-0,48
	Pto. 4	0,46*	-0,48	0,76	-1,35	-1,86	-1,32
M. sur	Pto. 1	-0,41*	-0,42	-0,63	0,27*	0,17	0,13
	Pto. 2	-0,09*	-1,34	-1,18	0,09*	-0,59	-0,73
	Pto. 3	-2,30*	-2,18	-2,33	-2,64*	-2,82	-2,91

* Estos valores aparecen recogidos de forma explícita en la memoria de cálculo de E. Torroja (Nadal Aixalá, 1960). El resto de valores en la lámina norte se han obtenido mediante la Ecuación 3.3.2.

Se observa una muy buena correspondencia entre los valores de cálculo de E. Torroja y los obtenidos con el modelo de E.F, que cabría calificarse de excelente en el caso del modelo de E.F. modificado. En los cálculos realizados no se producen tracciones ninguno de puntos bajo ninguna de las combinaciones de carga analizadas. Las tensiones máximas a compresión en la situación de cargas permanentes más esfuerzos de pretensado son ampliamente menores del valor máximo ($\sigma < 0,45 \cdot f'_{ci}$) admitido por el código ACI (ACI Committee 318, 2005). Igualmente son inferiores a los valores prescritos ($\sigma < 0,60 \cdot f'_{ci}$) bajo la combinación de cargas más desfavorable.

Capítulo 4

La rehabilitación de la iglesia de San Nicolás

En el presente capítulo se expondrán los daños que presentaba la estructura de la iglesia de San Nicolás del Grau de Gandia, detectados en 1996, y el proyecto de rehabilitación integral llevado a cabo entre los años 2002 y 2006.

La iglesia fue construida entre 1959 y 1962. Está situada en la desembocadura del Río San Nicolás en el Grau de Gandia, en un ambiente marino, caracterizado por elevados porcentajes de humedad y de contenidos de cloruros, cuyos síntomas se manifestaban en la corrosión generalizada que presentaban las armaduras de la estructura. Durante sus primeros 35 años, la iglesia no fue sometida a labores de mantenimiento de importancia. Los daños observados en 1996 motivaron una evaluación exhaustiva del estado del edificio. El trabajo fue encargado a los Laboratorios Intemac.

El informe resultante (Fernández Gómez, 1999) sirvió como base para el proyecto de rehabilitación integral de la iglesia, obra del arquitecto Ignacio Lafuente Niño (Lafuente Niño, 2001, 2003, 2004). El proyecto no sólo pretendía devolver a la iglesia su imagen original, mediante la reparación de los daños y acabados, sino también la modernización de instalaciones y la eliminación de los elementos impropios que distorsionaban la imagen de este conjunto de indudable valor arquitectónico. El proceso de reparación, al que fue sometida dicha estructura, consistió fundamentalmente en la eliminación del hormigón deteriorado hasta alcanzar la posición de las armaduras, que fueron limpiadas del óxido, para proceder finalmente a su reconstrucción y protección frente al desarrollo de futuros procesos de corrosión. Las obras se llevaron a cabo entre 2002 y 2006 de forma que se pudo celebrar el 50 aniversario de su construcción con una imagen completamente renovada (Sala González, 50 Aniversario. Iglesia de San Nicolás. Grau de Gandia., 2012).

4.1 Caracterización de las lesiones.

Fernández Cánovas fue supervisor de la primera intervención que se realizó sobre la estructura de la iglesia y a continuación se transcribe la información que facilitó directamente al autor del estudio:

“... La intervención estuvo motivada por la fisuración generalizada que presentaban las costillas de la estructura exterior a los 15 años de haberse terminado la obra. Yo era colaborador en el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, trabajando en el Dpto. de Materiales en problemas de patología e investigando en resinas epoxi aplicadas a la construcción. D. Gonzalo Echegaray, me pidió que me ocupara de supervisar la reparación que iba a realizar ACRE (Aplicaciones a la Construcción de Resinas Especiales) en la iglesia de San Nicolás. (...). Las fisuras que aparecían, en vertical, en todas las costillas coincidían con la posición de las barras de esquina y estaban motivadas por la expansión provocada por la corrosión de las mismas. Se hizo un análisis con fenolftaleína y se observó una profundidad de carbonatación que superaba el espesor del recubrimiento. Se realizó un análisis de cloruros, tomando unas muestras personalmente, y acompañado por mí, D. Pablo García de Paredes, (...), y los resultados nos indicaron un valor de cloruros tres veces superior a los límites permitidos. Hablando con personal de Gandía que había trabajado en la construcción de la iglesia nos confirmaron que la arena que se había empleado en la construcción era de playa y que no se había lavado con agua dulce. Esto confirmaba lo que ya habíamos deducido al observar trozos de cascaras de moluscos, especialmente almejas, en el hormigón de los recubrimientos que habíamos eliminado.”

La intervención consistió en eliminar los recubrimientos, que eran escasos, limpiar las barras mecánicamente con cepillo de alambre, darles una pintura protectora de epoxi-zinc y posteriormente rehacer el recubrimiento con un hormigón adecuado de cemento portland.

Recuerdo perfectamente que, al finalizar la obra, informé en una reunión que tuvimos, a Gonzalo Echegaray y a mi jefe, Francisco Arredondo, que ésta no era una solución definitiva y que en un futuro, más o menos próximo, volverían a aparecer problemas, pues no sabíamos la situación de los cables de postensado, ni de otros elementos interiores sobre los que no habíamos intervenido.”

En 1996, transcurridos 35 años de su construcción, la iglesia de San Nicolás volvió a presentar una serie de daños. El arquitecto Agustín Gabriel, en calidad de asesor arquitectónico de la parroquia, encargó el análisis y la evaluación de las lesiones a los laboratorios Intemac.

Fruto de este encargo se produjo la primera visita al templo del ingeniero de caminos Enrique González Valle, director de Intemac, el 31 de mayo de 1.996. El resultado de esta primera inspección fue la redacción del informe preliminar de fecha 25 de julio de 1996, en el que se documentaron las lesiones, se apuntaron las posibles causas que las

originaban, se realizó una evaluación de su trascendencia y se establecieron las recomendaciones oportunas.

Dichas recomendaciones derivaron en una serie de campañas de medidas y de ensayos, sobre unas probetas testigo extraídas previamente. Los resultados se recogieron en un segundo informe de los laboratorios Intemac, fechado el 7 de agosto de 1998.

El informe final incluye los mencionados informes, a modo de anejos, juntamente con los croquis de los daños, los partes de extracción y ensayo a compresión de las probetas testigo de hormigón, los resultados de las campañas de medidas y un anejo fotográfico. De dicho informe, fechado el 9 de febrero de 1999, se desprende la siguiente información:

4.1.1 Relación daños estructurales

a) Pórticos-costillas.

En la fachada sur (Imagen 1.1 Izq.), se observaron fisuras en la cara superior de las vigas horizontales de la cubierta, siguiendo el trazado de las armaduras superiores que presentaban corrosión leve o casi inexistente, con un espesor de recubrimiento de hormigón, entre 10 mm y 20 mm. Los tramos verticales del pórtico tenían una fisuración importante, con anchos entre 0,5 y 5 mm, marcando la posición de las armaduras principales.

En la fachada norte, los pórticos son interiores, no expuestos directamente al ambiente exterior, y no presentaban fisuración visible, salvo en el tramo de cubierta de los pórticos de la esquina noreste del edificio, en la que se observaron unos daños leves.



Fuente: (Lafuente Niño, 2001)

Imagen 1.1 Estado que presentaba los elementos estructurales de la fachada sur: Pórticos-costillas (Izq.); detalles de la pérdida de recubrimiento de la losa. (Der.)

b) Losas de las láminas plegadas

La losa plegada ubicada en la zona sur presentaba fisuración importante en el frente de cubierta, a lo largo del lucernario superior. En algunas zonas se observó el desprendimiento total del recubrimiento (Imagen 1.1. Der.)

No obstante, se observó que en las zonas comprimidas por la acción del postesado, la fisuración de las láminas era menor, reduciendo, en consecuencia, la exposición de las armaduras al ambiente exterior.

c) Pilares y cubierta del claustro.

Prácticamente todos los elementos presentaban daños por corrosión de las armaduras, desde la base hasta una altura que varía de 0,13 m a 1,22 m. Además, dos pilares en la esquina suroeste del claustro mostraban fisuras horizontales en cabeza, otro en la misma zona presentaba una fisura sinusoidal notable, que seccionaba completamente el pilar y finalmente un pilar situado en la cara este del claustro presentaba una rotura horizontal importante en la unión con la losa superior. Además, la losa superior presentaba fisuras con ancho variable entre 0,5 y 2 mm.

d) Campanario.

Debido a la corrosión de las armaduras presentaba en su base fisuras verticales con anchura máxima de 5 mm. La losa superior, situada en los dos huecos rectangulares de paso presentaba también daños importantes por corrosión, llegando a la pérdida total del recubrimiento de las armaduras.

e) Otras localizaciones.

La mayoría de elementos ornamentales de hormigón armado (marco de la fachada este, ménsulas y la cruz) presentaban daños importantes causados por la corrosión de las armaduras, llegando a pérdidas totales del recubrimiento en determinados puntos.

Algunos cerramientos y soleras, especialmente del muro sur de las capillas laterales, presentaban daños importantes producidos por asentamientos diferenciales. Cabe mencionar que su cimentación es de tipo superficial, sobre rellenos, y la del resto de la estructura por pilotaje a mayor profundidad.

4.1.2 Relación de daños en elementos constructivos

Se observaron filtraciones de agua de lluvia, manchas de humedad y desconchones de la pintura en las cubiertas del claustro y del acceso. Eran debidos al deterioro de la impermeabilización de cubiertas planas sobre las losas de hormigón y a las filtraciones del sistema de evacuación de pluviales afectadas por movimientos diferenciales en la estructura.

En todas las fachadas se habían producido desprendimientos parciales de los acabados exteriores y de los revestimientos vitraicos, por fallos en la adherencia con el soporte. También se observaban filtraciones de agua a través de los muros de ladrillo caravista.

El paramento interior del muro sur, de revoco raspado, se encontraba afectado por las filtraciones y la polución, humo de velas, etc. El del muro norte, de mortero poroso, estaba afectado por filtraciones, desprendimientos y abolladuras.

Se constató la existencia de pavimentos cerámicos degradados en el acceso y claustro, debido a la humedad procedente de los jardines. También se habían producido filtraciones de agua en el semisótano y humedades por capilaridad en el cerramiento de las capillas. El pavimento interior de terrazo bicolor presentaba lesiones leves y generalizadas de decoloración y porosidad debido a humedades por capilaridad.

Las carpinterías de acero laminado presentaban un avanzado deterioro por corrosión debido a la pérdida de protección por falta de mantenimiento.

Los falsos techos aparecían abombados y mostraban daños por filtraciones de agua.

4.1.3 Relación de daños en otros elementos

Se observaron barreras arquitectónicas que reducían la accesibilidad al edificio y otras que producían incomodidades en la circulación del Paso en la fachada sur, durante las celebraciones religiosas.

Se detectó la presencia de cerramientos impropios en el claustro.

La instalación eléctrica se encontraba obsoleta, así como los sistemas de iluminación. Las luminarias primitivas mostraban mal estado de conservación.

4.2 Ensayos y pruebas realizados.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados, que también quedan reflejados de forma resumida en la Tabla 2.1 :

Campaña de medidas de potencial de corrosión, mediante electrodo de cobre-sulfato de cobre y voltímetro de 1 mV de apreciación, según ASTM C-876-80 (ASTM C876, 2009). Se realizó en 16 zonas de pórticos y pilares del claustro, efectuando mediciones del potencial eléctrico sobre el hormigón en diez puntos de la barra seleccionada, separados aproximadamente 150 mm entre sí.

Campaña de medidas de resistividad del hormigón, mediante electrodo a cuatro hilos. Se analizaron 16 zonas de pórticos y pilares del claustro, midiendo la resistividad en cinco puntos de cada zona.

Ensayo a compresión y determinación de la densidad y porosidad del hormigón. Se extrajeron 6 probetas testigo de hormigón endurecido destinadas a un ensayo de compresión y otras 3 probetas destinadas a ensayos químicos según normas UNE 83302 (AENOR-CEN, 1984), UNE 83303 (AENOR-CEN, 1984), UNE 83304 (AENOR-CEN, 1984). Consultando la instrucción HA-61 (Torroja Miret & Al, Instrucción especial para estructuras de hormigón armado H.A. 61., 1961), coordinada por Torroja y de carácter

voluntario, la resistencia característica mínima debía ser mayor o igual a 130 kg/cm², con aceros lisos, y 170 con los de alta adherencia, valores inferiores a los obtenidos en las probetas ensayadas, con un valor mínimo de 235 kg/cm².

Tabla 2.1 Resumen de las pruebas y ensayos efectuados.

Ubicación	Elemento estructural	Valor máximo potencial	Valor máximo resistencia	Profundidad de carbonatación	Recubrimiento armaduras	Diámetro armaduras	
		(mv)	(kΩ x cm)	(mm)	mm	Real (3)	Nominal
Fachada sur vertical	Pórtico 1	-180	89,5	49 (1)	44 (1)	25	25
	Pórtico 2	-175	78,6	54 (1)	52 (1)	25	25
	Pórtico 4	-100	82,4	47 (1)	45 (1)	25	25
	Pórtico 5	-478	98	55 (1)	50 (1)	23,1	25
	Pórtico 6	-72	86,5	20 (1)	35 (1)	25	25
	Pórtico 8	-396	80,4	45 (1)	47 (1)	25	25
	Pórtico 9	-562	76,5	>55 (1)	55 (1)	25	25
Fachada norte vertical interior	Losa Z	-	137	45 (2)	- (1)	-	-
Fachada sur cubierta	Pórtico 0	-180	102	28 (1)	22 (1)	26	25
	Pórtico 3	-230	109	27 (1)	40 (1)	25,5	25
	Pórtico 6	-94	90,4	35 (1)	52 (1)	25	25
	Pórtico 8				(1)		
Claustro	Pórtico 11	-76	95,6	33 (1)	70 (1)	25	25
	Pilar A	-344	24,5	>20	16	8,1	8
	Pilar D	-456	26,7	>40	20	8,3	8
	Pilar F	-484	34,2	>20	15	8,4	8
	Pilar G	-382	42,6	>20	13	8,4	8
Ubicación	Elemento estructural	Resistencia a compresión	Porosidad	Densidad aparente	Contenido en cloruros	Profundidad permeabilidad al agua	

Ubicación	Elemento estructural	Resistencia a compresión (Kp/cm ²)	Porosidad (%)	Densidad aparente (Kg/dm ³)	Contenido en cloruros (%)		Profundidad permeabilidad al agua (mm)	
					0-20 mm	20-40 mm	Media	Máxima
Fachada sur vertical	Pórtico 1	382	13,1	2,3	0,39	0,87	84	90
	Pórtico 2							
	Pórtico 4	239	17,8	2,15	0,17	0,26		
	Pórtico 5							
	Pórtico 6							
	Pórtico 8	264	15,1	2,23			106	118
	Pórtico 9							
Fachada norte vertical interior	Losa Z	235	11,1	2,36				
Fachada sur cubierta	Pórtico 0							
	Pórtico 3	268	12,2	2,32				
	Pórtico 6	239						
	Pórtico 8		14,9	2,25				
	Pórtico 11				0,29	0,36	113	118
Claustro	Pilar A							
	Pilar D				0,39	0,39		
	Pilar F							
	Pilar G							

Notas:

- (1): Incluye espesor de la capa superficial de mortero (entre 15-25 mm)
- (2): El paramento de hormigón estaba revestido por una capa de material aislante de 15 mm de espesor.
- (3): Medido con pie de rey tras practicar una cata en el elemento estructural.

Fuente: (Serrano-Lanzarote, Fenollosa Forner, & Arnau-Paltor, 2016)

La porosidad del hormigón. Se realizó determinó sobre las 6 probetas testigo según la ASTM C-642 (ASTM C642-13 , 2013).

Determinación de la profundidad de carbonatación en las 6 probetas testigo extraídas, mediante impregnación alcohólica de fenolftaleína. La prueba se realizó en todos los puntos de extracción de las probetas testigo y en 10 puntos adicionales, siguiendo los criterios de la norma UNE 112011 (AENOR-CEN, 1994) y con una apreciación de 1mm. Consultando el informe de evaluación, se desprende que las profundidades de carbonatación, en general, no excesivas para la edad de la estructura, con valores que oscilan varían entre 2 y 7 mm.

Determinación del perfil de cloruros en 3 probetas testigo obtenidas de fragmentos del recubrimiento desprendido y en otro obtenido por golpeo en uno de los pilares del claustro. Siguiendo la norma UNE 112010 (AENOR-CEN, 1994) se determinó el residuo en ácido salicílico en muestras análogas para expresar los contenidos de cloruros respecto a la dosificación del cemento. Del informe de evaluación se concluye que los contenidos de ión Cl^- , son en algún caso superior al valor límite umbral de riesgo de corrosión (0,4 % en peso de cemento).

Determinación de la permeabilidad, sobre 3 probetas testigo, según UNE 83309 (AENOR-CEN, 1990).

Tras la eliminación del exceso de agua de la base se realizó el ensayo a tracción indirecta según UNE 83306 (AENOR-CEN, 1985) perpendicularmente a la cara sometida a presión de agua y se determinaron las profundidades de penetración media y máxima. Del análisis de resultados se deduce que los valores de penetración de agua bajo presión son muy superiores a los límites admitidos para considerar al hormigón suficientemente impermeable (profundidad máxima $\leq 50\text{mm}$; profundidad media $\leq 30\text{ mm}$).

A continuación, la recoge un resumen de todas las pruebas y ensayos:

4.3 Causas posibles y actuaciones propuestas.

La causa de los daños estructurales era fundamentalmente la corrosión de las armaduras próximas a los paramentos expuestos a la agresión ambiental. Dicha corrosión tiene tres componentes básicos:

Escasa o nula protección del mortero por su contenido en cemento y porosidad.

Escasos espesores de recubrimiento y elevada densidad de armado que dificulta el hormigonado homogéneo.

Ambiente de alta agresividad, junto al mar, con elevada salinidad y presencia de cloruros que, como se ha comentado en su ensayo de determinación, no sólo procedía de la aportación del ambiente exterior, sino que se encontraba presente en la propia masa del hormigón, debido a la utilización de arena no lavada.

La presencia de cloruros y carbonatación de la protección de las armaduras, condujo a su corrosión y a la fisuración de los recubrimientos, acelerando el proceso de corrosión por aumentar la exposición. En el caso de los pilares del claustro este proceso de

corrosión se vio también acelerado por el ascenso de humedades por capilaridad al elevar la concentración de cloruros con el aporte de humedad y desecación superficial.

Los deterioros observados en los cerramientos y soleras de las capillas laterales se deben a los asientos diferenciales entre la cimentación de tipo superficial sobre rellenos y la del resto de la estructura realizada por pilotaje a mayor profundidad.

En los elementos no estructurales, como pavimentos y cerrajería, las causas de los daños se asociaron a la falta de mantenimiento en el edificio.

La seguridad estaba condicionada por dos factores básicos: la pérdida de sección de las armaduras por corrosión y la pérdida de adherencia de tales armaduras con el hormigón.

Los daños observados y los datos de los análisis posteriores evidencian que la seguridad no se encontraba comprometida a corto plazo. No obstante, los problemas graves de durabilidad hacían necesaria una intervención inmediata para impedir un progreso acelerado de los daños.

Estas circunstancias eran distintas en los pilares de claustro, con las bases muy deterioradas. A pesar de que nominalmente las solicitaciones sobre los pilares eran muy reducidas, el mal estado de armaduras y hormigón hacían urgente la intervención.

4.4 El proyecto de intervención.

Siguiendo las recomendaciones del informe final de Intemac, la parroquia promueve las obras de rehabilitación integral, coincidiendo con la celebración del 50 aniversario en 2012.

El objetivo del proyecto de intervención es la reparación o sustitución de los elementos dañados y la renovación de las instalaciones en estado de obsolescencia. Así mismo se pretendían eliminar elementos impropios y renovar acabados.

El proyecto y dirección de obra se encargó al arquitecto Ignacio Lafuente. La dirección de la ejecución material de las obras se encomendó al arquitecto técnico José Bernardo Rodríguez Ripoll.

4.4.1 Fases del proceso de rehabilitación

La rehabilitación se acometió en tres fases, tanto en proyecto como en ejecución.

Fase 1 (2002): Proyecto de Ejecución visado en el Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia, el 16 de noviembre de 2001. Las obras se adjudicaron a PINTURAS TEP S.L., especializado en reparaciones de estructura de hormigón. Durante esta fase se acometieron las siguientes labores:

- Intervenciones estructurales en cubierta de la nave y fachadas este y sur.
- Renovación del sistema de evacuación de pluviales de fachada sur.

- Reposición de revestimientos vitraicos de las fachadas sur y este.
- Eliminación de barreras arquitectónicas con la construcción de una rampa de acceso a la iglesia.

Fase 2 (2005): Proyecto de Ejecución visado en el Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia, el 23 de Junio de 2003. De nuevo adjudicado a PINTURAS TEP S.L. Se realizaron los siguientes trabajos:

- Intervención sobre elementos estructurales: estructura del claustro y del campanario.
- Impermeabilización de losas del claustro y acceso.
- Reposición de revestimientos vitraicos sobre el paramento de ladrillo de la Fachada norte y de fachadas al claustro.
- Sustitución de pavimentos cerámicos de acceso y claustro.
- Eliminación elementos procedentes de intervenciones impropias en el claustro.
- Tratamiento hidrófugo de paramentos de ladrillo cara vista
- Restauración de la vidriera del altar en la fachada norte.

Fase 3 (2005-2006): Proyecto de Ejecución visado en el Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia, el 12 de noviembre de 2004. Se adjudicó al contratista TALENS S.L. Incluyó las siguientes obras:

- Renovación, impermeabilización y colocación de pavimentos exteriores en la fachada sur.
- Eliminación mediante una acera del ajardinamiento al pie del cerramiento de las capillas en la fachada sur.
- Sustitución de pavimento interior y reposición de paramentos interiores de la nave.
- Reposiciones de placas de falso techo y renovación de la escayola continua.
- Renovación funcional de la instalación eléctrica.
- Restauración de luminarias primitivas del templo y sustitución del resto.
- Instalación de aseo accesible al público.
- Instalación de red de riego por goteo y aspersores y reposición del ajardinamiento.

4.4.2 Intervención sobre elementos estructurales.

El proyecto de intervención, sigue las recomendaciones presentes en el Informe de Intermac de 9 de febrero de 1999. Se actuó sobre la cubierta de la nave y las fachadas este y sur y en la estructura del claustro y del campanario.



Fuente: (Lafuente, I. 2002)

Imagen 4.1. Intervención en los pórticos-costillas de la fachada sur: Saneado (Izq.), Reposición del hormigón (Der.).

El proceso de reparación y los sistemas utilizados fueron los siguientes:

- Saneado del hormigón dañado, mediante medios mecánicos o chorro de agua de alta presión (Imagen 4.1 Izq.). En el caso de los pilares del claustro esta fase, se realizó tras el apeo de la losa de hormigón.
- Limpieza de las armaduras del hormigón: Mediante chorro de arena de sílice para eliminar los óxidos procedentes de la corrosión. Posteriormente, tanto las armaduras como el hormigón sano se limpiaron mediante chorro de agua a media presión.
- Pasivación de las armaduras: Tras su limpieza se aplicaron dos capas de pintura de revestimiento pasivante, en un intervalo inferior a 4h, enarenando la segunda capa. La pintura utilizada fue LEGARAN de Basf.

- Reposición del hormigón afectado (Imagen 4.1 Der.): Mediante aplicación de mortero de cemento modificado con polímeros, aplicado según el caso a mano, por proyección, o gunitado, en capas sucesivas menores de 20 mm, previo humedecido del soporte. Para las vigas horizontales se usó BETTOGROUT 150 de Basf, que por su elevada fluidez se coloca por vertido en un encofrado, garantizando la adherencia con el hormigón horizontal. El mortero se puede aglomerar con cemento portland, consiguiendo un efecto protector de las armaduras gracias a la basicidad del cemento. Las reposiciones verticales se realizaron con un mortero de cemento y arena con el aditivo PCI-EMULSIÓN de Basf. Dicho aditivo mejora la impermeabilidad, la adherencia con el hormigón base y resistencia mecánica, disminuyendo la fisuración.

4.4.3 Intervención sobre elementos constructivos.

- Impermeabilización de las cubiertas planas sobre las losas de hormigón y renovación del sistema de evacuación de pluviales. Se prestó especial atención al borde perimetral con la renovación del goterón y la renovación de los sumideros.
- Tratamiento hidrófugo de paramentos de ladrillo cara vista. Se aplicaron dos capas de MASTERSEAL 325E de Basf. Este revestimiento es un monocomponente de base acrílica que resulta muy impermeable al agua y anhídrido carbónico y, sin embargo, es permeable al vapor de agua, permitiendo la transpiración de la estructura.
- Intervención sobre los revestimientos cerámicos. Los acabados cerámicos se adhirieron mediante FLEXMORTEL de Basf, un adhesivo se C2TE, según UNE EN 12004 (34), acreditando una adherencia mínima de 1 N/mm², seguro y durable. Las juntas se rellenaron con FLEXFUGE de Basf, deformable e impermeable. De este modo garantiza la continuidad en la impermeabilidad de las piezas cerámicas y permite movimientos como los producidos por las variaciones térmicas.
- Renovación e impermeabilización de pavimentos exteriores. Se sustituyeron los pavimentos cerámicos degradados de acceso y claustro. Se eliminó el ajardinamiento al pie del muro del cerramiento de las capillas en la fachada sur, mediante una acera realizada con adoquín y hormigón impreso sobre lámina impermeable. Con esta última intervención se consiguió una cómoda circulación del paso procesional desde la capilla y se evitaron las humedades en semisótano, sacristía y almacén, así como el acceso de la humedad por capilaridad en la base del muro.
- Restauración de vidrieras. Consistió en el desmontaje de vidrios, limpieza de óxidos en la carpintería y aplicación de protección con pintura al zinc-fosfato, reposición de vidrios y rejuntado con masilla de poliuretano espatulable. La cornisa acristalada de acero que separa la nave del claustro fue sustituida por

otra de idéntico diseño con entramado de acero galvanizado, tratada con epoxi al zinc fosfato y las vidrieras fueron repuestas.

- Reposición de pavimento interior deteriorado por el uso y por humedades de capilaridad. Se sustituyó por baldosas de granito blanco cristal nacional y gris ibérico portugués con igual dimensión y despiece que los originales, pero con una capa aislante intermedia. El escalón de piedra del borde del altar, dañado tras la eliminación de la cancela cuando se adaptó a la reforma litúrgica del Concilio Vaticano II, fue sustituido por otro de similares características.
- Intervención en los acabados interiores de la nave. Los paramentos de la zona sur se limpiaron y pintaron. Los paramentos de la zona norte se doblaron con sistema de entramado y placas de yeso laminado como trasdosado (). Se sustituyeron las placas de falso techo abombadas por las filtraciones de agua y se renovaron los falsos techos continuos.



Fuente: (Lafuente, I. 2006)

Imagen 4.2 Trasdosado de placas de yeso en el interior de la fachada norte

4.4.4 *Intervención sobre otros elementos*

- Eliminación de barreras arquitectónicas. Se mejoró la accesibilidad de la iglesia con la construcción de la rampa de acceso en la entrada principal.
- Renovación instalación de iluminación. Se restauraron las luminarias primitivas de diseño específico para el templo y sustituyeron el resto, diseñándose una iluminación exterior de las fachadas de carácter monumental.
- Eliminación de cerramientos impropios introducidos en intervenciones anteriores en el claustro

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Como se ha constatado que las láminas de hormigón armado constituyen una tipología de sumo interés desde el punto de vista estructural. La Comunitat Valenciana posee obras de los más importantes creadores de estructuras laminares como son Félix Candela en el Parque Oceanográfico o Eduardo Torroja en la Iglesia de San Nicolás de Gandía.

Se han catalogado diecisiete estructuras laminares de hormigón armado en la Comunitat Valenciana. A pesar de que la labor de búsqueda ha sido larga e intensa, este estudio sigue abierto a nuevas incorporaciones, con más motivo teniendo en cuenta que alguna de estas estructuras, como la de la fábrica Interfruit, se haya oculta desde el exterior del edificio.

La localización geográfica de las láminas

Se han localizado geográficamente las estructuras por provincia. Su distribución coincide más con una distribución de población que por extensión, perteneciendo tres estructuras a la provincia de Castellón, nueve a la de Valencia y cinco a la de Alicante.

Por localidades existe una distribución normal por densidad de población en las capitales de provincia donde llegamos a encontrar hasta cuatro ejemplos en Valencia y otra que tiene como centro la ciudad de Gandía y su entorno donde encontramos hasta cinco ejemplos.

El contexto histórico y los agentes intervinientes: promotores, arquitectos, ingenieros, constructores.

Como se ha visto, los años 50 o 60 del siglo XX fueron años de expansión económica en España gracias al fin de la autarquía y el inicio de la nueva política económica del desarrollismo promovida por los tecnócratas nombrados por Franco para el gobierno de España. Esta apertura no habría sido posible sin el apoyo de Estados Unidos, que consideró a la dictadura un aliado eficaz frente al comunismo en una posición geo-estratégica fundamental, y facilitó la entrada de España en la ONU. El desarrollo económico y apertura se concretó en un clima de optimismo y confianza en el progreso.

Los promotores coincidieron con los arquitectos en que la arquitectura moderna y en concreto las estructuras laminares encarnaban la esperanza de la población nacional y la confianza de los turistas extranjeros, constituyéndose en tótems propagandísticos para la industria en pleno desarrollo. Así mismo, el régimen político decidió abandonar como lenguaje propio, el neoclasicismo casticista que evocaba la época imperial española y que adoptó en los primeros años de la dictadura. A partir de mediados de siglo la administración adopta la arquitectura moderna como símbolo de la apertura y modernidad del régimen, lanzando un mensaje de confianza tanto a los españoles como a los inversores extranjeros.

En la Comunitat Valenciana esta tipología estructural tuvo su período de máximo esplendor en los años 60 del siglo XX. Por este motivo los primeros ejemplos de estructuras laminares en la Comunitat Valenciana de promoción privada de esta tipología se da sobre todo en la costa relacionada con la industria del turismo, mientras que la promoción pública se concentra más en las capitales en edificios públicos sobre todo de carácter educativo.

Como hemos visto, la utilización de las estructuras laminares decae en torno a los años 70 y 80 por motivos económicos. El progresivo aumento del precio de la mano de obra frente al de materiales, transformó la ventaja del ahorro material en inviabilidad económica debido el trabajo exigido por cimbras, encofrados y puesta en obra del hormigón. Este hecho no sólo hace que los ejemplos de esta tipología sean menos numerosos en esos años sino que sobre todo respondan a la promoción pública o de la Iglesia Católica, que podíamos calificar de semipública. En la Comunitat Valenciana, aunque tenemos obras de años posteriores, a partir de los años 70 y 80 el encarecimiento de la mano de obra disminuye su presencia y la promoción privada prácticamente desaparece. Una muestra clara de esta evolución del coste es que el restaurante de l'Oceanogràfic a pesar de reproducir el de promoción privada realizado por Félix Candela en Xochimilco (México) en 1957, forma parte de una de las últimas actuaciones de elevado presupuesto que afrontó la administración valenciana en el año 2000, antes de la crisis inmobiliaria.

Las estructuras laminares vivieron su período álgido a mediados del siglo pasado. Al tratarse de una tipología estructural de cierta sofisticación tecnológica tanto en su conocimiento, cálculo y ejecución fueron utilizadas sobre todo por arquitectos afincados en

Madrid o Barcelona, donde también se encontraban los despachos de los arquitectos especializados en su cálculo y su ejecución. En esos años de expansión del turismo nacional y de inicios del internacional, los arquitectos de la capital de España tenían una especial vinculación de segunda residencia con la costa de Gandía y Alicante, motivo que puede dar una explicación a la concentración de ejemplos en esa zona.

Se ha reseñado que los dos ejemplos realizados por el arquitecto Pablo Pintado Riba y las dos estructuras realizadas por los arquitectos también madrileños Juan de Haro Piñar y Lus M. Feduchi al menos fueron ejecutadas por la empresa Construcciones Laminares S.L. fundada por Ricardo Urgoiti y José Ruiz-Castillo. Estos arquitectos se formaron con Félix Candela en Méjico y exportaron el modelo de su constructora Cubiertas Ala, para ejecutarlas en la Península Ibérica. Realizaban también el cálculo de las estructuras y previsiblemente lo hicieron en los ejemplos de la Comunitat Valenciana salvo los realizados por Pablo Pintado Riba, que colaboraba con Ignacio Faure Rodrigo, también formado en México por Félix Candela.

La función y la forma en las láminas

Como hemos visto, el hecho de que resistan por su forma y escaso espesor por sollicitaciones de membrana, las hace ideales para la cubrición de grandes luces ya que al usar menos materiales también acarrearán menos peso propio. Además de espacios con necesidad de grandes luces sus sofisticadas formas las hacen ideales para la cubrición de espacios singulares. Entre los ejemplos presentes en la Comunitat Valenciana tenemos cuatro iglesias, tres edificios educativos, tres cubiertas para actos en espacios públicos, dos restaurantes, unas gradas en un estadio y un edificio de acceso, una gasolinera, una fábrica y otro ejemplo con menores luces en viviendas de realojo.

En lo referente a los distintos subtipos de la tipología hemos podido distinguir:

Superficies de doble curvatura anticlásticas. En el caso de los paraboloides hiperbólicos con bordes libre tenemos dos ejemplos aislados y siete compartiendo además arista con otros paraboloides hiperbólicos: Tres de ellos se disponen de forma concéntrica apoyados en el exterior formando una cúpula y el resto se unen compartiendo arista formando una malla ortogonal. Uno de ellos con los apoyos en el exterior y los otros tres casos apoyados en un pilar central conformando un paraguas, que comparten arista con otros paraguas.

También de doble curvatura anticlástica hemos visto que poseemos una bóveda parabólica ondulada con sección hiperbólica.

De láminas plegadas de hormigón armado tenemos cinco ejemplos, curiosamente todos ellos de arquitectura religiosa y educativa.

Y finalmente dos de superficie de doble curvatura sinclástica en forma de cúpula y de concha acústica reforzada por nervios.

El proceso constructivo, el armado y su evolución.

Hemos observado que a nivel constructivo las cimbras fueron evolucionando de las realizadas con madera hasta las metálicas ajustables. Probablemente las más sofisticadas tecnológicamente fueron las cimbras móviles utilizadas por la empresa Construcciones Laminas S.L., de Ricardo Urgoiti y José Ruiz-Castillo, que permitieron ejecutar, con el uso combinado de aceleradores del fraguado, los 4.680 m² de Interfruit en dos meses con dos cimbras. Los encofrados en general en todas las superficies regladas se realizaron con tablillas de madera en la dirección de las generatrices, imprimiendo su textura al intradós de la lámina.

Se ha constatado que en cuanto al armado de las láminas la mayoría posee una doble capa de armado sobre todo por motivos constructivos, para facilitar la puesta en obra del hormigón. Algunos ejemplos como el de Interfruit o el del restaurante de l'Oceanogràfic posee una sola malla, reforzada en este último caso con fibras de acero en el hormigón, otro avance tecnológico que permitiría prescindir del armado de acero, según los cálculos de los ingenieros que proyectaron la cubierta, Carlos Lázaro y Alberto Domingo. En la Iglesia de San Nicolás se utiliza también el postesado de la lámina.

En cuanto a la puesta en obra del hormigón prácticamente en todos los ejemplos se realizó a mano con hormigones de consistencia casi seca sobre las armaduras para evitar su deslizamiento. Aun así, este deslizamiento del hormigón no se pudo evitar completamente en la cúpula de Santa María de Borriol, donde el espesor de la cúpula es mayor en su base. En los dos últimos ejemplos en l'Oceanogràfic se realizó con hormigón proyectado, en el restaurante con fibras de acero en la matriz.

La rehabilitación, conservación y protección de las láminas.

Como hemos explicado, los conocimientos sobre la durabilidad del hormigón armado y la importancia del recubrimiento de las armaduras era bastante limitado a mediados del siglo XX debido a la escasa experiencia en la edificación en hormigón armado. Este factor resulta especialmente crítico en las estructuras laminares, debido a los escasos espesores de las láminas, y en la Comunitat Valenciana, por la agresividad de los cloruros del clima costero. La carbonatación del hormigón produce la corrosión de las armaduras con la consecuente fisuración y desprendimiento del recubrimiento. El breve período de existencia de esta singular tipología, conduce a que exista un número muy limitado de ejemplos en la Comunitat Valenciana y que además tengan una edad media entre 40 y 70 años, que en una estructura de hormigón armado con escasos recubrimientos y en clima marítimo implica un riesgo real de lesiones. La sofisticación y belleza de esta tipología lo convierten en parte importante de nuestro patrimonio arquitectónico lo que hace vital su conservación y protección. Para ello es necesario el estudio de cada elemento, la caracterización de sus lesiones, elaborar un diagnóstico y determinar las acciones a realizar para su rehabilitación.

En los ejemplos que nos ocupan, el ejemplo más antiguo es grupo de viviendas Marqués de Valterra. Ha sufrido intervenciones, ampliaciones y reformas posteriores que, sin entrar en patología del hormigón, hacen peligrar la pervivencia del carácter de esta colonia,

tanto a nivel edificatorio como urbanístico. El carácter privado y fraccionado de la propiedad de los elementos hacen muy difícil su rehabilitación y posterior conservación y protección salvo que se realice una actuación valiente por parte de la administración.

El auditorio de la Explanada de Alicante se encuentra en la actualidad en buen estado, gracias a dos rehabilitaciones recientes. De cara a su conservación y protección se hace necesaria un programa de mantenimiento urgente y exigente en especial por su exposición directa al clima marítimo y los gases de combustión de vehículos.

La iglesia de San Nicolás de Gandía ha sufrido dos rehabilitaciones integrales. La estructura de hormigón sufría abundantes daños por el ataque de los cloruros y el uso de arena de mar como árido fino. La posibilidad de que este hecho supusiese una costumbre de la zona en la época aumenta el riesgo de corrosión en el resto de ejemplos de aquellos años. En la iglesia de San Nicolás el paso del tiempo había convertido las instalaciones en obsoletas y cubierto el edificio de elementos impropios. La rehabilitación llevada a cabo al principio del presente siglo la devolvió a su estado original. En la actualidad se está tramitando su declaración como Bien de Interés Cultural que debería conllevar un programa exigente de mantenimiento para su conservación. Cabe destacar que las láminas postesadas no presentaron en apariencia corrosión de las armaduras gracias a la escasa fisuración del hormigón armado y reducido avance de la profundidad de carbonatación.

Los ejemplos de la estación de servicio “El Rebollet”, la fábrica Interfruit y el porche en el colegio de Jesús y María son casos en que la propiedad privada ha realizado un mantenimiento continuo de los elementos, haciendo que lleguen hasta la actualidad en buen estado. Se han realizado labores de reparación puntuales, cuando se ha producido desprendimiento del recubrimiento de hormigón por corrosión de las armaduras sin ocasionar patologías mayores. Son urgentes labores de eliminación de elementos impropios que ocultan la estructura de la fábrica Interfruit y en la estación de servicio, de difícil aplicación por la propiedad privada y por encontrarse la fábrica en funcionamiento. La actuación sería viable en una futura e hipotética adquisición del espacio por parte de la administración y recuperación para su uso público.

En el caso del IES Sorolla aunque se han efectuado en apariencia labores de mantenimiento para conservar la estructura en buen estado, se aprecia elementos impropios o pintadas sobre el edificio que demandan actuaciones orientadas a su conservación.

De la misma época, en el IES Politècnic y en las gradas del estadio Guillermo Olagüe se han realizado proyectos de rehabilitación integral reciente. En el caso del IES Politècnic incluso se ha realizado un cambio de uso de talleres en cafetería que permite percibir más claramente la tipología incluso desde el espacio público. En las gradas del estadio la falta de mantenimiento y su alta exposición hizo necesaria una rehabilitación estructural íntegra reciente.

En los años 70 tenemos estructuras también privadas como el restaurante “la cúpula” o la Iglesia de N^a Señora del Carmen que han sido mantenidas a lo largo de su vida

encontrándose en buen estado en la actualidad. La concha acústica de la plaza Castelar se encuentra también en buen estado con una rehabilitación reciente y la remodelación de todo el entorno urbano.

La Iglesia de Santa María de Borriol de los años 80 ha sido mantenida a lo largo de su vida pero requiere de una intervención especial de cara a eliminar filtraciones a través de cubierta y carpinterías inclinadas, en los que es vital solucionar los problemas sin modificar la innovadora morfología del edificio.

Las iglesias de Santa María del Mar o la marquesina en la plaza Juan XXIII entrados los años 90 o el edificio de acceso y el restaurante de l'Oceanogràfic de principios del siglo XXI son lo suficientemente recientes para reflejarse en su aspecto. La marquesina a pesar de ser pública ha recibido también un mantenimiento periódico con el fin de conservarla en buen estado.

Como hemos observado, en la Comunitat Valenciana, la brevedad del período álgido de las estructuras laminares hace que el número de esta sofisticada tipología sea muy reducido y su antigüedad hace necesaria y urgente planes para su rehabilitación, mantenimiento y conservación por parte de administraciones y propietarios. Este estudio pretende, no sólo situar y poner en valor esta tipología ante los referidos agentes sino en la divulgación y concienciación entre los habitantes de la Comunidad, de modo que se localicen más ejemplos y se comine a las administraciones a su protección.

En esta investigación se ha realizado una puesta en valor de cada ejemplo de esta tipología, plasmando su historia, reproduciendo planos y fotografías históricas y actuales y analizándolas desde el punto de vista estructural y constructivo. Aunque también recoge el estado actual de las estructuras y una caracterización de sus lesiones, es necesario un estudio individualizado orientado a promover su rehabilitación o conservación en su caso y su protección tal y como se ha realizado en la iglesia de San Nicolás de Gandía. En el tercer y cuarto capítulo se recoge el estudio, publicado en tres artículos, sobre esta obra póstuma de Eduardo Torroja que han servido de base para elaborar la documentación necesaria para promover su declaración como Bien de Interés Cultural.

La Iglesia de San Nicolás. El análisis estructural y su rehabilitación

Como hemos dicho, para Eduardo Torroja, autor de la iglesia de San Nicolás, “La belleza de las construcciones se basa en la autenticidad, en la racionalidad de la estructura, la elegante sencillez y la razonada justificación funcional.” (Torroja Miret, Razón y ser de los tipos estructurales, 1957). El ingeniero aplica el ingenio para aplicar soluciones estructurales innovadoras y audaces a un planteamiento funcional de modo que el resultado produzca una emoción estética.

Para Eduardo Torroja el pretensado es una técnica útil para inducir tensiones en el hormigón y resolver planteamientos estructurales. También es una herramienta para conseguir la impermeabilidad necesaria en elementos como acueductos, depósitos o cubiertas.

Entre los diferentes sistemas que usó, e incluso ingenió, en el pretensado de las estructuras, destaca el “Método Español” o “Barredo” patentado bajo su asesoramiento por Ricardo Barredo.

Este método permitía el tesado de los cables simultáneamente con una misma tensión y el retesado también en fase de servicio. El excesivo tamaño del gato hidráulico o el límite de tres barras por anclaje propició la evolución del método a uno que permitía tesar un mayor número de tendones con un anclaje parecido al Freyssinet.

Como hemos visto, en la iglesia de San Nicolás de Gandía, el ingeniero utilizó el postesado en las láminas plegadas y en el pórtico de acceso. Las láminas, plegadas en Z y L, cubren una luz de 27 m con un espesor de 15 cm gracias al postesado con directrices parabólicas en muros y cubiertas. Unas costillas de hormigón armado refuerzan las láminas a torsión y flexión esviada producida por su geometría.

En el pórtico 15 se considera sin rigidez fuera de su plano y se modeliza como un apoyo. En el pórtico 0 existe en la base otra articulación doble que materializa un apoyo deslizable. Otra articulación, en la parte superior del pórtico independiza las láminas mientras permite la transmisión de esfuerzos horizontales. Un tirante tesado compensa el momento torsor originado por la excentricidad de la lámina norte en su apoyo.

Se han realizado dos modelos de elementos finitos, uno de ellos reflejando el modelo simplificado de viga biapoyada que utilizó Eduardo Torroja para el cálculo “a mano” de la iglesia. En el otro, más ajustado a la realidad, incluye los dos pórticos de apoyo con sus articulaciones, los tendones del postesado con su directriz parabólica real y los pilares del claustro y el ábside. Los cálculos del ingeniero se corresponden con los obtenidos por los modelos informáticos para distintas combinaciones de cargas, siendo más cercanos los realizados con el modelo simplificado.

Como se ha observado, las costillas rigidizan a flexión, pero también sostienen las cubiertas en voladizo. Los apoyos en el claustro de la lámina alteran los resultados esperados en la arista. La lámina sur al continuar en el ábside posee mayor rigidez en su extremo, disminuyendo las tensiones de viga biapoyada bajo cargas permanentes.

Bajo cargas de postesado los valores son especialmente concordantes. En el borde de la lámina no se producen concentración de tensiones por el postesado gracias al uso máximo de tres tendones por anclaje del Método Barredo que permite la distribución de los esfuerzos a lo largo de los 9 m del canto de la lámina.

Los máximos movimientos horizontales se dan en la parte superior de la lámina norte y de la inferior de la sur debido a la diferencia en la rigidez de las dos cubiertas de las láminas y los pilares del claustro.

En la combinación más desfavorable de cargas las tensiones están muy por debajo de la máxima admisible en los materiales. El pensamiento estructural del ingeniero se pone así de manifiesto: “Expresar el triunfo de que es capaz la técnica actual. Dar la sensación de poderío, de fuerza, y al mismo tiempo de ligereza, de gracia y de sencillez. Como si

el límite de sus posibilidades estuviera mucho más allá todavía” (Torroja Miret, Razón y ser de los tipos estructurales, 1957).

Así mismo se ha presentado la patología que, tras 35 años de su erección, aquejaba a la iglesia y el proyecto y obras que se llevaron a cabo para darles solución.

Los laboratorios Intemac fueron los encargados de inspeccionar y evaluar los daños presentes en la estructura de hormigón. La presencia del edificio en primera línea de mar, con un ambiente agresivo de cloruros, el uso de arena de mar como árido en el hormigón y los escasos recubrimientos produjeron la carbonatación del hormigón y corrosión de las armaduras hasta la fisuración y desprendimiento de su recubrimiento en numerosos puntos. Los que sufrieron más daños fueron los más expuestos como los pilares del claustro o las costillas de refuerzo de las láminas.

Como hemos dicho, el postesado de las láminas, mantuvo el hormigón comprimido y sin fisuración de modo que las láminas están libres, en su mayor parte, de corrosión a pesar de su reducido espesor y escasos recubrimientos. El postesado se reveló como una herramienta eficaz en mejorar la durabilidad de las estructuras, especialmente en ambientes agresivos.

La rehabilitación del templo se abordó en diferentes fases, dirigidas por un proyecto que, además de las reparaciones estructurales y de tipo constructivo, especialmente en revestimientos, incluía la renovación de instalaciones obsoletas, mejoras referentes a la accesibilidad o la eliminación de elementos impropios. La iglesia presentó en su 50 aniversario una vuelta a sus orígenes.

5.2 Propuestas para futuras investigaciones

Aunque la investigación sobre este tipo de tipología en la Comunitat Valenciana ha sido largo e intenso en el tiempo es posible que aparezcan nuevos ejemplos de esta tipología. Este trabajo se ha presentado con formato de fichas, incorporando una versión digital online orientada a la difusión del trabajo y puesta en valor de la tipología y facilitar la localización de nuevos ejemplos para su posterior estudio en detalle (LHA-CV, s.f.):

<https://drive.google.com/open?id=14Emy-3UPCAW0H9r4G8QHCiw865UHIHV&usp=sharing>

Tomando este trabajo como hilo conductor hemos realizado, con el Instituto Valenciano de la Edificación, una exposición con paneles informativos y maquetas de cada uno de los elementos del estudio. En el catálogo de la exposición (VV.AA., Laminoflexia: Láminas de hormigón armado en la Comunitat Valenciana, 2019) varios autores realizan un análisis en detalle de varios edificios: IES Joaquín Sorolla (Fenollosa Forner & Cabrera Fausto, 2019), grupo Marqués de Valterra (Alonso Durá & Llopis Pulido, 2019), estación de servicio “El Rebollet” (Gallardo Llopis, Borchá Lara, & Ferrándiz López, 2019). Los propios autores de la estructura han escrito, en el catálogo de la exposición, los artículos del restaurante Oceanogràfic (Lázaro Fernández, 2019) y del paraboloide hiperbólico de Sant Vicent del Raspeig (Regalado Tesoro, 2019).

El objetivo final de este trabajo es suscitar un estudio individualizado de cada elemento de la investigación del mismo modo que se ha hecho en la Iglesia de S. Nicolás del Grau de Gandía: Elaborar un estudio exhaustivo estructural y constructivo y caracterizar sus lesiones, realizar un diagnóstico y promover su rehabilitación, en su caso, y su conservación y, en la medida de lo posible su protección oficial.

En el caso de la Iglesia de San Nicolás, la rehabilitación integral y los actos en torno al 50 aniversario del templo en el 2012, han fomentado estudios y publicaciones, entre los que se encuentra los artículos presentados en el anejo de este trabajo. Todas estas actuaciones favorecen un clima de valoración entre la población y sensibilización en la necesidad de protección de su patrimonio arquitectónico contemporáneo.

De cada elemento sería conveniente hacer un análisis estructural, y en base al estado descrito y las lesiones caracterizadas elaborar un plan de acciones tendente a la rehabilitación en su caso y al mantenimiento y conservación. También sería interesante promover la protección oficial por parte de la administración de cada elemento al igual que la iglesia de San Nicolás que forma parte ya de DOCOMOMO Ibérico. En este sentido, el Ayuntamiento de Gandía, encargó al autor del presente estudio un informe de apoyo para iniciar los trámites para la incoación de la Iglesia de San Nicolás en el Grau de Gandía como bien de interés cultural.

Otros campos de investigación para preservar este tipo de estructuras serían aquellos tendentes a facilitar su construcción en la actualidad, como el uso de nuevas técnicas como el hormigón reforzado con fibras de acero o sistemas móviles de cimbra que permitiesen reducir el coste de su ejecución. La eficiencia de esta tipología estructural las hace extremadamente sostenibles, convirtiendo las posibles investigaciones en este campo en muy adecuadas a las necesidades ecológicas actuales.

Anejos

A1. Relación de trabajos consecuencia de esta investigación.

A continuación se presentan una serie de trabajos frutos de este trabajo de investigación:

Informe para la declaración de Bien de Interés Cultural de la iglesia de S. Nicolás de Bari en el Grau de Gandía. Av. de la Pau, 2. Gandía, València. Noviembre 2019:

La sensibilización en la protección del patrimonio arquitectónico contemporáneo llevó al Ayuntamiento de Gandía a promover la declaración de la iglesia de San Nicolás como bien de interés cultural, encargándole al autor del presente trabajo un informe de apoyo para el proceso de incoación por parte de la Dirección General de Cultura y Patrimonio y que se encuentra en la actualidad en fase de tramitación.

Proyectos:

Participación en el proyecto de investigación "Estrategias para la regeneración sostenible de asentamientos turísticos en la costa mediterránea", en el marco Plan Nacional de I+D+i (2008-2011), con la referencia BIA2011-28297-C02-01. Los resultados se reflejaron en el libro:

- Domínguez Arribas, L. E., Serrano Lanzarote, B., & Ruiz Hilario, I. (2015). Estrategias para la regeneración sostenible de asentamientos turísticos en la costa mediterránea. Resultados del proyecto de investigación ERAM. València: IVE.

Y en las dos ediciones de la exposición:

- "Estrategias para la regeneración sostenible de asentamientos turísticos en la costa mediterránea". Sala de exposiciones de la Escuela de Arquitectura de Valencia. 6/06/2014
- "Estrategias para la regeneración sostenible de asentamientos turísticos en la costa mediterránea". Hall nord de la Escuela de Arquitectura de Valencia. Del 18 de diciembre de 2014 a 15 de enero de 2015

Se ha montado la exposición "Laminoflexia: Láminas de hormigón armado en la Comunitat Valenciana" dentro del marco del proyecto europeo ALTERECO (Alternative tourist strategies to enhance the local sustainable development of tourism by promoting Mediterranean Identity) del programa INTERREG MED, con una duración de 3 años (11/2016 – 07/2019) y un presupuesto global de 2.293.630 €. La exposición cuenta con paneles y maquetas, y se ha colaborado con el Instituto Valenciano de la Edificación, realizando la selección, documentación y contenido. Ha tenido dos ediciones:

- Exposición "Laminoflexia: Láminas de hormigón armado en la Comunitat Valenciana" en el palau ducal de Gandía del 11 de julio al 30 de agosto de 2019.
- Exposición "Laminoflexia: Láminas de hormigón armado en la Comunitat Valenciana" en el Hall de la Escuela de Ingenieros de CCyP de la Universitat

Politécnica de València el 24 de febrero de 2020 con motivo de la inauguración de la Semana de la Ingeniería Civil y Medio Ambiente 2020.

Los resultados de la exposición se plasmaron en el catálogo:

- VV.AA. (2019). *Laminoflexia: Láminas de hormigón armado en la Comunitat Valenciana*. València: IVE.

En el catálogo, los contenidos de la exposición están precedidos por varios capítulos referentes a la temática o elementos del catálogo. He participado también junto a Begoña Serrano en uno de ellos:

- Arnau-Paltor, F., & Serrano-Lanzarote, B. (2019). Las láminas plegadas de Torroja. *Laminoflexia: Láminas de hormigón armado en la Comunitat Valenciana*, 123-142. València: IVE.

Congresos:

Se participó en las “Jornadas Técnicas: Estrategias de regeneración urbana sostenible en áreas turísticas maduras”. II edición que tuvieron lugar en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de València el 18 y 19 de diciembre de 2014.

En estas jornadas se participó como ponente en la Mesa Temática: “Investigación en regeneración y renovación urbana en áreas turísticas” con el tema: “Puesta en valor de la Arquitectura del S. XX en Gandía. La Iglesia de S. Nicolás de Torroja”. Contendida en la publicación resultado de la jornada:

- Arnau Paltor, F. (2015). Puesta en valor de la arquitectura del s.XX en Gandía: La iglesia de S. Nicolás en el Grau, obra de Eduardo Torroja. En R. Temes Córdoba, & J. J. Tuset Davó (Edits.), *Orilla marítima, territorio litoral*. (págs. 142-144). Valencia: General de ediciones de arquitectura.

Así mismo se participó en la 1st Valencia International Biennial of Research in Architecture (VIBRARCH) En la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de València. 18 y 19 de octubre de 2018.

En este congreso se participó con la ponencia: “Evolution in shell concrete structures in Valencia Region (Spain)”, que se plasmó en la publicación resultado del congreso:

- Arnau Paltor, F., Fenollosa Forner, E., & Serrano Lanzarote, B. (2019). Evolution in shell concrete structures in Valencia Region (Spain). En I. Cabrera Fausto (Ed.), *Reactive, proactive architecture* (págs. 190-195). València: UPV.

Para el Congreso REHABEND 2020 organizado por la Universidad de Cantabria, que debía tener lugar en Granada del 23 al 26 de marzo y que se aplazó al 28 de septiembre al 1 de octubre de 2020 con sesiones online, se participó con la ponencia en vídeo “Shell concrete structures in Valencia Region (Spain) catalogue” realizada en colaboración con Begoña Serrano Lanzarote y Ernesto Fenollosa Forner. Esta ponencia se recoge en el libro del congreso:

- Arnau Paltor, F., Serrano B. & Fenollosa, E. (2020). Shell concrete structures in Valencia Region (Spain) catalogue. En VV.AA., I. Lombillo, H. Blanco & Y. Boffill (Ed.), *REHABEND 2020. Euro-american congress* (págs. 222-231). Spain: Círculo Rojo.

Artículos: Como se ha comentado en la introducción de la presente tesis doctoral se han publicado los siguientes artículos.

- Fenollosa Forner, E., Serrano-Lanzarote, B., Alonso Durá, A. & Arnau-Paltor, F. (2018). Two Post-tensioned Thin Folded Plates Designed by E. Torroja for San Nicolás Church. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(1), 162-172. <https://doi.org/10.3311/PPci.10251>.

JCR (2018): 0,976 (Q3 pos 99 de 132 en “Civil Engineering”) y (5 años): 0,905

SJR (2018): 0,360 (Q3 pos. 160 de 441 Civil and Structural Engineering, Q2 pos. 94 de 312 Geotechnical Engineering and Engineering Geology).

Índice H: 14

- Arnau-Paltor, F., Serrano-Lanzarote, B., & Fenollosa Forner, E. (2020). The post-tensioned concrete technique in the work of Eduardo Torroja. the case of the church of San Nicolás in Gandía. *Structures*, 23, 518-528. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.11.006>.

JCR (2018): 1.646 (Q3 pos. 68 de 132 “Civil Engineering”)

SJR 2018: 0,977 (Q1 “Architecture”, Q1 “Building and Construction”, Q1” Civil and structural Engineering” y Q1 “Safety, Risk, Reliability and Quality”).

Índice H: 14

- Serrano-Lanzarote, B., Fenollosa Forner, E. & Arnau-Paltor, F. (2016). Evaluación de daños y actuaciones de rehabilitación en la iglesia de san Nicolás de Eduardo Torroja (Gandía, 1962). *Informes de la Construcción*, 541(68), e130, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.139>.

JCR (2018): 0,306 (Q4, “Construction and building technology”) y (5 años): 0,488

SJR: 0,24 (Q2 “Architecture”, Q3 “Building and Construction”, Q3” Civil and structural Engineering” y Q3 “Environmental Engineering”).

Índice H: 14

Referencias

- ACI Committee 318. (2005). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (318R-14). American Concrete Institute. Michigan.
- Adriaenssens, E., Brown, N., Lowinger, R., & Hernandez, J. (2014). Structural Analysis of Reinforced Concrete Folded Hyperbolic Paraboloid: A Case Study of the Modern Miami Marine Stadium. *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*, 8(4), 498-516. <https://doi.org/10.1080/15583058.2012.694967>.
- AENOR-CEN. (1984). UNE-EN 83302. Ensayos de hormigón. Extracción y conservación de probetas testigo. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- AENOR-CEN. (1984). UNE-EN 83303. Ensayos de hormigón. Refrentado de probetas con mortero de azufre. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- AENOR-CEN. (1984). UNE-EN 83304. Ensayos de hormigón. Rotura por compresión. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- AENOR-CEN. (1985). UNE 83306. Ensayos de hormigón. Rotura por tracción indirecta. (Ensayo brasileño). Asociación Española de Normalización (AENOR).
- AENOR-CEN. (1990). UNE 83309. Ensayos de hormigón. Determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión. Asociación Española de Normalización (AENOR).

- AENOR-CEN. (1994). UNE 112010. Corrosión en armaduras. Determinación de cloruros en hormigones endurecidos y puestos en servicio. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- AENOR-CEN. (1994). UNE 112011. Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- AENOR-CEN. (2002). UNE-EN12004. Adhesivos para baldosas cerámicas. Definiciones y especificaciones. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- Alamán Simón , A. (1999). Nota necrológica. *Materiales de construcción*, 253(49), 45.
- Alonso Dura, A. (2016). Angle. Software de análisis estructural mediante elementos finitos. Departamento de mecánica de los medios continuos y teoría de estructuras . Universitat Politècnica de València.
- Alonso Durá, A., & Llopis Pulido, V. (2019). La rigidez de forma de las ondulaciones. En VV.AA., *Laminoflexia* (págs. 103-121). València: IVE.
- Anaya Díaz, J., Azpilicueta Astarloa, E., & Cassinello Plaza, P. (2006). Historical Patents and the Evolution of Twentieth Century Architectural Construction with Reinforced and Pre-Stressed Concrete. En M. Dunkeld, J. Campbell, H. Louw, M. Titton, B. Addis, & R. Thorne (Edits.), *Proceedings of the Second International congress on construction history* (Vol. 2, págs. 1719-1739). Cambridge: Queens' College, Cambridge University.
- Antuña Bernardo, J. (2002). *Las estructuras de edificación de Eduardo Torroja Miret.*, 215. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- Antuña Bernardo, J. (29th - 2nd de March-April de 2006). The evolution of the work of Eduardo Torroja: Shell roofs with and without reinforcement rings. En M. Dunkeld, J. Campbell, H. Louw, M. Titton , B. Addis, & R. Thorne (Edits.), *Proceedings of the second international congress on Construction History* (Vol. 1, págs. 179-194). Cambridge: Queen's College. Cambridge University.
- Antuña Bernardo, J. (2008). Prestressed Masonry for Rerservoirs: A project of the Engineer Eduardo Torroja. En *Proceedings of the 8th International seminar on Structural Masonry* (págs. 11-16). Istambul.
- Antuña Bernardo, J. (2009). Prestressed Constructions without Steel. A Project of the Spanish Engineer Eduardo Torroja. En *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*. Cottbus: Brandenburg University of Technology .

- Arnau Paltor, F. (2015). Puesta en valor de la arquitectura del s.XX en Gandía: La iglesia de S. Nicolás en el Grau, obra de Eduardo Torroja. En R. Temes Córdovez, & J. J. Tuset Davó (Edits.), *Orilla marítima, territorio litoral*. (págs. 142-144). Valencia: General de ediciones de arquitectura.
- Arnau Paltor, F., Fenollosa Forner, E., & Serrano Lanzarote, B. (2019). Evolution in shell concrete structures in Valencia Region (Spain). En I. Cabrera Fausto (Ed.), *Reactive, proactive architecture* (págs. 190-195). València: UPV.
- Arnau Paltor, F., Serrano Lanzarote, B., & Fenollosa Forner, E. (2020). Shell concrete structures in Valencian Region (Spain) catalogue. En R. 2.-a. congress, I. Lombillo, H. Blanco, & Y. Boffill (Edits.), *VV.AA.* (págs. 222-231). Spain: Círculo Rojo.
- Arnau Paltor, J., & Ros Andreu, J. L. (2011). *Arquitectura para el turismo en la Costa de Azahar, 60's-70's*. Trabajo de investigación. Universitat Politècnica de València, València.
- Arnau-Paltor, F. (2014). *La iglesia de san Nicolás en el Grau de Gandia: estudio histórico y estructural*. Trabajo Final de Máster. Universitat Politècnica de València. València. <http://hdl.handle.net/10251/48915>.
- Arnau-Paltor, F. (Julio de 2018). *LHA_CV: Catálogo de láminas de hormigón armado en la Comunidad Valenciana*. Trabajo Final de Grado. Universitat Jame I. Castelló de la Plana. <http://hdl.handle.net/10234/175992>.
- Arnau-Paltor, F., & Serrano-Lanzarote, B. (2019). Las láminas plegadas de Torroja. *Laminoflexia: Láminas de hormigón armado en la Comunidad Valenciana*, 123-142. València: IVE.
- Arnau-Paltor, F., Serrano-Lanzarote, B., & Fenollosa Forner, E. (2020). The post-tensioned concrete technique in the work of Eduardo Torroja. the case of the church of San Nicolás in Gandía. *structures*, 23, 518-528. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.11.006>.
- Arredondo Verdú, F. (1977). *La obra de Eduardo Torroja*. Madrid: Instituto de España.
- ASTM C642-13 . (2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, www.astm.org.
- ASTM C876. (2009). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. ASTM International, West Conshohocken, www.astm.org.
- Azpiazu Ordóñez, J. R. (1971). Experiencias adquiridas a través del proyecto arquitectónico, dirección de obra y construcción de cubiertas laminares. *Informes de la construcción*, 233(24), 41-50.

- Azpiazu Ordóñez, J. R., Argüelles Álvarez, R., & García Badell, I. (1969). Instituto Sorolla en Valencia. *Hogar y arquitectura: Revista bimestral de la Obra Sindical del Hogar*, 5, 44-55.
- Azpiazu Ordóñez, J. R., Argüelles Álvarez, R., & García Badell, I. (1969). Instituto Sorolla, Valencia (España). *Informes de la construcción*, 211(22), 33-44.
- Balogh, B., & Lógó, J. (2014). Optimal design of curved folded plates. *Periodica Polytechnica.*, 58(4), 423-430. <http://periodicapolytechnica.org/> ci.
- Barredo de Valenzuela, C. (1970). Mejoras introducidas últimamente en los procedimientos Barredo. *Revista de la Asociación Técnica Española del pretensado. Hormigón y Acero*, 94-95, 341-353.
- Barredo de Valenzuela, C. (1981). Refuerzos realizados últimamente y presentación del nuevo sistema de anclaje CGC. *Revista de la Asociación Técnica Española del pretensado. Hormigón y Acero*, 145, 115-124.
- Barredo de Valenzuela, R. (1955). Pretensado Sistema Barredo. *Informes de la Construcción*, 70.
- Barredo de Valenzuela, R. (1958). Tensioning system. US2820606. United States Patent Office.
- Barredo de Valenzuela, R. (1960). Realizaciones en estructuras con armaduras postesas. *Revista de la Asociación Técnica Española del pretensado. Hormigón y Acero*, 54, 591-599.
- Barredo de Valenzuela, R. (1971). System of fixing cables and rods subjected to stress. US3605202. United States Patent Office.
- Barredo de Valenzuela, R. (2008). Entrevista a Rafael Barredo Valenzuela. Ingeniero CCyP. *Revista del Colegio de Ingenieros de CCyP de Galicia*, 6, 23-24.
- Bayarri Piñana, V. J. (2016). *Historia de la Parroquia de San Cristóbal de Castellón*. Trabajo Final de Grado. Universitat Jaume I. Castelló de la Plana.
- Bellot Porta, J. J. (1980). Modulares Espaciales. Valencia-España. *Informes de la Construcción*, 325(32), 23-27.
- Bernard, I. (2010). L'església de Santa Maria de Borriol. *La Botalària, Segona època*, 1, 44-56.
- Borcha Vila, S. (2000). Las estructuras laminares de Eduardo Torroja. En C. Jordá Such (Ed.), *Eduardo Torroja la vigencia de un legado* (págs. 119-150). Valencia: Vicerrectorado Cultura. UPV.
- Borrell Sensat, A. (Enero de 1964). *Proyecto de colegio-internado propiedad de la congregación de las religiosas de Jesús y María, Alicante*. Barcelona.

- Borrell Sensat, A. (1970). Edificio escolar. *Cuadernos de arquitectura*, 78(1), 40. ISSN electrònic: 2385-3263 ISSN paper: 0011-2364.
- Caballero Gento, P. A. (2013). *Cubierta de la nave de Interfruit España S.A. en Oliva*. Proyecto Final de Grado, Universitat Politècnica de València. València.
- Carlos Fernández Casado SL. (2000). *Proyecto*.
- Carlos Fernández Casado, S. L., & Candela Outeriño, F. (2000). Parque Oceanográfico Universal. *Informes de la Construcción*(52), 469-470. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/691ç>.
- Cassinello Pérez, F. (1961). Estructuras plegadas. *Informes de la Construcción*.
- Cassinello Pérez, F. (1970). El hormigón pretensado en la arquitectura española. *Revista de la Asociación Técnica Española del pretensado. Hormigón y Acero*, 96, 81-89.
- Cassinello Pérez, F. (1974). *Construcción. Hormigonería*. Madrid: Rueda.
- Cassinello Plaza, P. (2007). La relevante labor del Instituto de la Construcción y del Cemento en el desarrollo del hormigón pretensado: Material, Técnica y Arquitectura. En F. González Blanco (Ed.), *Miguel Fisac. Huesos varios* (págs. 236-251). Madrid: Fundación COAM.
- Cassinello Plaza, P., Schlaich, M., & Torroja Cavanillas, J. A. (1997). Félix Candela. In memoriam (1910-1997). From thin concrete shells to the 21st. century's lightweight. *Informes de la Construcción*, 519(62), 5-26, <http://dx.doi.org/10.3989/ic.10.040>.
- Chías Navarro, P., & Navarro Balboa, T. (Edits.). (2005). *Eduardo Torroja. Obras y Proyectos*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja.
- Chofre Gil, J. M., Pérez Parra, J. S., Frías Wamba, J. L., & Regalado Tesoro, F. (Diciembre de 1990). *Proyecto de marquesina en el Parque Juan XIII en Sant Vicent del Raspeig (Alicante)*. Alicante.
- Coello de Portugal, F. P. (enero-febrero de 1968). Estructuras laminares en España. *Informes de la Construcción*, 197, 41-51.
- Coello de Portugal, F. P. (2009). Monasterio de Santa Catalina de Siena, MM. Dominicas. Alcobendas, Madrid. *Documentos de arquitectura*, 66, 44-49. ISSN 0214-9249.
- Comisión permanente del hormigón. (2008). *EHE-08: Instrucción de Hormigón Estructural*. España: Ministerio de Fomento.
- Corell Vicent, A. (Enero de 1973). *Proyecto de centro parroquial Nuestra Señora del Carmen (Benidorm)*. València.

- Corres, H., & León, J. (2012). Eminent Structural Engineer: Eduardo Torroja (1899–1961). *Structural Engineering International*, 22(4), 581-584. <http://dx.doi.org/10.2749/101686612X13363929517938>.
- De Haro Piñar, J. (Noviembre de 1960). *Proyecto estación de servicio en Oliva (Valencia)*. Madrid.
- De Haro Piñar, J. (1963). Estación de servicio en Oliva. *Arquitectura*, 51, 29-31.
- De la Hoz Arderius, R., & García de Paredes, J. M. (1953). Viviendas ultrabaratas en Córdoba. *Revista Nacional de Arquitectura*, 135, 14-20.
- De Miguel González, C. (1953). Viviendas de pescadores en el Perellonet (Valencia). *Revista Nacional de Arquitectura*, 135, 21.
- Domingo Cabo, A., & Lázaro Fernández, C. (Julio de 1999). *Proyecto*.
- Domingo Cabo, A., Lázaro Fernández, C., & Serna Ros, P. (1999). Design of a thin shell steel fiber reinforced concrete hypar roof. En R. Astudillo Pastor, & A. J. Madrid Ramos (Edits.), *Shell and Spatial Structures: from recent past to the nexte millenium* (págs. 169-179). CEDEX.
- Domingo Cabo, A., Lázaro Fernández, C., & Serna Ros, P. (2000). Use o steel fiber reinforced concrete in thin shell structures; evaluation of fiber performance through testing of shell specimens. *Congress of Computation of Shell & Spatial Structures IASS-IACM*, (págs. 176-177). Chania-Crete, Greece.
- Domingo Cabo, A., Lázaro Fernández, C., & Serna Ros, P. (2002). The Aesthetic of Visual Structures. *Towards a Better Built Environment Innovation, Sustainability, Information Technology, IABSE Symposium(86)*. Melbourne, Australia.
- Domingo Cabo, A., Lázaro Fernández, C., & Serna Ros, P. (2003). Construcción de la JCHYPAR, una lámina delgada de hormigón reforzado con fibras de acero, en el oceanográfico de Valencia. *Hormigón y Acero*, 228-229, 177-186 ISSN 0439-5689.
- Domingo Cabo, A., Lázaro Fernández, C., & Serna Ros, P. (2004). Construction of JCHYPAR; a steel fiber reinforced concrete thin shell structure., (págs. 1143-1152). Varema.
- Domínguez Arribas, L. E., Serrano Lanzarote, B., & Ruiz Hilario, I. (2015). *Estrategias para la regeneración sostenible de asentamientos turísticos en la costa mediterránea. Resultados del proyecto de investigación ERAM*. València: IVE.
- Draper, P., Garlock, M. E., & Billington, D. P. (2008). Finite-element analysis of Félix Candela's chapel of Lomas de Cuernavaca. *Journal of Architectural Engineering*, 14(2), 47-52. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0431\(2008\)14:2\(47\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0431(2008)14:2(47)).

- Echegaray Comba, G. (Julio de 1958). *Anteproyecto de iglesia parroquial en el Grao de Gandía*. Madrid.
- Echegaray Comba, G. (Noviembre de 1959). *Planos modificados de proyecto de iglesia parroquial y casa abadía en el Grao de Gandía*. Madrid.
- Echegaray Comba, G. (Julio de 1959). *Proyecto de iglesia parroquial y casa abadía en el Grao de Gandía*. Madrid.
- Echegaray Comba, G. (1964). Moderna iglesia: Grao de Gandia, Valencia. *Informes de la Construcción*, 137, 5-17.
- Editorial. (Octubre de 1966). Gonzalo Echegaray. Nuevo director adjunto del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento. *Informes de la Construcción*, 19(184), 1.
- Eurocódigo 2: . (2004). Design fo concrete strucures -Part 1-1 General rules adn rules for buildings.European Committeé for standardization. Brussels.
- Faber, C. (1970). *Las estructuras de Félix Candela*. . Compañía editorial continental México, España, Argentina, Chile.
- Fenollosa Forner, E., & Cabrera Fausto, I. (2019). La versatilidad de las láminas plegadas. En VV.AA., *Laminoflexia* (págs. 57-76). València: IVE.
- Fenollosa Forner, E., Serrano-Lanzarote, B., Alonso Durá , A., & Arnau-Paltor, F. (2018). Two Post-tensioned Thin Folded Paltes Designed by E. Torroja for San Nicolás Church. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(1), 162-172. <https://doi.org/10.3311/PPci.10251>.
- Fernández Alba, A., Freyssinet, E., Guyon, F., & Rui-Wamba, J. (2003). *Eugène Freyssinet. Un ingeniero revolucionario. Un ingénieur révolutionnaire*. Barcelona: Fundación Esteyco.
- Fernández Gómez, J. A. (1999). *Informe sobre el estudio de daños que presenta el edificio de la iglesia parroquial de San Nicolás, sita en el Grao de Gandía. Valencia*. Laboratorios Intemac. Torrejón de Ardoz.
- Fernández Ordóñez, J. A., & Navarro Vera, J. R. (1999). *Eduardo Torroja. Ingeniero*. Madrid: Pronaos.
- Fuzier, J. (2007). Eminent Structural Engineer: Eugène Freyssinet (1879-1962). *Structural Engineering International*, 17(3), 264-265(2). doi:10.2749/101686607781645851
- Gabriel López, A. (Junio de 1987). *Proyecto de la iglesia en C. Legazpi Gandia*. València.

- Gallardo Llopis, J., Borchá Lara, S., & Ferrándiz López, R. (2019). Diseño y fisuración en estructuras en membrana. En VV.AA, *Laminoflexia* (págs. 143-170). València: IVE.
- García García, R. (2007). Láminas plegadas de hormigón armado. Realizaciones en España. En M. Arenillas, C. Segura, F. Bueno, & S. Huerta (Edits.), *Actas del V Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (págs. 367-378). Burgos, España.
- García García, R. (2013). Dos décadas de estructuras plegadas de hormigón. Inicio y ocaso de un movimiento. *Informes de la construcción*, 65(529), 27-39. ISSN: 0020-0883v / eISSN: 1988-3234 / doi: 10.3989/ic.11.083.
- García García, R. (13-17 de Octubre de 2015). Paraboloídes hiperbólicos en España. Las aplicaciones industriales. En S. Huerta, & P. Fuentes (Edits.), *Actas del Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*. (págs. 699-710). Segovia, España.
- Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. (1996). *Mechanic of Materials* (4th revised ed.). Nelson Engineering.
- Goerlich, F. (s.f.). Obtenido de https://www.facebook.com/pg/FundacionGoerlich/photos/?tab=album&album_id=1040594259361351
- González Blanco, F. (Ed.). (2007). *Miguel Fisac. Huesos Varios* (1ª ed.). Madrid: Fundación COAM.
- Grande García, S. (2013). *Análisis geométrico, estructural y constructivo de la estación de servicio "El Rebollet"*. Proyecto Final de Grado. Universitat Politècnica de València. València.
- Hossdorf, H. (Mayo de 1955). Puente pretensado de piedra natural. *Informes de la Construcción*.
- Isler, H. (2003). Eduardo Torroja and IASS. En F. Levi, M. A. Chiorino, & C. Bertolini Cestari (Edits.), *Eduardo Torroja: from the philosophy of structures to the art and science of building* (págs. 48-54). Milán: Franco Angeli.
- Joó, A., & Ádány, S. (2009). FEM-based approach for the stability design of thin-walled members by using cFSM base functions. *Periodica Polytechnica*, 53(2), 61-74, doi: 10.3311/pp.ci.2009-2.02.
- Jordá Such, C. (Ed.). (2002). *Eduardo Torroja la vigencia de un legado*. Valencia: Vicerrectorado de cultura. UPV.
- Jordá Such, C. (2010). Capítulo: Comunidad Valenciana. En *Equipamientos I: Lugares públicos y nuevos programas 1925-1965* (págs. 249-281). Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos. Registro DCOMOMO Ibérico.

- Jordá Such, C. (s.f.). Introducción: Los equipamientos en España. En *Equipamientos I: Lugares públicos y nuevos programas (1925-1965)* (págs. 11-30). Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos. Registro DOCOMOMO Ibérico.
- Kowal, Z., & Szychowski, A. (2014). Experimental determination of critical loads in thin-walled bars with Z-section subjected to warping torsion. *Thin-Walled Structures*, 75, 87–102 . doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2013.10.020>.
- Krivoshapko, S. A., Bock Hyeng, C. A., & Mamieva, I. A. (2014). Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciencies*, 18(2), 95-108.
- Lafuente Niño, I. (2001). *Proyecto Básico y de Edificación: Restauración de estructura y obras de conservación*. Valencia: CTAV 16/11/2011.
- Lafuente Niño, I. (2003). *Proyecto Básico y de Edificación: Restauración de estructura y obras de conservación. Segunda Fase*. Valencia: 23/06/2003.
- Lafuente Niño, I. (2004). *Proyecto Básico y de Edificación: Restauración de estructura y obras de conservación. Tercera Fase*. Valencia: Visado CTAV 12/11/2004.
- Lamela Martínez, A. (Octubre de 1972). *Proyecto de Apartamentos Eurhostal. "Las Fuentes"-Castellón (Manzana-31-IH)*. Madrid.
- Lázaro Fernández, C. (2019). La vigencia de las estructuras laminares. En VV.AA., *Laminoflexia* (págs. 77-102). Valencia: IVE.
- Leyva Huapaya, A. N. (2016). *Puesta en valor patrimonial del Instituto de la Educación Secundaria Sorolla en Valencia*. Trabajo Final de Máster, Universitat Politècnica de València, València.
- LHA-CV. (s.f.). Obtenido de <https://drive.google.com/open?id=14Emy-3UPCAW0H9r4G8QHWCIw865UHIHV&usp=sharing>
- Llorente Zurdo, M. P., Anaya Díaz, J., & de Miguel Sánchez, M. (2013). An approach to patents of prestressed concrete in 20th century's architecture. En *Structures and architecture: Concepts, applications and challenges* (págs. 912-919). London: Taylor and Francis Group, <https://doi.org/10.1201/b15267-128>.
- López González , M. (1954). *Proyecto de demolición del kiosco de la Banda de Música sito en la Explanada de España*. Alicante.
- López González , M. (1954). *Auditorium de la Explanada de España (Proyecto y reparaciones posteriores)*. Alicante.
- López González, M. (1954). *Construcción de un nuevo templete para música en la Explanada de España (contiene proyecto de iluminación del mismo)*. Alicante.
- Lozano Galant, J. A., & Payá Zaforteza, I. (2017). Analysis of Eduardo Torroja's Tempul Aqueduct an important precursor of modern cable-stayed bridges, extradosed

- bridges and prestressed concrete. *Engineering Structures*, 150, 955-968, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.07.057>.
- Lozano-Galant, J. A., & Payá-Zaforteza, I. (2011). Structural analysis of Eduardo Torroja's Fronton de Recoletos' roof. *Engineering Structures*, 33(3), 843-854, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.12.006>.
- Margaix Arnal, A. (2012). Luis M. Feduchi y la aventura laminar en Castellón de la Plana. *Ribalta*, 19, 12 2-12 20.
- Martínez Martín, L. (2011). *Cubierta de acceso al Oceanogràfic*. Trabajo Final de Grado, Universitat Politècnica de València. València.
- Martínez Medina, A. (2002-2003). Formigón diví, llum humana: religiositat i modernitat en les esglésies d'estiueig del sud valencià (1959-1974). *Aguaits: Revista d'investigació i assaig*, 97-128.
- Martínez Medina, A., & Oliva Meyer, J. (1987). *Miguel López González - Treinta años de su arquitectura (1932-1962)*. Valencia: COACV.
- Martínez Soto, M. D. (2002). Paseo de la Explanada. En VV.AA., *Registro de arquitectura del siglo XX en la Comunidad Valenciana* (Vol. 2, pág. 425). Valencia: Colegio oficial de arquitectos. ISBN Tomo1: 84-87233-34-1, ISBN Obra completa: 84-87233-37-6, ISBN CDs: 84-87233-38-4/84-87233-38-4.
- Martínez-Feduchi Ruiz, L. (Julio de 1963). *Proyecto de Escuela de Maestría Industrial (Castellón)*. Madrid.
- Mertins, D. (2014). *Mies*. Phaidon.
- Miguel Sosa, P. (2000). El diseño vivo de las estructuras de Eduardo Torroja. En C. Jordá Such (Ed.), *Eduardo torroja, la vigencia de un legado* (págs. 165-182). Valencia: Vicerrectorado de Cultura UPV.
- Min, C. (2002). Design and ultimate behavior of RC plates and shells: two case studies. *Structural Engineering Mechanics*, 14(2), 171-190. doi:10.12989/sem.2002.14.2.171.
- Miñana Pavía, J. (Ed.). (1962). *El Grao de Gandía y su nueva iglesia de San Nicolás. Memoria histórico-descriptiva*. Valencia: Publicidad Denis.
- Misfut García, C. (2002). Instituto Sorolla. En VV.AA., *Registro de arquitectura del siglo XX en la Comunidad Valenciana* (Vol. 2, pág. 425). Valencia: Colegio Oficial de arquitectos. Tomo2: 84-87233-33-3, ISBN Obra completa: 84-87233-37-6, ISBN CDs: 84-87233-38-4/84-87233-38-4.
- Nadal Aixalá, J. (Septiembre de 1960). *Proyecto de estructura para una iglesia parroquial en Gandía (Valencia)*. Madrid.

- Narayanan, R. S., Wilson, K. R., & Milne, R. W. (Edits.). (2000). Manual for the design of reinforced concrete building structures to EC2. London: The Institution of Structural Engineers.
- Núñez-Collado, G., Garzón-Roca, J., Payá-Zaforteza, I., & Adam Martínez, J. M. (2013). The San Nicolas Church in Gandia (Spain) or how Eduardo Torroja devised a new, innovative and sustainable structural system for long-span roofs. *Engineering Structures*, 56, 1893–1904. doi:10.1016/j.engstruct.2013.08.003.
- Oliva Meyer, J. (2001). El ejercicio de la modernidad en la periferia (Alicante, 1931-1976). *VIA arquitectura*, 9, 132-37.
- Picardo Castellón, J. L., & De Miguel González, C. (1951). Centro Cívico para la Cofradía de Pescadores de Altea-Alicante. *Revista Nacional de Arquitectura*, 115, 36-38.
- Pintado Riba, P., & Faure Rodrigo, I. (1966). Fábrica de zumos en Oliva. *Arquitectura*, 96, 15-17.
- Pintado Riba, P. (Diciembre de 1964). *Proyecto de fábrica en Oliva (Valencia)*.
- Pintado Riba, P. (Mayo de 1965). *Proyecto de Parque deportivo/ Club de Fútbol Gandía / Gandía (Valencia)*. Madrid.
- Rabasco Pozuelo, P. (2011). El sistema Ctesiphonte. Evolución de la estructura catenaria. *Informes de la construcción*, 63(522), 43-52. ISSN: 0020-0883 eISSN: 1988-3234 doi: 10.3989/ic.10.009.
- Ramakrishna, A., Raghavan, N., & Desai, J. C. (1997). Folded-Plate Hangar Roof Extension, India. *Structural Engineering International*, 7(3), 173-174, <https://doi.org/10.2749/101686697780494879>.
- Regalado Tesoro, F. (12 de abril de 1992). La humildad de la Ingeniería pura. *Información*, pág. 16.
- Regalado Tesoro, F. (2019). Un hiperboloide para Félix Candela. En VV.AA., *Laminoflexia* (págs. 171-182). València: IVE.
- Rincón de la Vega, D., & Tejedor Fernández, L. (2014). Intimidad y vanguardia. La obra de Juan de Haro. En T. Couceiro Núñez (Ed.), *I Congreso Pioneros de la Arquitectura Moderna Española. Vigencia de su pensamiento y obra*. (págs. 764-774). Madrid, España. ISBN 978-84-697-0296-3.
- Rispa Márquez, R. F., & Lamela de Vargas, C. (2005). *Lamela 1954-2005*. Sevilla: Tanais.
- Sala González, R. (Ed.). (2012). *50 Aniversario. Iglesia de San Nicolás. Grau de Gandia*. Grau de Gandia: Parroquia de San Nicolás de Bari.

- Sala González, R. (Ed.). (2012). *Sant Nicolau del Grao de Gandía. 50 Aniversari. Grao de Gandía: Parroquia de Sant Nicolau*. Instituto Eduardo Torroja, CSIC.
- Sanabra, M., & Capellà, J. (2014). The four ages of early prestressed concrete structures. *PCI Journal*, 59(4), 93-121. Obtenido de http://www.pci.org/uploadedFiles/Siteroot/Publications/PCI_Journal/2014/DOI_Articles/JL_Fall_2014-13.pdf
- Sanchis Sampedro, F. J. (2011). *Las formas del hormigón: Catálogo práctico de diseño*. Trabajo Final de Máster, Universitat Politècnica de València. València. <http://hdl.handle.net/10251/14740>.
- Sanchis Sampedro, F. J. (2011). Metodología de análisis de la geometría métrica espacial: Estudio de las superficies arquitectónicas singulares. *Arché*(6), 433-438.
- Sanchis Sampedro, F. J. (2013). *La geometría de las superficies arquitectónicas: Análisis formal geométrico de la Ciutat de les Arts i les Ciències de València*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València. València.
- Segarra Bel, F. (Mayo de 1981). *Proyecto de iglesia en Borriol*. Castellón.
- Serrano-Lanzarote, B., Fenollosa Forner, E., & Arnau-Paltor, F. (enero-marzo de 2016). Evaluación de daños y actuaciones de rehabilitación en la iglesia de san Nicolás de Eduardo Torroja (Gandía, 1962). *Informes de la Construcción*, 541(68), 541, e130, ISSN-L: 0020-0883 doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.139>.
- Sondeos Inyecciones y Pilotes S.A. (1960). *Informe de cimentación con pilotes de hormigón armado "in situ" del Centro Parroquial del Grao de Gandía*. Madrid.
- Sosa, P. M. (2000). El diseño vivo de las estructuras de Eduardo Torroja. En C. Jordá Such (Ed.), *Eduardo torroja, la vigencia de un legado* (págs. 165-182). Valencia: Vicerrectorado de Cultura UPV.
- Szychowski, A. (2014). A theoretical analysis of the local buckling in thin-walled bars with open cross-section subjected to warping torsion." *Thin-Walled Structures*(76), 42–55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2013.11.002>.
- Torroja Cavanillas, J. A. (1966). Dispositivos y sistemas de pretensado. *Revista de la Asociación Técnica Española del pretensado. Hormigón y Acero*, 80-81, 15-20.
- Torroja Cavanillas, J. A. (2000). El genio y el ingenio en la obra de Eduardo Torroja. En C. Jordá Such (Ed.), *Eduardo Torroja. La vigencia de un legado* (págs. 77-94). Valencia: Vicerrectorado de Cultura UPV.
- Torroja Cavanillas, J. A. (2005). Eduardo Torroja. Una visión personal. En P. Chías Navarro, & T. Navarro Balboa (Edits.), *Eduardo Torroja. Obras y proyectos* (págs. 11-35). Madrid: Instituto Eduardo Torroja.

- Torroja Cavanilles, J. A. (2007). Eduardo Torroja. *Ingeniería y Territorio*, 79, 98-103.
- Torroja Miret, E. (Mayo de 1955). Puente pretensado de piedra natural. *Informes de la Construcción*.
- Torroja Miret, E. (1957). Las formas laminares. En Colegio de Ingenieros de CCyP (Ed.), *La modernidad en la obra de Eduardo Torroja* (págs. 69-106). Madrid: Ediciones Turner.
- Torroja Miret, E. (1957). *Razón y ser de los tipos estructurales* (1ª ed.). Madrid: Colegio de Ingenieros de CCyP.
- Torroja Miret, E. (Enero-Febrero de 1962). Iglesia en Gandía. *Informes de la Construcción*, 137, 148-176.
- Torroja Miret, E. (1999). *Las estructuras de Eduardo Torroja*. Madrid: Ministerio de Fomento, Centro de publicaciones.
- Torroja Miret, E., & Al. (1961). Instrucción especial para estructuras de hormigón armado H.A. 61. Madrid: Instituto Eduardo Torroja.
- Uriós Mondéjar, D. (2002). Estación de Servicio el Rebollar. En VV.AA., *Registro de arquitectura del siglo XX en la Comunidad Valenciana* (Vol. 2, pág. 428). València: Colegio Oficial de arquitectos, ISBN Tomo2: 84-87233-33-3, ISBN Obra completa: 84-87233-37-6, ISBN CDs: 84-87233-38-4/84-87233-38-4.
- Uriós Mondéjar, D. (2002). Fábrica Interfruit en España. En VV.AA., *Registro de arquitectura del siglo XX en la Comunidad Valenciana* (Vol. 2, pág. 425). Colegio Oficial de arquitectos. Tomo2: 84-87233-33-3, ISBN Obra completa: 84-87233-37-6, ISBN CDs: 84-87233-38-4/84-87233-38-4.
- VV.AA. (1962). Monografía sobre la obra de Eduardo Torroja. *Informes de la Construcción*, 137(14), <https://doi.org/10.3989/ic.1962.v14.i137>.
- VV.AA. (1979). *La modernidad en la obra de Eduardo Torroja*. Madrid: Turner.
- VV.AA. (2016). VLC_GV: Historias vividas. Grupo de viviendas en Valencia 1900-1980. València: IVE.
- VV.AA. (2019). *Laminoflexia: Láminas de hormigón armado en la Comunitat Valenciana*. València: IVE.
- www.alicante.es. (s.f.). Obtenido de Ayuntamiento de alicante: <http://www.alicante.es/es/contenidos/banda-sinfonica-municipal>
- www.arkikultura.com. (s.f.). Obtenido de <http://arkikultura.com/el-palacio-del-centenario/>
- www.arquitectosdevalencia.es. (s.f.). Obtenido de Colegio Territorial de arquitectos de Valencia. Guía de arquitectura:

<http://www.arquitectosdevalencia.es/arquitectura-de-valencia/1936-1974/instituto-sorolla>

www.arquitectosdevalencia.es 2. (s.f.). Obtenido de Colegio Territorial de arquitectos de Valencia. Guía de arquitectura: <http://www.arquitectosdevalencia.es/arquitectura-de-valencia/1936-1974/grupo-residencial-marques-de-valterra>

www.borrell-jover.com. (s.f.). Obtenido de Borrell Jover Oficina de Arquitectura. Historia.: <http://borrell-jover.com/proyectos-arquitectura-historico/>

www.coacv.org. (s.f.). Obtenido de Colegio oficial de arquitectos de la Comunidad Valenciana. Arquitectura moderna y contemporánea de la Comunidad Valenciana.: <http://www.coacv.org/docs/amccv/amccv/ficha052.htm>

www.coacv.org 2. (s.f.). Obtenido de Colegio oficial de arquitectos de la Comunidad Valenciana. Arquitectura moderna y contemporánea de la Comunidad Valenciana: <http://www.coacv.org/docs/amccv/amccv/ficha042.htm>

www.coacv.org 3. (s.f.). Obtenido de Colegio oficial de arquitectos de la Comunidad Valenciana. Arquitectura moderna y contemporánea de la Comunidad Valenciana: <http://www.coacv.org/docs/amccv/amccv/ficha023.htm>

www.cype.es. (s.f.). Obtenido de CYPE INGENIEROS: <http://www.cype.es/estudiosproyectos/ampliadas/concha.htm>

www.docmomoitalia.it. (s.f.).

www.docomomoiberico.com. (s.f.). Obtenido de Fundación Docomomoibérico. "Documentación y conservación de arquitectura moderna y urbanismo del movimiento moderno". 1925-1965: http://www.docomomoiberico.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=805:instituto-pintor-sorolla&lang=es

www.docomomoiberico.com 2. (s.f.). Obtenido de Fundación Docomomoibérico. "Documentación y conservación de arquitectura moderna y urbanismo del movimiento moderno". 1925-1965: http://www.docomomoiberico.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=662:barrio-de-pescadores-en-el-perellonet&lang=es

www.docomomoiberico.com 3. (s.f.). Obtenido de Fundación Docomomoibérico. "Documentación y conservación de arquitectura moderna y urbanismo del movimiento moderno". 1925-1965: http://www.docomomoiberico.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=1523:estaci%C3%B3n-de-servicio-el-rebollet&lang=es

www.docomomoiberico.com 4. (s.f.). Obtenido de Fundación Docomomoibérico. "Documentación y conservación de arquitectura moderna y urbanismo del

- movimiento moderno". 1925-1965:
http://www.docomomoiberico.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=794:parroquia-de-san-nicolas&lang=en
- www.espanaescultura.* (s.f.). Obtenido de España es cultura: http://www.xn--espaesultura-tnb.es/es/artistas_creadores/pablo_pintado_y_riba.html
- www.facebook.com/oliva.historia.fotografica/.* (s.f.). Obtenido de Oliva història fotogràfica: <https://www.facebook.com/oliva.historia.fotografica/>
- www.facebook.com/Oliva-i-Part-de-la-Seua-Hist.* (s.f.). Obtenido de Oliva i part de la seua història: https://www.facebook.com/Oliva-i-Part-de-la-Seua-Hist%C3%B2ria-272451089459027/?hc_ref=ARQq8z1hq_e03CKEok0fyahhySjOD3Zfn0STw7V28GtSPp25X1M4rLqTE1AE-cQypVI&fref=nf
- www.huellasdearquitectura.wordpress.com.* (s.f.). Obtenido de Huellas de arquitectura: <https://huellasdearquitectura.wordpress.com/2017/07/17/1962-%C2%B7-la-estacion-de-servicio-el-rebollet/>
- www.merxenavarro.com.* (s.f.). Obtenido de Brutalment valencià: <https://merxenavarro.com/viviendas-pescadores-perellonet/>
- www.merxenavarro.com* 2. (s.f.). Obtenido de Brutalment valencià: <https://merxenavarro.com/estacion-de-servicio-el-rebollet-oliva-1962-juan-de-haro-pinar/>
- www.urbipedia.org.* (s.f.). Obtenido de https://www.urbipedia.org/hoja/Pabell%C3%B3n_de_los_Rayos_C%C3%B3smicos
- www.urbipedia.org* 2. (s.f.). Obtenido de https://www.urbipedia.org/hoja/Hangares_para_dirigibles_en_Orly
- www.urbipedia.org* 3. (s.f.). Obtenido de <https://www.urbipedia.org/hoja/Planetario>
- www.urbipedia.org* 4. (s.f.). Obtenido de https://www.urbipedia.org/hoja/Mercado_de_Abastos_de_Algeciras
- www.valenciabonita.es.* (s.f.). Obtenido de <http://valenciabonita.es/2018/01/31/las-curiosas-casitas-del-grupo-residencial-marques-de-valterra-de-el-perellonet/>
- www.xavierpastor.com.* (s.f.). Obtenido de Xavier pastor: <http://www.xavierpastor.com/arquitectura-moderna-gasolinera-el-rebollet-oliva/>