

MASTER

Arquitectura avanzada

Paisaje

Urbanismo

Diseño



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

PUESTA EN VALOR PATRIMONIAL DEL INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SOROLLA EN VALENCIA

AUTORA

Andrea Natalie Leyva Huapaya

TUTORES

Begoña Serrano Lanzarote

Ernesto Fenollosa Forner

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA (ETSA)

**MASTER UNIVERSITARIO EN ARQUITECTURA AVANZADA, PAISAJE, URBANISMO Y
DISEÑO (MAAPUD)
Curso Académico 2015-2016**

AGRADECIMIENTOS

Pese a no contar con ningún apoyo por parte de la directiva de la Institución de educación superior Sorolla (IES), brindo todo agradecimiento al apoyo de mis tutores Ernesto Fenolosa y Begoña Serrano, por ayudarme a perseverar en mi búsqueda durante la etapa de recopilación información, así como el entusiasmo y colaboración durante la ejecución de mi trabajo.

Y en a mi familia por la confianza ofrecida en todo momento.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE

0.- PRESENTACION

0.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

0.2 OBJETIVOS

0.3 METODOLOGÍA

1.- INTRODUCCIÓN

1.1 SEMBLANZA DEL AUTOR DEL PROYECTO

1.2 CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA DE LA ARQUITECTURA DOCENTE VALENCIANA

1.2.1 Antecedentes

2.- INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SOROLLA – ESTUDIO ARQUITECTÓNICO

2.1 DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA DEL EDIFICIO

2.2 LÁMINAS DE HORMIGÓN ARMADO

2.2.1 Contexto histórico de las láminas de hormigón armado

2.2.1.1 Antecedentes e inicio de la aventura laminar (1908-1922)

2.2.1.2 La modernidad en la aventura laminar

2.2.2 Usos de las láminas plegadas en la edificación

3.- ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL EDIFICIO

3.1 ESTADO DE CONSERVACIÓN ACTUAL DEL EDIFICIO

3.1.1 Fichas de lesiones

3.1.2 Resultados

3.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

3.2.1 Geometría de las láminas plegadas

3.2.2 Tipos de láminas plegadas

3.2.2.1 Láminas plegadas Tipo A

3.2.2.2 Láminas plegadas Tipo B

3.2.2.2 Láminas plegadas Tipo C

3.2.3 Evaluación y asignación de cargas

3.2.4 Resumen de cargas

3.3. COMPORTAMIENTO GLOBAL DE LA ESTRUCTURA

3.3.1 Combinación e hipótesis de cargas: Tipo C

4.- CONCLUSIONES

5.- BIBLIOGRAFÍA

6.- ANEXOS

6.1 Anexo planos originales

6.2 Anexo Documentación

0.- PRESENTACION

0.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:

El presente trabajo pretende poner en valor un interesante edificio de la arquitectura contemporánea en Valencia, el Instituto Sorolla. Se trata de una obra del arquitecto José Ramón Azpiazu Ordoñez con la colaboración de los ingenieros Ramón Arguelles e Ignacio García Badell realizado entre 1962-64. Realizado en hormigón armado visto, destacando las láminas plegadas utilizadas en varias partes del complejo.

0.2 OBJETIVOS:

- Generar información histórica y técnica referente al edificio y estructura.
- Proporcionar la información complementaria necesaria que permita definir la intervención necesaria y que en un futuro sirva como base para intervenir.
- Estudiar el referente histórico de las láminas plegadas a fin de entender su aplicación dentro del proyecto en base al contexto cronológico.
- Estudiar el comportamiento estructural de las láminas plegadas, elementos estructurales que caracterizan formalmente al instituto Sorolla a fin de abrir paso a una posible rehabilitación de las mismas.
- Poner en valor el edificio como hito arquitectónico de la arquitectura contemporánea de los 60's, dentro de la comunidad valenciana.
- Lograr que este estudio sirva como recopilación y publicación de información de edificios singulares dentro de la comunidad Valenciana.

0.3 METODOLOGÍA:

- Recopilación de información en relación a la temática del trabajo, a través de bibliografía y normativa específica, a fin de comprobar el cumplimiento de la misma.
- Trabajo de campo, para obtención de datos y fotografías.
- Elaboración y generación de documentación, planos arquitectónicos y estructurales del edificio.
- Investigación sobre el estado del edificio a nivel constructivo y estructural, mediante un análisis de sus patologías.
- Análisis de los resultados y elaboración de conclusiones.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1 SEMBLANZA DEL AUTOR DEL PROYECTO:



José Ramón Azpiazu Ordóñez (1927-2009),

fue arquitecto de la escuela de Madrid en 1954, y se doctoró en 1965.

Trabajó principalmente en Madrid, en el que fue ejecutando obras a fin de abastecer la necesidad de viviendas que tenían en ese momento en la capital, ejecutando así varios bloques residenciales: en Valdevivar, Canillas, Ciudad Parque en Aluche, Carabanchel Bajo, Alcobendas, Legnés, La Carcavilla en Móstoles, Alcorcón, Manoteras, Jérez de la Frontera-Cádiz (ver figura 1.2 y 1.3)¹,

Huerta de San Benito-Sevilla (ver figura 1.4 y 1.5), o el conjunto habitacional denominado “Los miradores” en Pozuelos de Alarcón – Madrid por los años 70 (ver figura 1.6), etc. También ejecutó múltiples proyectos de urbanización y parcelación, también aislados proyectos de vivienda unifamiliar como el único caso que tenemos registrado de la vivienda unifamiliar en el pueblo Nuevo de Guadriario, San Roque en Cádiz por los años 70, además de proyectos de rehabilitación estructural como el edificio de oficinas en Santander, Cantabria (ver figura 1.9); también cabe mencionar su proyecto en la Sucursal de Banco en Orihuela en la Comunidad Valenciana (ver figura 1.10), proyecto en el cual se percibe un marcado estilo escultórico, quedando demostrado en el elemento más representativo del proyecto: la escalera principal, que no sólo cumplía con funciones estéticas, sino que a su vez resolvía retos estructurales. Estos pequeños detalles proyectuales nos hace percibir que estamos tratando de un Arquitecto que se preocupaba por un sentido estético y que manejaba con destreza la proyección estructural dentro de sus proyectos.

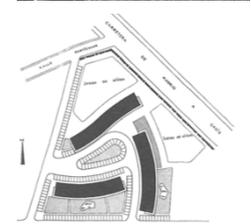
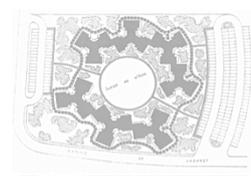


Fig.1.1 J. Ramón Azpiazu. Recuperado de: <http://www.urbipedia.org/>

Fig.1.2 y Fig. 1.3 Núcleos residenciales en La Huerta de San Benito (Cádiz) / Planta general del núcleo residencial de Jérez. Recuperado de: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

Fig.1.4 y Fig. 1.5 Núcleos residenciales en Jérez (Sevilla) / Planta general del núcleo residencial de la Huerta de San Benito. Recuperado de: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

Fig.1.6 Fotografía exterior del conjunto habitacional “Los miradores” (Madrid) Recuperado de: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

¹ Sobre esta edificación la revista informes de la construcción menciona: “En terrenos próximos al Club Deportivo «Nazaret» se ha construido un núcleo Residencial, compuesto por 200 viviendas y locales comerciales. El conjunto consta de siete bloques en estrella, yuxtapuestos en forma de círculo abierto al sureste y al noroeste”. Lo que resulta interesante dentro de este proyecto es sin duda el trabajo urbano, y su gran relevancia dentro del ordenamiento de bloques, ya que Azpiazu muestra especial interés en la diferenciación del área peatonal de la circulación vehicular, propuesta que veremos comúnmente dentro de muchos de sus proyectos.



Entre sus obras más importantes se destacó la utilización del hormigón armado, como en la iglesia de Nuestra señora de Guadalupe (ver figura 1.7), ejecutada con Félix Candela y Enrique de la Mora, obra de la cual hablaremos más a detalle en los siguientes capítulos, marcando así un hito en la arquitectura española por sus cubiertas laminares; de la misma manera y en colaboración con Pedro Pinto como arquitectos, el Canódromo de Carabanchel (ver figura 1.8), otra colaboración importante fue con el Arq. Miguel Fisac quien era uno de los arquitectos mas prolíficos en el campo de la arquitectura religiosa y que sin duda ejerció mucha influencia sobre Azpiazu.²

Aparte de dedicar su vida a la arquitectura, también dedicó su pasión al arte en la escultura y la pintura, fue pionero en la utilización de obras escultóricas en el diseño urbano. Pero sin duda lo más llamativo de la carrera de Azpiazu, es la versatilidad ya que ejecutó obras de todo tipo, y dentro de todas ellas se rescata la pasión por el hormigón, al que moldeaba de igual manera de sus esculturas, y como bien menciona un periódico de la época respecto al núcleo residencial de cuarenta viviendas unifamiliares en Madrid, dice: *"Azpiazu es arquitecto muy interesado en cuestiones artísticas, en especial escultura y pintura, materias cuyo estudio simultáneo con la arquitectura. Y este interés queda patente en este conjunto de Pozuelo, con detalles que demuestran su voluntad de conseguir matices estéticos, como el acusado juego de volúmenes en fachadas, con entrantes y salientes que evitan monotonía y logran efectos de luz y sombra dinámicos; también la alternancia de dos calidades colorísticas del ladrillo en fachada, la presencia de la madera de pino en barandillas y carpinterías, la teja vieja en cubiertas y, sobre todo, la incorporación de vegetación en cada hueco, rincón, jardinera, ventana, terraza, disponible."*

Fig.1.7 Iglesia de Nuestra señora de Guadalupe. Recuperado de: <http://hanskabsch.blogspot.com.es/>

Fig.1.8 Canódromo de Madrid. Recuperado de: Informes de la Construcción Vol. 14, no 138 Marzo de 1962.

Fig.1.9 y Fig. 1.10 Edificio de oficinas en Santander / Sucursal de Banco en Orihuela. Recuperado de: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

² José Ramón Azpiazu.(2016). <http://www.urbipedia.org>

1.2 CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA DE LA ARQUITECTURA DOCENTE VALENCIANA

1.2.1 ANTECEDENTES

Sin duda existe una clara diferencia entre lo que se proyectaba como arquitectura educacional en España del resto de Europa y Estados Unidos, siendo la Comunidad Valenciana la que recibe con retraso respecto a Madrid y Barcelona, el impulso hacia la nueva modernidad arquitectónica y urbanística con el inicio de la II República (1931). Como una de las principales intenciones republicanas era que “el nivel de formación de un pueblo era un bien que garantizaba el progreso”³, si bien se conoce la necesidad en esta época, ocurren en el camino una serie de factores que propicia masivamente la construcción de dicha arquitectura educativa, entre ellos podemos mencionar:

1. La victoria tras las guerra civil de las tropas franquistas, produce en la arquitectura un retorno hacia el monumentalismo cargado de simbolismos históricos e ideologías tradicionales. Generando que muchos arquitectos emigren y los que se quedaban debían asumir las expresiones arquitectónicas impuestas por el régimen franquista, dando como resultado edificios escolares cuya forma nos remite a una arquitectura casticista de matices clásicos, cuya máxima expresión fueron proyectos como el Colegio del Loreto (1940) de L. Albert Ballesteros (figura 1.2) y el colegio Jesús y María (1952) de A. Borrel Sensat (figura 1.3).⁴ Es por ello que se lleva a cabo la V Asamblea Nacional de Arquitectos en el año 1949 con tres sedes (Barcelona, Palma de Mallorca y Valencia), en la que se destaca la necesidad la necesidad de una segunda modernidad en la arquitectura española, la cual tendrá lugar recién a partir de la segunda década de los cincuenta, pero lo contamos como una iniciativa potente por parte del gremio de Arquitectos.
2. Surgen reacciones frente al estancamiento cultural propiciado por el régimen franquista, como por ejemplo: el Grupo Z (1947)⁵, el Grupo Los Siete (1949) y la primera muestra de Eusebio Sempere (1949).
3. Lo que provoca el cambio decisivo entre los arquitectos de época es el ingreso de la Unesco en 1952 y la ONU en



Fig.1.11 Colegio del Loreto, Valencia, 1940.
L. Albert Ballesteros.

Fig.1.12 Colegio Jesús y María, Valencia, 1952.
A. Borrel Sensat.

Martínez Marcos, Amaya (2016)

³ Martínez Medina, A (2007). Registro de Arquitectura del S.XX. Artículo: “Aquella década revolucionaria: las ciudades valencianas durante la II República (1930-39)”

⁴ Valores Modernos en la arquitectura docente Valencia, tres Colegios: Guadalaviar, Alemán y Pureza, Martínez Marcos, Amaya | Tesina Final de Máster Curso 2006-2007

⁵ Como el propio Grupo Z manifestaba, eran un grupo que luchaba para poder lograr una auténtica valoración del arte, sin embargo no pudieron llegar más lejos, por distintos motivos, más que fomentar una reacción contra la pintura academicista, logrando ello trabajando con ahínco para conseguir resultados plásticos, con lo cual se convirtieron en protagonistas de las nuevas generaciones durante e segundo lustro de la posguerra.

1955, con lo cual se propicia una reapertura económica, con lo cual permite a los arquitectos poder conciliar la técnica y la arquitectura moderna, por la llegada de nuevos materiales además de las mejoras en la producción industrial. Poco a poco va incorporándose a España los referentes internacionales como le Corbusier, Richard Neutra y Mies Van der Rohe, dando como consecuencia un reencuentro con los principios modernos ya que empezaron a tomar como referentes, dentro de sus proyectos, a los arquitectos ya mencionados.

4. Otra razón que da paso al cambio, se da en el año 1956, con el movimiento artístico del Mediterráneo y el grupo Parpalló, el cual consistía en una cooperación interdisciplinar entre arquitectos de la época y de artistas la cual se transmitía a través de una revista, Arte vivo.
5. Se proyecta un ambicioso plan decretado por la ley promulgada en 1956, “ I Plan de Construcciones Escolares” del Ministerio de Educación Nacional, llevándose a cabo en todos los municipios valencianos y en las barriadas de las capitales, para lo cual se destinó 2.500 millones de pesetas, a fin de construir 25.000 escuelas en un transcurso de cinco años a nivel nacional en base a una modernización del espacio escolar, esta inversión era concedida a los ayuntamientos cuando eran ellos los que promovían la construcción⁶.
6. Sin embargo muy particularmente en el área metropolitana de Valencia se da un acontecimiento que acelerará los cambios en la ordenación territorial, que fue la riada del río Turia en el año 1957, El Plan Riada 1957, con lo que se convoca al proyecto más ambicioso del siglo, por esa época, que llega a ser el Plan Sur de 1966, el cual proponía la creación de cinco polígonos urbanos (Monteolivete, Campanar, Avda. Valencia al Mar, Avda. Burjassot/carretera de Barcelona y Tres cruces), además de la expansión de la ciudad Universitaria: Facultad de Derecho en 1959 y la escuela de ingenieros agrónomos en 1958-1967, ambas de F. Moreno Barberá⁷, además de la construcción de otras instituciones públicas y escolares.
7. Siguiendo con el Plan Riada del 57, se da la aparición de una doble vertiente, por un lado tenemos:

⁶ Modernidad y vigencia en la arquitectura escolar de Barcelona y Valencia (1956-1968)

Martínez Marcos, Amaya | Solaguren - Beascoa De Corral, Félix ; Rovira, Teresa (Rovira Llobera) ; Universitat Politècnica De Catalunya. Departament De Projectes Arquitectònics | 2016

⁷ Arquitecto partidario del movimiento moderno en España, creando relación entre la técnica, el oficio y la clara vinculación moderna de sus planteamientos arquitectónicos, los cuales plasmó en su mayoría en arquitectura docente, siendo el autor de proyectos de importante envergadura dentro de la comunidad Valenciana y algunas otras provincias de España, sin duda resulta incuestionable su gran aportación al avance de la arquitectura española.



- Los grupos escolares del Plan Riada (1957-1960), la cual se dio mediante un concurso entre el Ministerio de Educación Nacional y el Ayuntamiento de Valencia, concurso que intentaba dar una solución practica a fin de ayudar a aquellos 12.000 niños sin escuelas, lo cual se basaba en tipologías hechas en base a la economía y a la higiene, con lo cual resultaron ser edificios de lenguaje muy sencillos, de predominante funcionalidad y modernos capaces de resolver aspectos como una adecuada disposición general y distribución, con adaptación al clima y sobre todo basados en aspectos económicos. Como ejemplos podemos mencionar el Colegio Primer Marqués del Turia (1958) realizados por J.J. Estellés, José Pedrós y J. García Matarredona o el Colegio Ausias March (1958) desarrollado por los arquitectos R. Fernández Huidoloro y P. Pintado Riba.
- Por otro lado, hubieron otro grupo de colegios que se acogieron a proyectos con ayudas especiales por inversión privada, estos proyectos estuvieron vinculados a la estructura de ordenación en ciertas áreas de la ciudad a través de grandes manzanas caracterizados por ser grandes áreas , amplios --y--- espacios libres y ajardinados; las características que tenían estos proyectos estaban claramente diferenciados formalmente del grupo anterior, por presentar una gran calidad arquitectónica, vinculadas con las realizaciones europeas del momento, estos proyectos se construyeron basándose en la utilización de nuevos materiales, en la industrialización y la prefabricación, en la honestidad constructiva y técnica, en la expresividad de las protecciones solares o en el tratamiento del hormigón armado visto y su texturación. Como ejemplos de esta tendencia podemos mencionar al Colegio Guadalaviar (1958) de F. Martínez García-

Fig.1.13 Colegio Guadalaviar, 1957-58. F.M. García-Ordoñez. Imagen actual desde la Av. Blasco Ibañez

Fig.1.14 Colegio alemán, 1959 P. Navarro Alvargonzález y J. Trulleque Sanjuán, E. Becker y D. Weise,

Fig.1.15 Colegio La Pureza, 1962 M. Lleó Serret

Martínez Marcos, Amaya (2016)

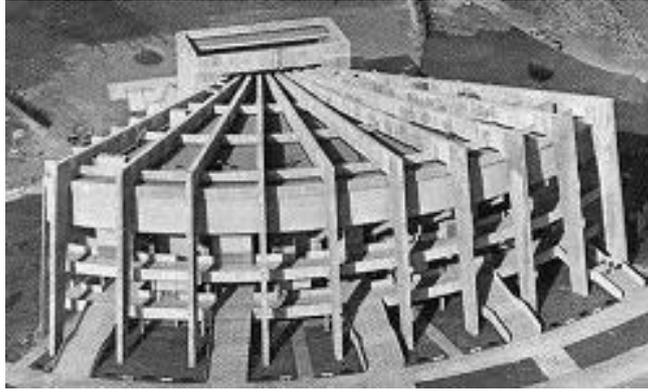


Fig.1.16
Universidad laboral
de Cheste 1965-69.
F. Moreno Barberá.
Recuperado de:
<http://cultura.arq.upv.es/cultura/>

Ordoñez⁸, el Colegio Alemán (1959) de P. Navarro Alvargonzález y J. Trulleque Sanjuán⁹, E. Becker y D. Weise, el Colegio La Pureza (1962)¹⁰ y el Colegio Javerianas (1967) ambos de M. Lleó Serret, las escuelas Profesionales San José (1962) de C. Borso di Caminati González y R.Contel Comenge y finalmente el edificio que es objeto del presente estudio , el instituto de educación superior Sorolla a cargo de J.R. Azpiazu Ordóñez (1964).

- Como parte de este contexto mencionamos el ambicioso proyecto de la Universidad Laboral de Cheste (1969) a cargo del arquitecto Fernando Moreno Barberá, proyecto que tuvo el reto de adaptarse a un territorio suavemente accidentado a 22 km de Valencia. Así, un paraje rural se transformó en una pequeña ciudad con jardines, para más de 5.000 habitantes y destinada a la formación de jóvenes, dentro del “Plan de las Mutualidades Laborales del franquismo”, bajo una clara expresividad brutalista propia de la época y siguiendo el legado que encontramos claramente en obras como el instituto Sorolla.

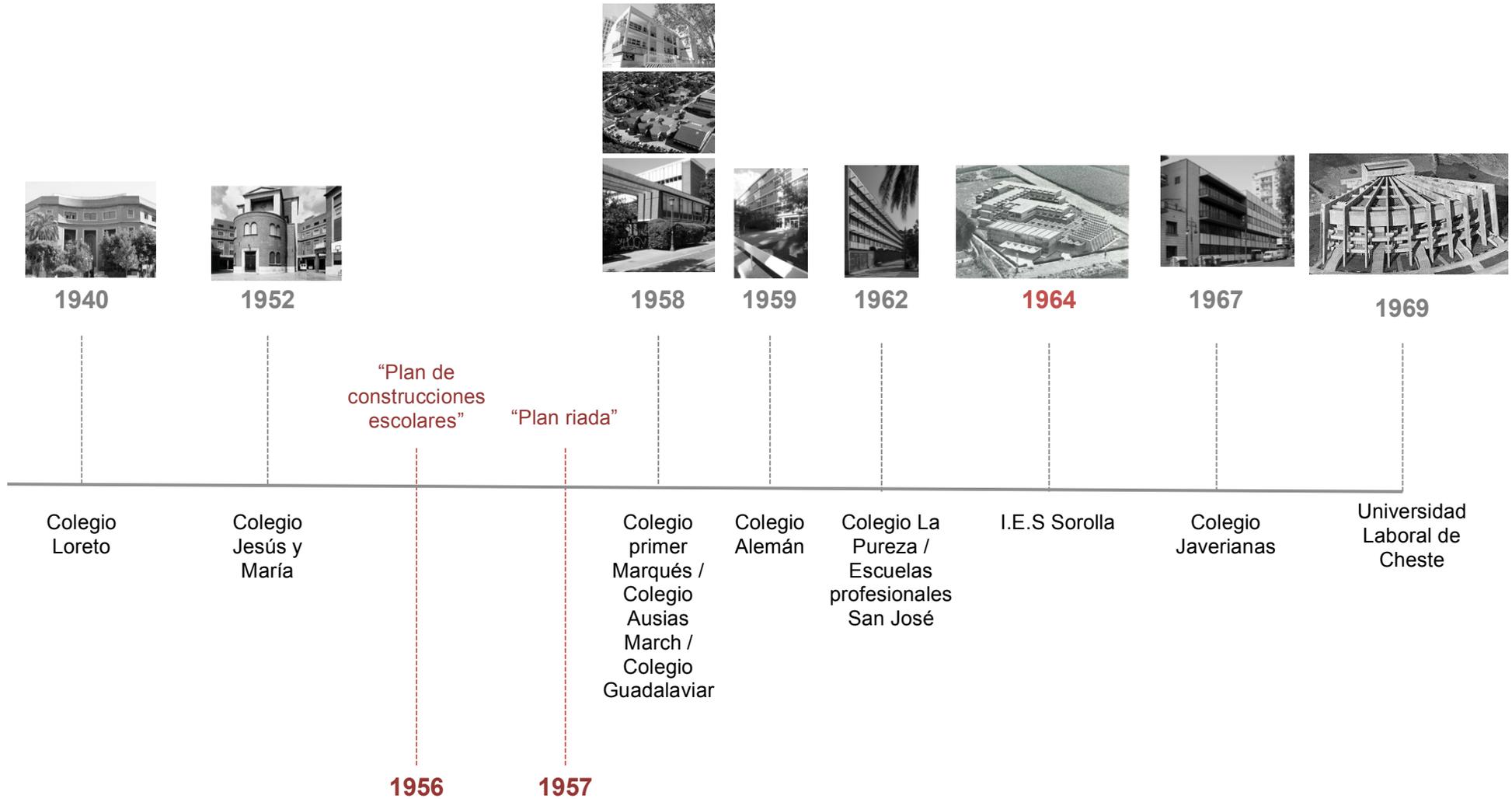
⁸ Como punto interesante rescatamos que fue la primera escuela con estructura metálica en Valencia, considerando que fue un inicio algo tardío como parte del avance tecnológico en las construcciones de la época.

Entre otras consideraciones formales añadimos que la edificación luce con ladrillo visto con junta horizontal, contrastándose con paños pintados de blanco y con grandes superficies acristaladas.

⁹ Este colegio es mixto y privados, de docencia y dirección alemana, lo cual le brindó ciertas particularidades y requerimientos en el momento de la construcción y proyección del mismo ya que debían ser “construcciones aisladas sin medianeras, donde el jardín o zona verde deberá ocupar gran parte de la superficie”.

¹⁰ Fue concebido como un colegio femenino, con un programa docente religioso, lo interesante del proyecto es su expresión formal que recibe la iglesia-salón de actos, un volumen de perímetro accidentado en forma de abanico, que contrasta con la planeidad del resto del edificio, resuelto también mediante estructura metálica y con ladrillos caravista los cuales van siendo interrumpidos con brise-soleils metálicos dispuestos perpendicularmente.

> Resumen cronológico de la contextualización histórica de la arquitectura docente valenciana



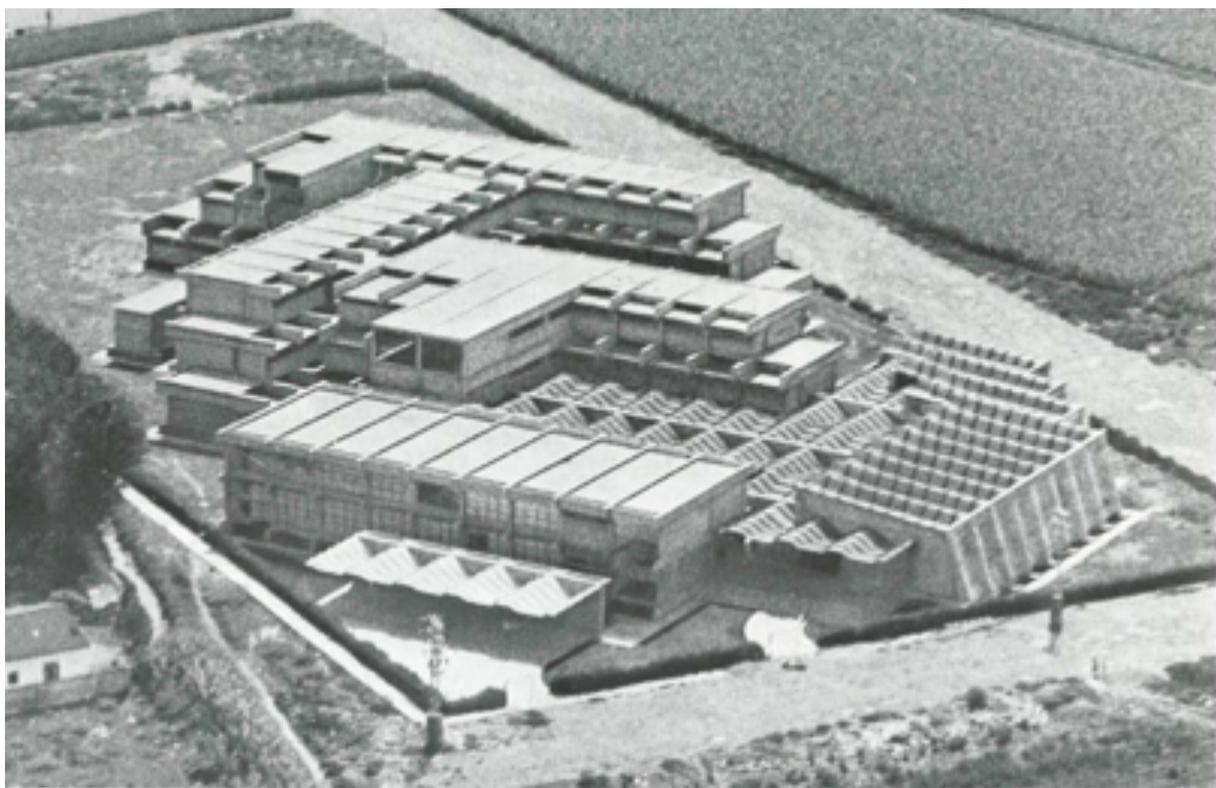


Fig. 2.1. Vista aérea del instituto Sorolla
Hogar y arquitectura n°83, (1969)

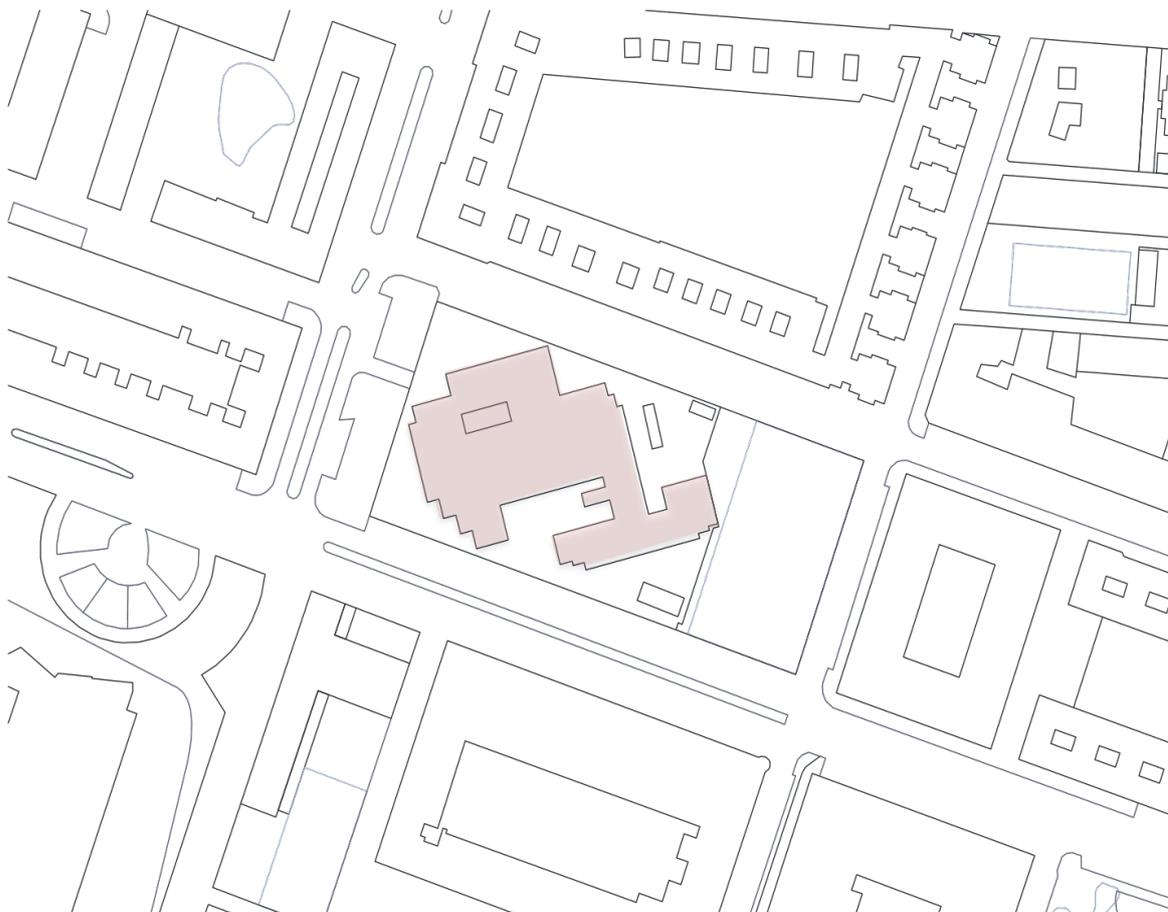


Fig. 2.2- Ubicación de la edificación en el plano catastral de Valencia.

2.- INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SOROLLA – ESTUDIO ARQUITECTÓNICO

2.1 DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA DEL EDIFICIO

- Arquitecto: José Ramón Azpiazu
- Ingenieros: Ramón Arguelles e Ignacio García Badell
- Localización: Valencia-España
- Año de ejecución: 1962-1964



Fig.2.3. Vista lateral de la edificación
Hogar y arquitectura
nº83, (1969)

El solar se encuentra ubicado en el distrito marítimo de Valencia, junto al camino de Algirós y cerca al Mercado del Cabanyal, el cual tenía como destino de albergar a alumnos de los poblados marítimos. El edificio se encuentra flanqueado entre cuatro calles, por el norte calle Ferrer Calatayud, por el sur Calle Santos Justo y Pastor, por el oeste el carrer de José Aguilar y por el este el Carrer de la Fusta.

Carmen Jordá, define acertadamente al Instituto Sorolla *como una obra identificada con una época, cuando las ideas de arquitectura, estructura y escultura parecían fundirse a partir de una exuberancia expresiva confiada a las técnicas del hormigón armado. Aquí los focos de inspiración de las láminas plegadas revelan una variada procedencia, desde la ingeniería (Nervi) hasta ciertas experiencias en países lejanos, como Japón (Tange) y Venezuela (Villanueva). Pero también se realiza un ejercicio de síntesis y de adaptación, gracias a un evidente dominio del oficio, por parte del proyectista, que consigue resolver con eficacia un complejo programa docente.* Por otro lado la articulación, de gran calidad espacial y coherencia, se resuelve mediante una planta escalonada, permitiendo numerosos patios, tan adecuados para las funciones escolares. *La sección es igualmente escalonada, con grandes vigas en ménsula que se convierten en otro rasgo característico del conjunto.*

Dos temas de interés a considerar se refieren a la separación del edificio respecto a un terreno inundable, así como al giro de 45° de la malla ortogonal para buscar las mejores orientaciones¹¹, como se muestra en la figura 2.1, además de ello el edificio debía cumplir con las premisas fijadas por la directiva, y estas son:

- Economía; no podía exceder las 3.000 ptas./m²
- Todas las dependencias con iluminación y ventilación óptimas.
- Máximo de espacio libre para zonas deportivas.
- Acústica óptima en salón de actos, capilla, bar, gimnasio.

¹¹ Registro Docomomo Ibérico (2010), Equipamientos I Lugares públicos y nuevos programas, 1925-1965. Barcelona : Fundación Caja de Arquitectos.

- No llegar a soluciones en altura a fin de evitar la instalación de ascensores.
- El edificio debía albergar 1,000 alumnos de género masculino

Sin duda Azpiazu pudo cumplir con estos requerimientos además de otros, sin embargo lo más resaltante de esta edificación es la estructura, la cual responde a ciertas facilidades de ejecución y de economía, ya que prescinde de otros acabados de revestimiento, resaltando aún más la expresividad de la estructura. Además de la estructura, resaltan las tres agrupaciones volumétricas que van diferenciándose entre 1 y 3 plantas, y con una diferencia de nivel desde la cota 0 de 0,80 para evitar futuras inundaciones. Azpiazu logró con esta diferencia de alturas, distinguir las distintas funciones del centro y dispuso al centro la programación, logrando así optimizar las orientaciones, ya que las aulas están dispuestas al sureste y los laboratorios y salas de dibujo al noroeste, dejando el espacio circundante como área libre de deportes y espacios ajardinados.

En la planta baja básicamente se realiza la parte administrativa, zonas parcialmente cubiertas (láminas plegadas en voladizos) que funcionan como porches de aparcamiento de coches, y las zonas de estancias comunitarias, en donde se encuentran ubicados: la capilla, el salón de actos, gimnasio, comedor, etc. y accediendo mediante largos pasillos hacia las dependencias escolares como: aulas, laboratorios, seminarios, despachos, etc. En las siguientes plantas las aulas y laboratorios se han resuelto con pórticos en portaladas, volando cada piso, 2m sobre su inmediato inferior, y teniendo las aulas más altura que los pasillos.

Es importante señalar que dados los criterios preestablecidos por factores funcionales y económicos, queda justificada la utilización del hormigón armado en la cimentación, la estructura, y el cerramiento como es el caso de las láminas plegadas (salón de actos, capilla, bar y gimnasio), las cuales eran parte de una tendencia durante la década del 60; tal como lo manifestaron los arquitectos Eduardo Torroja, Miguel Fisac, Félix Candela, etc. tendencia que explicaremos más a detalle en los capítulos siguientes.

Por otro lado el edificio administrativo tiene una estructura convencional de doble crujía, guardando formalmente concordancia y armonía con las láminas plegadas dentro del conjunto.

Habiendo dado esta reseña en el siguiente capítulo centraremos el estudio en uno de los elementos más representativos del edificio, las láminas plegadas, las cuales permiten que el edificio sea particularmente singular, formalmente hablando.¹²

2.2 LÁMINAS DE HORMIGÓN ARMADO

2.2.1 CONTEXTO HISTÓRICO DE LAS LÁMINAS DE HORMIGÓN ARMADO

Uno de los primeros precedentes construidos en hormigón armado en forma de estructura laminar, fueron las pequeñas macetas para rosales que construyó el jardinero francés Joseph Monier en 1849, utilizando cemento armado, así como la barca proyectada por Joseph-Louis Lambot en 1848, que fue construida en 1855.

¹² Guía de arquitectura de Valencia (2007). Valencia: Colegio territorial de Arquitectos de Valencia.



Fig.2.4. Láminas plegadas de auditorio

Fig.2.5. Interior de instituto

Fig.2.6. láminas plegadas en el área administrativa

Hogar y arquitectura n°83, (1969)

A partir de ese momento que empieza la historia del hormigón armado, bajo la presentación de la patente en la exposición Internacional de París celebrada en el año 1855. Con dicha exposición se extendió a todo el mundo el nacimiento de dicho material, el cual estaba destinado a revolucionar el mundo de la construcción de la ingeniería y la arquitectura.

Pero pese a los relevantes avances técnico-científicos alcanzados en poco tiempo, así como a la enorme cantidad de innovadoras construcciones realizados en hormigón armado desde finales del siglo XIX, fueron necesarios más de 70 años de investigación y de experiencia, para asistir al nacimiento de la primera estructura laminar o *Thin Concrete Shell*, movimiento del cual hablaremos más adelante.

En efecto tras ese largo periodo de siete décadas, el hormigón armado volvió a sus orígenes, e inició la aventura de cambiar de escala aquellas pequeñas macetas laminares, que adoptando diferentes formas geométricas y tamaños, se convirtieron en uno de los más venerados hitos de la Arquitectura moderna.

Fue en la segunda década del siglo XX cuando realmente se inició, lo que sin duda podemos llamar, “La aventura laminar”, en la que ingenieros y arquitectos se unieron, buscando la más eficaz, desnuda y esbelta forma laminar resistente, en un intento de conquistar la nueva libertad de forma y tamaño, que este material podía ofrecerles, en esta misma década el nuevo sentir hizo nacer la modernidad, como un nuevo modelo de pensamiento que será reconocido siempre y a través de la posterior y frase célebre atribuida a Mies Van der Rohe: “*Less is more*”.

Las láminas plegadas o las internacionalmente conocidas como las *Thin Concrete Shells*, pueden ser definidas como un conjunto de eficaces y desnudas formas espaciales, construidas en hormigón armado y/o pretensado, en las que el espacio habitable está definido por la propia forma geométrica de la estructura laminar en sí misma, que se construye en un solo gesto, en piel y estructura de la arquitectura que define, generando una nueva y moderna imagen escenográfica en la ciudad. Unas formas definidas por Le Corbusier para la arquitectura moderna. Y además, tal y como Félix Candela señaló, fue en ellas – las *Thin Concrete Shells* – donde el hormigón armado encontró la más racional manifestación de su razón de ser, optimizándose el aprovechamiento de sus características formáceas y adecuado-resistentes. En cuanto a la perseguida esbeltez y belleza de los cascarones de hormigón armado, Félix Candela fue uno de los más relevantes protagonistas de esta historia, convirtiéndose en poco tiempo en el paradigma de la delgadez laminar e imagen escultural de las “*Thin Concrete Shells*”, convirtiendo su trabajo en una verdadera muestra de arte.

A lo largo del tiempo tras el periodo de experimentación y análisis, en diferentes países, y con el trabajo sobre diferentes modelos físicos reducidos, con ello lograron conseguir controlar los problemas surgidos por el cambio de escala en cada una de las formas geométricas, dominando finalmente el hormigón armado y pretensado, permitiendo construir formas espaciales continuas de más de 200 m de luz entre apoyos, para entender un poco más a fondo este proceso explicaremos a continuación las distintas fases de esta “aventura laminar”.

2.2.1.1 ANTECEDENTES E INICIO DE LA AVENTURA LAMINAR (1908-1922)

Las variadas aportaciones de cada uno de los protagonistas de esta "aventura laminar", se ponen de manifiesto, por sí mismas, cuando son analizadas dentro del contexto internacional en el que se produjeron, como primera manifestación concreta en arquitectura, tenemos al ingeniero suizo Robert Maillart (1872-1940), quien fue el inventor del forjado fungiforme, y el responsable de la construcción del Bürkiplatz Pavilion en Zúrich; que si bien no maneja una estructura tan llamativa ni compleja ya que aún conserva las reminiscencias historicistas, con poca esbeltez y en con pequeña escala, es un proyecto que se puede considerar como de los primeros precedentes de las cúpulas de hormigón armado, dado este precedente, notamos la evolución a lo largo de su carrera, llegando Maillart a proyectar grandes obras, como lo hizo con el magnífico pabellón de hormigón para la Zementhalle de la exposición nacional Suiza (1939) celebrada en Zúrich.

Otro ejemplo de grandes cubiertas en las que desde principio de siglo se utilizó el hormigón armado es la cubierta de la estación central de Helsinki, proyectada por Gottlieb Eliel Saarinen (1837-1905) en 1909 e inaugurada en 1911. Este proyecto se trata de una cubierta de cañón corrido cilíndrico, proyectado para la remodelación de la antigua estación.

Sin embargo de estos ejemplos dados y de grandes logros, el comportamiento estructural no era todavía el de una lámina, sino el de una pesada y gruesa bóveda de hormigón armado, que se basa en la imitación ya que no había encontrado aún su propio camino. Es por ello que se reconoce como el primer referente de las "Thin concrete Shells" a la bóveda laminar en la cubierta de la estación de Bercy-Paris construida por el ingeniero francés Simon Boussiron (1873-1958) en el año 1910. Se trata de una bóveda de cañón de directriz parabólica, de 8 cm de espesor y 10 m de luz, en la que realmente destaca el proyecto por la esbeltez de la pieza.

Dadas las óptimas características que ofrecía el hormigón armado dada sus resistencia a la flexión, a la corrosión y al fuego con las que contaba el hormigón armado, la demanda se acrecentaba, sin embargo correspondía en esta época a ser uno de los productos más caros en el mercado; fue entonces que las primeras empresas de ingeniería alemanas, como Wayss Y freytag, Drenckahn y Sudhop y Dyckerhoff y Widmann, constituyen ser empresas con grandes aportes en el desarrollo y la construcción de las estructuras laminares de hormigón armado y pretensado. Como ejemplo de este primer avance industrializado tenemos lo proyectado por la empresa Dyckerhoff y Widmann quien construyó la primera "Thin Concrete Shell" en Jena (Alemania) durante los años 1922-1923, el cual constituía a ser una lámina geodésica de unos 16 m de diámetro y 3cm de espesor, ejecutada en hormigón armado proyectado por anillos paralelos, sobre un armazón especial reticulado, de nudos rígidos, formado por barras metálicas.

A partir de ese momento la empresa de Dyckerhoff y Widdman, que ya contaban con múltiples experiencias en construcciones de hormigón armado, se convierte en líder internacional del pionero desarrollo de estructuras laminares. Dentro de su equipo reunió, generación tras generación, a los más prestigiosos y sobresalientes ingenieros, formándoles en los más innovadores conocimientos. Dyckerhoff y Widmann no solo defendieron sus relevantes investigaciones en el campo en el que se abrían, como lo fue la ya tan famosa prueba de carga de Franz Dischinger sobre una cubierta

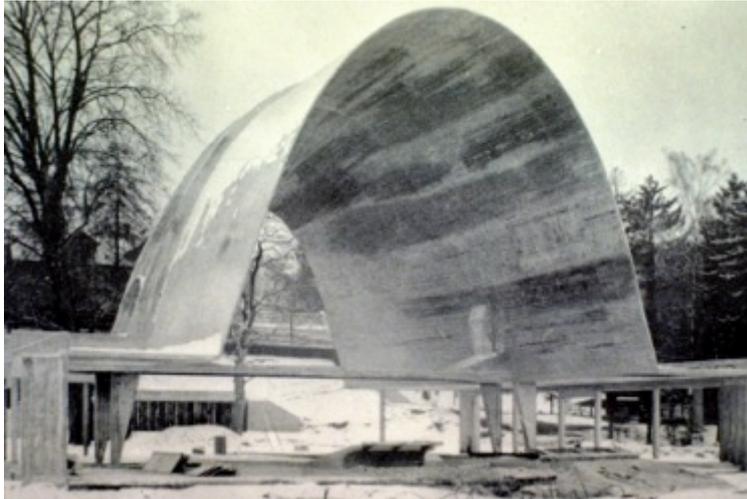


Fig.2.7. Pabellón de la exposición nacional Suiza, 1939
Robert Maillart

Cassinello, P. (2010)

laminar con 50 hombres, sino además construyó numerosos y variados tipos de estructuras laminares que fueron alcanzado cada vez más mayor luz de vano y esbeltez. Entre otras muchas: las láminas cilíndricas que forman la cubierta del Gran Mercado de Fráncfort (1926-1927), proyectado por el arquitecto Martin Elsässer y los ingenieros Franz Dischinger y Ulrich Finsterwalder; la lámina cupular del Mercado de Leipzig (1927-1929) con un diámetro de 32m, proyectada por el arquitecto Martin Hubert Ritter y los ingenieros Franz Dischinger y Hubert Rüschi; y la gran cúpula del mercado de Basilea (1929), proyectada por el arquitecto Hans E. Ryhiner y los ingenieros Franz Dischinger y Alfred A. Göernner, con un diámetro de 60m y un espesor de 8cm. Las cubiertas laminares de estos tres grandes mercados demuestran como a finales de la década de los años 20 ya se había alcanzado un gran conocimiento y experiencia en la construcción de cascarones de hormigón armado, siendo capaces de salvar vanos de 60 m con tan sólo 8 cm de espesor de lámina de hormigón armado.

Por otra parte, es también a finales de la década de los años 20, cuando el conocimiento alcanzado sobre el hormigón armado desemboca en la aparición de otro nuevo material: el hormigón pretensado, permitiendo así incrementar la posibilidad de formas y de tamaños de las "Thin Concrete Shell". El primero en registrar la patente del hormigón pretensado fue el ingeniero francés Eugène Freyssinet (1879-1962) lo patentó en París en el año 1929, lo cual propició nuevos tipos de estructuras laminares. Como manifestación de ello se construyeron entre 1921 y 1923 los hangares de Orly, unas láminas de cañón corrido de directriz parabólica, cuya forma ondulada incrementa la rigidez de la forma resistente inventado en 1917. Posteriormente, en 1925, construyó la cubierta laminar de los talleres de reparación de Bagneux, y en 1928 la lámina de cañón del Gran Mercado de Reims, de directriz parabólica, fragmentada por lucernarios en la dirección transversal al cañón, dado su evidente forma de trabajo laminar en arco.

En 1928 también se inicia otra gran aventura, la modernidad, declamada de forma internacional a través de la celebración del primer Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM).



Fig.2.8. Mercado Pola de Siero , España, 1929
Idelfonso Sánchez del Río Pisón

Cassinello, P. (2010)

2.2.1.2 LA MODERNIDAD EN LA AVENTURA LAMINAR

En la década de los años 30, el ingeniero Suizo Robert Maillart construyó el pabellón de la exposición nacional Suiza(1939), la cual fue resalta una esbeltez de su masa laminar, que a su vez constituye una característica de los famosos puentes que proyectó, como el ya conocido Puente Salginatobel (1930); lo cual marcó un precedente para su siguiente obra, más conocida de Maillart el Pabellón de la exposición Suiza, proyectada en 1938 e inaugurada un año después, siendo esta estructura una de las demostraciones mas eficaces de estructura laminar, ya que la estructura se recorta en el horizonte resaltando la esbeltez de la masa. Es notorio resaltar que Maillart fue un personaje inspirador para las venideras obras de Félix Candela.

Bajo el contexto histórico del "Less is more", las obras en el mundo de las bellas artes, la ingeniería y la arquitectura fueron optimizando el uso del material, generando así reales obras escultóricas habitables.

Idelfonso Sánchez del Río (1898- 1980) es uno de los mejores representantes en España dentro de la generación de los 30, dejándonos un extenso legado, su mayor aporte fue su innovador sistema constructivo con cáscaras delgadas corrugadas llegando a ello a tener un renombre internacional, usó este sistema para construir lo que es sin duda su obra maestra , el Pabellón de Deportes de Oviedo (1961- 1975) y precedente a esta Sánchez del Río desarrolló su propio método para Reinhold diseño de techo de hormigón forzado. Se basa su estructura en formas geométricas que podrían ser simplemente construidos y dimensionados con marcos que consisten de nervaduras continuas (vigas o arcos) fijados en su lado estrecho y elementos Severy .Este fue el modelo que utilizó en sus primeros famosos "paraguas" -como techos , así como en los tejados de más tanques de agua y el techo singular sobre el mercado de Pola de Siero (1929) una obra sin duda singular, como lo muestra la figura 2.8, con sus dos bóvedas de cañón que se cruzan cilíndricos, para la que diseñó un arco muy original que se extiende por nada menos que 50 metros, lo que tiene ambas obras en común es que usó el mismo método en ambas edificaciones de un innovador tipo de esqueleto estructural para cubiertas espaciales de

hormigón armado . Esta solución era mucho más rentable que las alternativas disponibles en el momento debido a su construcción racionalizada .

El método consistió en seleccionar adecuadamente la geometría espacial para el techo, cuyo esqueleto formado por las costillas autoportantes y pequeños elementos , ya sea en reposo o que cuelgan de ellos . Estos elementos se reforzaron con las cáscaras de hormigón o losas o losas aligeradas con componentes de arcilla roja.

En 1935, el ingeniero Ove Nyquist Arup (1895-1988), proyectó en Londres una piscina para pingüinos en el Regent Park de Londres, en la que construyó un sistema de rampas laminares de hormigón armado, figura 2.1, que pese a ser sólo un pequeño aporte dentro de la edificación, se convirtió en uno de los iconos de la historia laminar. Años después fundaría la empresa Ove Arup y Partners, que desde su fundación sigue liderando, siendo uno de sus mayores aportes la adecuación de la estructura laminar más famosa y polémica Ópera de Sidney, haciendo posible la construcción de la bella imagen proyectada del Arquitecto Utzon.

Félix Candela consideraba a Ove Arup, el sucesor de Maillart, y esta admiración lo puso de manifiesto en un escrito en 1964, en el cumplimiento de 75 años de la empresa de Ove Arup y Partners: “...y con ello quiero decir que cuando su mano está dibujando, su mente está siempre preocupada con el procedimiento de ejecutar la obra. Ésta es la principal diferencia entre un aficionado y un profesional”, con lo dicho, Candela incitaba a la reflexión de que tanto la Arquitectura como la Ingeniería nacen para ser construidas, y no para quedarse atrapadas en un simple dibujo, por bello que este pueda ser.

Dentro de los muchos profesionales en el escenario español destaca el joven ingeniero Eduardo Torroja (1899-1961) quien llegaría a liderar a nivel internacional, el desarrollo del hormigón y de las estructuras laminares, y no sólo eso sino que fundación la empresa investigaciones de la construcción ICON (1930) , que bajo su dirección se especializó en el ensayo de modelos como método de análisis del comportamiento estructural de las nuevas formas resistentes. Fueron famosos los modelos que realizó para las cubiertas de Mercado de Algeciras y del frontón Recoletos, ambos construidos en escala 1:10 y construidos en microhormigón, por este aporte fue reconocido internacionalmente como el “padre” de los ensayos científicos sobre modelos reducidos ofreciendo de esta manera una comprobación fiable del comportamiento estructural.

Al poco tiempo en 1934, Eduardo Torroja, funda en Madrid- España, el instituto técnico de la construcción y edificación junto a un pequeño grupo de ingenieros y arquitectos españoles. Un instituto que llegó a liderar a nivel internacional, el desarrollo del hormigón armado y pretensado, así como el destino de las estructuras laminares, fundándose en 1959, la *International Association for Shell Structures*. Como parte de los resultados del trabajo realizado por Torroja en la década de los 30 destacan los siguientes:

El hipódromo de la zarzuela de Madrid (1934), el cual surge por una licitación para la construcción de la nueva pista de carreras de Madrid, dicho proyecto consistía en proyectar una serie de edificios (de los cuales el edificio hipódromo tribuna era el más representativo), así como la urbanización y el desarrollo de la zona; ciertamente el techo de la estructura es el elemento diferencial y probablemente el factor decisivo para poder ganar dicha licitación, el diseño final es representada mediante una



Fig.2.9. Ove Arup ante su piscina en el zoo de Regent's Park, Londres en 1988

Cassinello, P. (2010)



marquesina en base a una estructura laminar formada por la sucesión de hiperboloides de eje horizontal secantes entre sí, de 5cm de espesor en los extremos de sus voladizos de 12,80m.

Obteniéndose notablemente sin el uso de ningún nervio o refuerzo. Cabe destacar que el contratista se ofreció a hacer un modelo a escala completa con el fin de no tener duda alguna sobre la resistencia de la estructura, a fin de ayudar a asegurar la técnica constructiva y asegurar la posición de las barras de refuerzo con lo cual modelo resistió un total de 5,9 KN/m², con un máximo de 15 cm en el borde del voladizo, el modelo fue probado además llevado a la carga de rotura, demostrando ser capaz de llevar tres veces su propio peso y incluyendo carga de nieve.

El segundo proyecto más representativo de Torroja es el Mercado de Algeciras (1934), figura 2.6, la cual consiste en una cubierta laminar en forma de casquete esférico de 47,62 m de luz y 9cm de espesor, sustentada sobre ocho apoyos perimetrales, inventando la técnica de desencofrar mediante zunchado.

Como último proyecto representativo de Torroja es el frontón Recoletos de Madrid (1935), una instalación diseñada para jugar pelota vasca. La geometría de pared requerido para jugar a este juego y la ubicación de la estación de servicio introducir una serie de condiciones de contorno que deben ser satisfechos en todas las construcciones de este tipo : una altura mínima , alumbrado, ancho , etc. El aspecto más notable de este proyecto es el techo, una estructura de cubierta del cual él mismo escribió sobre dicho diseño: *“Recordando a los requisitos de la altura y la iluminación y al mismo tiempo el deseo de dar el sentimiento más grande posible de amplitud a la sala, la mano de la imaginación instintivamente sacó dos arcos, la asimetría de la que rima con la propia sala”* (Torroja, 1958) finalmente el proyecto consistió en ser una carcasa cilíndrica en dos lóbulos teniendo las siguientes características: 55 m de largo y 32 m de ancho, el radio del sector cilíndrico de 12,2 m y la mas pequeña de 6,4 m ambas con un espesor de 8 cm, excepto cerca de los soportes, donde creció hasta 16 cm.

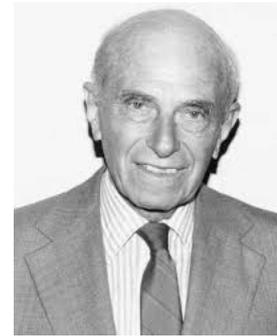
Fig.2.10. Modelo a escala completa del Hipódromo de la Zarzuela,1934

Fig.2.11. Hipódromo de la Zarzuela Madrid, 1934 Eduardo Torroja

Fig.2.12. Mercado Algeciras, 1934 Eduardo Torroja

Fig.2.13. Frontón Recoletos Madrid, 1935 Eduardo Torroja

Archivo Torroja



Cabe destacar el mérito que consideraba realizar este tipo de estructuras en los tres casos, ya que eran estructuras en fase de experimentación y que en muchos de los casos variaron desde su concepción para compatibilizar con la fase constructiva, y que además de ello el mejor aporte fuese aportar, por parte de Torroja, sus estudios de cálculo por cada uno de sus proyectos, llevándole nada menos que tres meses llevar a cabo los cálculos, con el fin de apoyar a los resultados obtenidos por su modelo en escala 1/10. Lamentablemente solo se tiene un registro fotográfico del frontón ya que colapsó ante el estallido de la guerra civil española.

A medida que iba evolucionando las Thin Concrete Shells, los proyectistas iban agudizando su ingenio ya que no solo estaban en la búsqueda de la eficacia y la esbeltez sino que iban en búsqueda de la optimización de los laboriosos y costosos procesos constructivos que este tipo de estructura demandaba desde su propio replanteo en obra, los artesanales encofrados, la colocación de armaduras, entre otros, sin embargo el ingeniero alemán Anton Tedesko (1903-1994), construyó en Estados Unidos por encargo de la firma para la que trabajaba en Alemania más de 60 estructuras laminares, demostrando que era posible optimizar su uso, como lo hizo con una de sus famosas estructuras laminares construidas, Ice Hockey Arena de Hershey (1936), una lámina nervada de cañón, que fue la de mayor luz de vano construida en aquellos momentos, con una luz entre apoyos de 70,73m y un espesor de 9cm y la planta depuradora de agua en Hibbing (1939), con la geometría laminar de una elipsoide de gran esbeltez.

En la década de los 40 sucede el estallido de la segunda Guerra mundial (1939-1945), y en el caso de España la postguerra civil, lo que hace que sucumba un cambio en la funcionalidad de la "aventura laminar" ya que se potenció la necesidad de construir obras nuevas de ingeniería civil, y sobre todo se encontraron nuevas funciones para las estructuras laminares, construyéndose gran número de cuarteles, depósitos de agua y hangares para aviones. Por este motivo, se aceleraron a nivel mundial las investigaciones necesarias para acelerar los procesos constructivos y favorecer a la economía, construyéndose así por primera vez piezas prefabricadas *in situ*, y conjuntamente con ello cada uno de los proyectistas, como en el caso de la empresa Roberts y Schaefer, que gracias a que recibieron tantos encargos aprovecharon la ocasión para realizar análisis y ensayos específicos que le permitieran optimizar el uso de estructuras laminares de hormigón de cañón corrido, ello evitó que se sucumbiera en errores estructurales, ya que los hangares para la aviación requerían nuevos análisis para luces y dimensiones.

Fig.2.15. Hangar en Rapid City Dakota, 1947-48 Anton Tedesko. Recuperado de: <https://eobriente361.wordpress.com/2014/02/02/notable-civil-engineer-assignment/>

Fig.2.16. Fotografía de Anton Tedesko.

Fig.2.17. Ingenieros y constructores haciendo una prueba de carga en la cubierta de una nave en Illinois, 1950

Cassinello, P. (2010)



Cabe mencionar una vez más también el aporte que hizo Anton Tedesko en los 40, quien realizó también minuciosos ensayos sobre modelos, como lo demuestra la figura 2.17, ya que según sus conferencias destacaba que sus proyectos ingenieriles no eran solo parte de un detallado análisis estructural sino que guardaban relación con un juicio cualitativo y ello lo demostró con los distintos proyectos ejecutados en los que destaco los distintos hangares para la fuerza aérea, tal como el hangar más largo en Rapid City, figura 2.15, y Limestone con 104 m ejecutados entre 1947 y 1948; sin embargo lo más interesante de la obra de Tedesko fue la versatilidad de su trabajo y sobre todo la responsabilidad que le ameritaba la experimentación con las láminas de hormigón para su época y sobre todo manifestaba particularidad preocupación respecto a la administración de los costes en sus proyectos, como lo expuso en un discurso hacia sus socios, Tedesko advirtió a sus colegas a no dejar que los ensayos a escala real de éxito y experiencias anteriores con hangares y almacenes les provoquen un exceso de confianza: *“...no debemos incrementar nuestros dolores de cabeza al hacer una estructura más audaz que NECESARIA sin un considerable ahorro en los costos. La sugerencia de Zaborowski para el cliente es no tratar con los contratistas sin experiencia en los proyectos públicos. Mientras que nuestro conocimiento sobre el comportamiento de pandeo de los arcos se ha incrementado, no estoy satisfecho aún con nuestro conocimiento con respecto al pandeo de los depósitos y de los voladizos de la cáscara. Nuestros cálculos se basan todavía en número de suposiciones cuestionables. Siempre que los costes no se ven afectados de forma apreciable, elegiría la estructura más rígida y más sustancial que no nos*

Fig.2.18. Laboratorio de rayos cósmicos, Universidad Nacional Autónoma de México, 1951
Félix Candela

Fig.2.19. Almacén de Río Company, 1954
Félix Candela

Fig.2.20. Iglesia de la medalla milagrosa en Navarte, México, 1954
Félix Candela

Fig.2.21. Fotografía de Félix Candela

Cassinello, P. (2010)

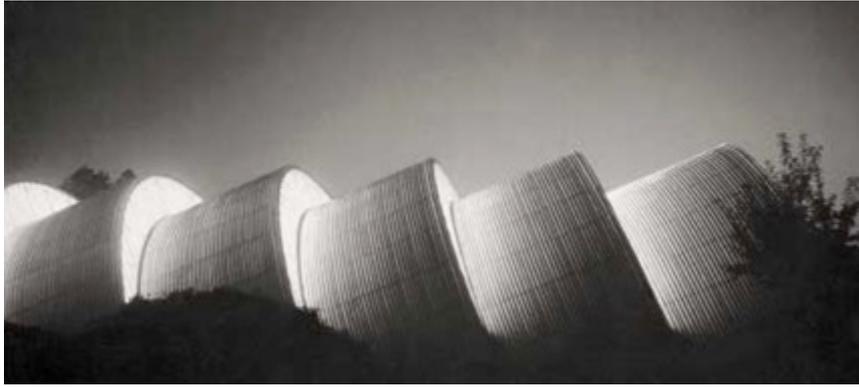


Fig.2.22 Naves industrial
Gossau, 1953
Heinz Hossdorf
Cassinello, P. (2010)

dará dificultades si la construcción no está completamente de acuerdo con los requisitos de diseño”.

Llegando a este punto se abrió paso otro personaje importante dentro de España el Arquitecto Félix Candela, figura 2.18, quien termina en el año 1935 la carrera y realiza como proyecto de fin de carrera, *plaza de toros con cubiertas colgantes y reminiscencias exteriores tradicionales*, siendo estas uno de sus primeras manifestaciones de la atracción que sentía hacia las estructuras laminares, sin embargo es en 1939, tras finalizar la guerra civil, que abandona España e inicia un viaje al exilio, llegando a México, donde se estableció y trabajó como delineante, constructor y arquitecto, colaborando con distintas empresas y oficinas, y no fue hasta el año 1946 que pudo fundar su primera oficina profesional con su hermano, lo que destacó en los primeros años de trabajo de Félix Candela, fue la elaboración de sus modelos en escala real a modo de experimentación tratando de enfrentarse con ello al análisis estructural, basándose en el método de la ruptura, desarrollado en base a las características reales de los materiales y a la estática; ello llevó a que en 1950, después de su exitosa construcción del cascarón experimental, fundó la empresa –Cubiertas ala- y con ello su incorporación definitiva a “la aventura laminar” y fue precisamente en esta década el mayor desarrollo de las *Thin Concrete Shells*, luego de tres décadas de investigación dieron resultado nuevas formas resistentes y técnicas constructivas.

Esta década también se inició con la construcción de los famosos hangares para aviones proyectados por Auguste Perret y Nicolas Esquillan en Marignane (Francia), la cual consistía en una cubierta laminar ondulada de doble curvatura y de 114m de luz de vano, lo cual correspondía un record en el momento, mientras tanto el recién incorporado Félix Candela, continuaba con la fase experimental, utilizando diferentes sistemas constructivos, tipos de encofrados, además de desarrollar y difundir sencillos métodos de cálculo para las estructuras laminares.



Fig.2.23 Vista exterior de los Laboratorios Alter. Recuperado de :Informes de la Construcción Vol. 14, no 132 Junio, julio de 1961

Sin duda, el año 1951 cobró una especial importancia para Félix Candela, ya que el año que construyó el cascarón que lo lanzó a la fama internacional, el Laboratorio de Rayos Cósmicos de la Universidad Nacional Autónoma de México, figura 2.18, este cascarón tenía tan solo 15mm de espesor, para poder llegar a esta delgadez Félix Candela eligió una geometría de doble curvatura –el paraboloide hiperbólico- que, además de contar con mayor rigidez que una superficie de simple curvatura, era de fácil replanteado en obra, y sobre todo que facilitaba la ejecución al poder ejecutarse con un encofrado de madera de tablas rectas.

Otra de las obras más conocidos de Félix Candela fueron los famosos paraguas, el primero de ello lo ejecutó en 1954 y fue optimizándolas cada vez mas en base a prueba y error, pudiendo con ello superar los problemas que tenía en un inicio con la deflexión en las esquinas ya que no le proporcionaba una flecha mayor, y cuando llegó a la optimización construyó en México el almacén de Río Company en Lindavista, figura 2.19, utilizando un conjunto de paraguas para la formación de su cubierta. A partir de este momento el paraguas se convierte en la imagen más característica de las numerosas cubiertas que construye Candela para las fábricas y almacenes. Sin embargo la obra mas importante de Candela, y en la que nos demuestra su destreza adquirida durante sus años de trabajo, fue la Iglesia de la medalla de la milagrosa en Narvarte, en México, figura 2.20; el cual cuenta con la forma ya patentada por Candela, “el paraguas” las cuales eran alabeadas dándole un movimiento especial, otorgándole al espacio arquitectónico una escultórica imagen interior, llevándonos a una imagen mas asemejada a la obra propuesta por Azpiazu, siendo este un claro referente.

En el año 1953, se incorpora otro personaje a la “aventura laminar” el joven ingeniero alemán, formado en Suiza, Heinz Hossdorf (1925-2006), quien al igual que Eduardo Torroja se centró en los modelos a escala, llegando a desarrollar su propio método –“ensayos híbridos”-, el cual puso en ejecución en el proyecto de la Nave Industrial Gossau, figura 2.22, el cual consiste en

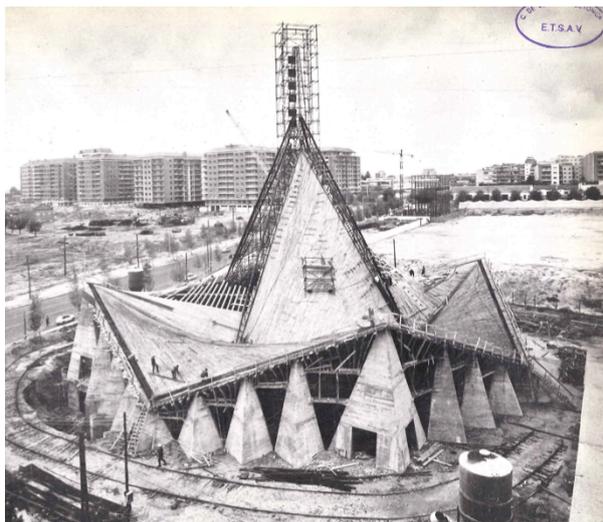


Fig.2.24. Fotografía durante la etapa de construcción de la iglesia de Nuestra Señora de Guadalupe. Recuperado de: De la Mora, E., Azpiazu J.R., Candela, F. (1966) Santuario de Nuestra Señora de Guadalupe en Madrid. *Hogar y Arquitectura*, 64, 29

Fig.2.25. Interior de la iglesia. Recuperado de: <http://enfotomadrid.blogspot.com.es/>

Fig.2.26. Fotografía actual de la iglesia de Nuestra Señora de Guadalupe. Recuperado de: <https://es.pinterest.com/venadonegro/arquitectura/>

ser un proyecto de naves de láminas cilíndricas de eje inclinado que salvaban una luz de vano libre de 30 metros, dando la innovadora solución de la integración entre las láminas de hormigón armado y las cerchas metálicas curvas.

Como hemos visto la mayoría de obras proyectadas hasta el momento fueron curvas, sin embargo las láminas de hormigón planas constituyen un grupo especial. El plano no tiene rigidez a flexión pero una vez dobladas la arista adquiere gran rigidez a compresión toda vez que los planos contiguos la arriostran a pandeo, esta tipología se fue desarrollando paralelamente con las de sección curvas, entre los logros más destacados en esta tipología podemos mencionar el hangar para la Allghany Airlines en el aeropuerto Logan, Boston (1970) que cubrió una longitud de 252 pies. A partir de 1955 con las técnicas de pretensado y postesado permitirán el aumento de luces y de esbelteces en este tipo de estructura laminar plana, como lo hicieron grandes arquitectos como Bakema y Van de Broek, con el proyecto del aula TUDelft (1965), dando como resultado un voladizo récord de 32m. Por otro lado Breuer junto a Pier Luigi Nervi y Bernard Zehrfuss realizaron la cubierta más grande con láminas plegadas en un edificio de la UNESCO en París (1958).

Dentro del entorno nacional de las obras más representativas de láminas plegadas ejecutadas en España, aparte del canódromo de Torroja claro está, se encuentra la obra de Miguel Fisac y la Marquesina de los laboratorios Alter en Madrid en 1961, el cual consiste en ser un edificio el primero comprende todos los locales nobles, de presidencia y recepción de los laboratorios Alter, y lo interesante del proyecto es la estructura de la cubierta la cual apoyada en una luz de viga a viga de 5,2m, con un vuelo de 3m por ambos lados y con un canto de 60cm. Otra obra que debe ser mencionada y en la que nos detenemos para examinar con más detalle, es la Iglesia de Nuestra Señora de Guadalupe, figura 2.24, ejecutada en Madrid en el año 1963, contando entre sus profesionales a Félix Candela como asesor, como ingeniero a José Antonio Torroja y a los arquitectos Enrique de la Mora y a José Ramón Azpiazu, quien es finalmente el proyectista del Instituto Sorolla, vemos a una iglesia que se desarrolla sobre una planta octogonal, de diámetro exterior máximo de 53,74m. Utilizando la geometría básica del paraboloide hiperbólico, la cubierta, de 4cm. de espesor, que está formada por ocho paraboloides, sostenidos por cuatro

...Siempre me han apasionado las cubiertas laminares. Quizás sea porque en España Tuvieron, si no su origen, sí su desarrollo inicial, y posteriormente españoles han sido los que la han divulgado y construido en Hispanoamérica.

Azpiazu Ordóñez et al., 1991



Fig.2.27. Vista de la Fachada Oeste y Sur. Sacris- Fig. 48: Interior Sacristía

Arnau, F. 2013

Fig.2.28. Exterior del Oceanográfico. Recuperado de: <http://www.archdaily.com>

pilares con superficies laterales también con la forma de paraboloides hiperbólicos y un muro de cerramiento, que a su vez, sirve de estribo y tiene forma de lámina plegada de tan sólo 2 cm. con vidrieras artísticas de vidrio grueso y nervios de hormigón armado, que se unen en un vértice central, dejando paso a la luz natural a través de las cerchas metálicas que los unen, formando de esta manera una luz cenital en el recinto, alcanzando una altura en su extremo superior de 25 m; sin embargo tal y como menciona la revista Hogar y arquitectura: “...La estructura del proyecto inicial (de Candela y De la Mora), era de hormigón armado pero en ella sólo la cubierta de la iglesia y el muro perimetral de la cripta eran laminares. La intervención de Azpiazu supuso la transición en estructura laminar de casi la totalidad de la iglesia”. Sin duda fue de las ideas más acertadas ya que lo interesante es que el proyecto manifiesta una monumentalidad y expresividad, más por interior del edificio que por fuera.

Al igual que en ellas, la penetración de la luz natural refuerza la percepción de la volumetría interior. Por otra parte, los pilares de esta iglesia de Madrid,

tienen una forma similar a la de los de la Iglesia de la Milagrosa, generando una continuidad espacial con los *hypars*.¹³ Puntualmente en el contexto de la comunidad Valenciana solo contamos con tres muestras de edificaciones de láminas plegadas:

- **La iglesia de San Nicolás en el Grau de Gandía** (1964), obra de Eduardo Torroja Miret, como ingeniero y de Gonzalo Echegaray Comba, como Arquitecto. Esta última obra proyectada por Torroja y se construyó posterior a su fallecimiento. Lo singular de este edificio es sin duda es la estructura, la cual se compone de una serie de costillas, de sección variable desde un mínimo de 16 cm en su parte más estrecha hasta 38 cm, separadas cada 2,00 m (ver figura)
- **El instituto de Educación Superior Sorolla** (1964), proyectado por el Arq. José Ramón Azpiazu, en Valencia.
- **El Ocenográfico** (2002), Esta edificación está ubicada dentro del complejo de las ciudad de las ciencias y las artes de Valencia, atribuyéndole como proyectista al Arq. Félix Candela, sin embargo en esta obra en cuestión actuó como

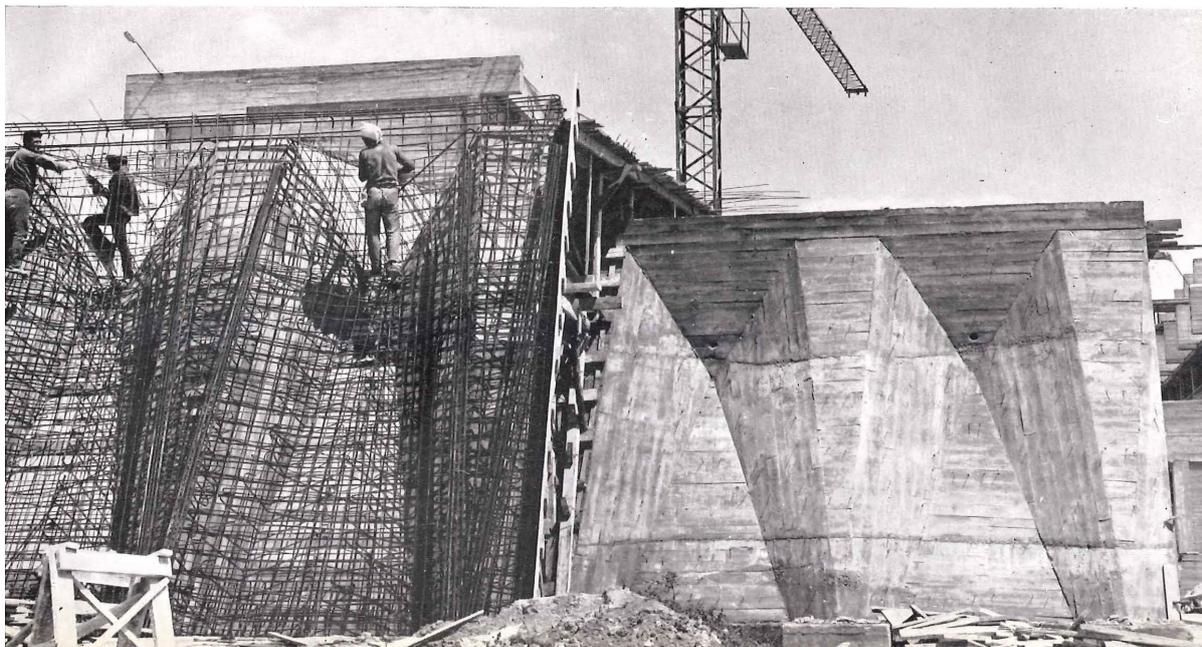
¹³ Cassinello, P. (2010). Félix Candela. Centenario / Centenary. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid and Fundación Juanelo Turriano.

consultor y diseñador de la estructuras (ver figura).¹⁴ Además de ello es ejecutada después del fallecimiento de Candela (1997) y fueron los ingenieros Lázaro y Domingo quienes, a petición de la propiedad, realizaron el cálculo, en base a lo nueva tecnología de la época, además se encargaron del proceso constructivo, siguiendo fielmente las ideas propuestas por Candela, cabe mencionar que esta edificación es una réplica del restaurante de Xochimilco (Los Manantiales), proyectada en México por el año 1957.

Como hemos podido ver la década de los 50 fue un estallido de las mejores obras en la “aventura laminar”, donde se dieron a conocer los máximos representantes de la Modernidad, sin embargo una vez conquistada la cima de los conocimientos de las *thin concrete shells*, estas terminaron al final de la década de los 60, la razón se otorga a la aparición de nuevos materiales, los cuales variaban mucho con respecto a la láminas plegadas, desde un punto de vista económico, social y tecnológico; abriéndose campo en ello nuevos caminos que conquistarían el campo de las estructuras espaciales, además mencionar que para lograr los análisis de las distintas láminas plegadas se necesitaban consideraciones matemáticas de gran complejidad, lo cual no era del todo accesible para todos los calculistas, sin embargo Cassinello otorga como principal razón a “...los prejuicios estéticos ante una nueva forma que iba a romper con las doctrinas y moldes en boga”, además de ello se sumó la agresividad de sus formas, la cual “ha venido a dar nueva expresión y movimiento a los limpios y puros volúmenes racionalistas, puristas y neoclásicos, en los que el ángulo recto y la línea inclinada no tenía lugar en su invariable credo de paralelismo y ortogonalidad”¹⁵, tan sólo unas pocas láminas traspasarían la década de los 70, con lo cual Azpiazu nos explica la razón, “...llevamos 37 años de experiencias y ahora empieza a decaer su desarrollo por el coste excesivo del enconfrado y por no haber encontrado un sistema de prefabricación adecuado que permita que estas cubiertas laminares no pierdan su condición de cáscara al perder su monolitismo y dividirse en una serie de elementos prefabricados”.

¹⁴ Según el comentario de Emilio A. Pérez Belda, en el artículo de “El oceanográfico. La última obra de Félix Candela”, menciona lo siguiente: “Candela en esta obra tampoco actuó de arquitecto. Si bien no hizo de constructor, como durante mucho tiempo fue habitual en él, sí hizo de consultor y diseñador de las estructuras que daban la impronta al proyecto. Fiel a su tradición más arraigada durante su etapa de hacedor de cascarones de concreto armado en Méjico, en esta obra, su última obra, Candela supo estar en lo más alto del proyecto, respetando como era habitual en él, la autoría de la totalidad del edificio que ostentaba el arquitecto pero, a la vez, dando al proyecto el carácter necesario para convertirlo en referente de una forma de hacer arquitectura, su arquitectura”, con ello intentaba descartar lo dicho en muchos libros sobre la supuesta invitación que extiende Calatrava a Candela, en su participación dentro de la ciudad de las artes y las ciencias .

¹⁵ http://oa.upm.es/14931/1/pdf_plegadas_España.pdf



2.2.2 USOS DE LAS LÁMINAS PLEGADAS EN LA EDIFICACIÓN

Habiendo analizado el desarrollo de las diferentes tipologías de láminas y su desarrollo cronológico, finalmente Azpiazu es considerado como uno de los principales practicantes de estructuras plegadas de hormigón en España o al menos el autor de una de las más destacadas, él mismo nos explica las razones del uso de las láminas plegadas en sus diversos proyectos: "...son las más sencillas de encofrado, las de mejores

Fig.2.30. Construcción de láminas plegadas en el salón de actos.

Fig.2.31. Láminas plegadas en el salón de actos.

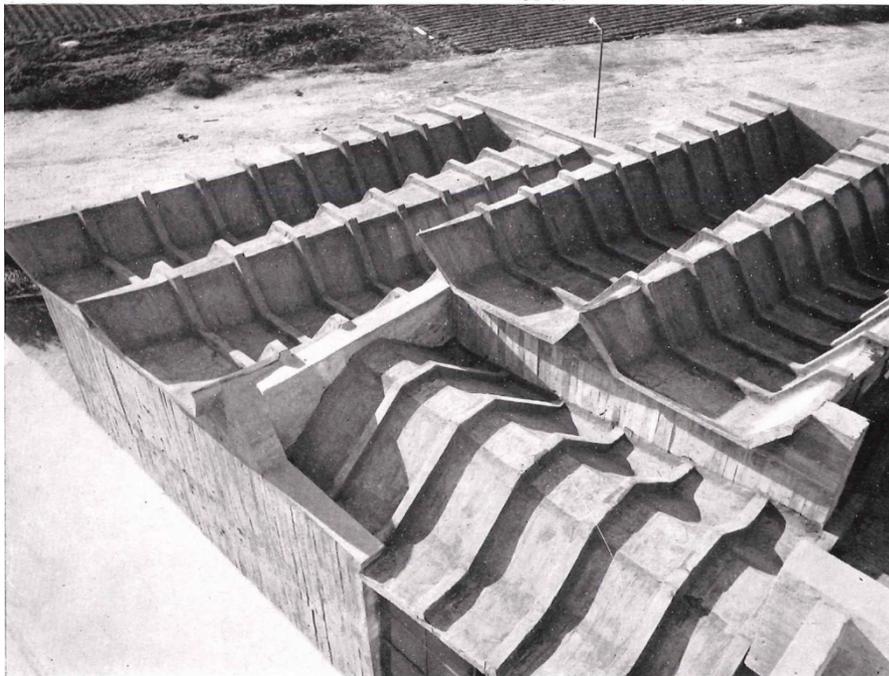
Hogar y arquitectura :
revista bimestral de la
Obra Sindical
del Hogar, n° 83,p. 52,53;
1969



Fig.2.32. Vista superior de las láminas plegadas del salón de actos.

Fig.2.33. Láminas plegadas en el salón de actos.

Hogar y arquitectura :
revista bimestral de la
Obra Sindical
del Hogar, n° 83,p. 47,
1969



condiciones acústicas, siempre que se proyecten racionalmente, y las más indicadas para emplear en voladizos, ya que se calcula para soportar esfuerzos de flexión y, por tanto, no suelen fisurarse. Conviene que no sean desarrollables y que tengan inercia variable, comportándose éstas muy bien

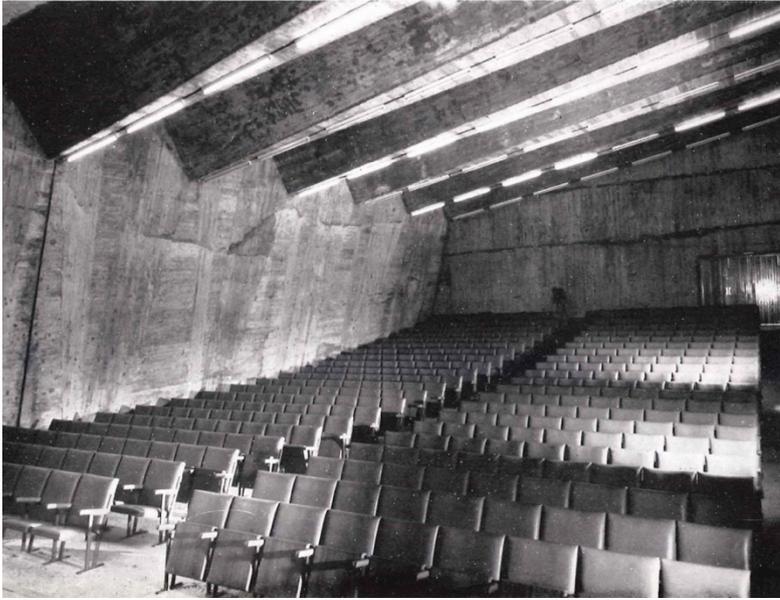
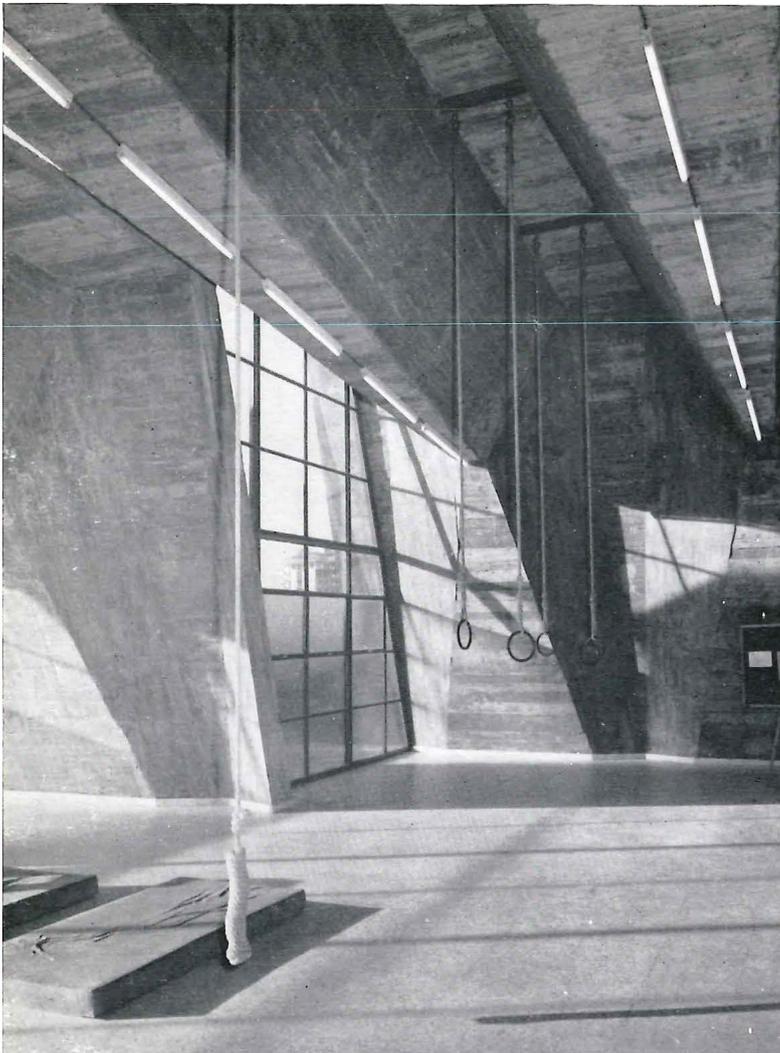


Fig.2.34. Interior de salón de actos.

Fig.2.35. Interior de gimnasio.

Hogar y arquitectura :
revista bimestral de la
Obra Sindical
del Hogar, nº 83,p. 49-50,
1969



ante los efectos sísmicos y de viento. Otra ventaja es que se ajustan con gran facilidad al recinto ideal a cubrir, sin necesidad de perder grandes espacios, por no necesitar ni grandes curvaturas, ni inclinaciones especiales. Como inconvenientes señalaremos la cantidad de hierro por metro cuadrado (de 20 a 30 kg/m²) y su peso propio, que resulta

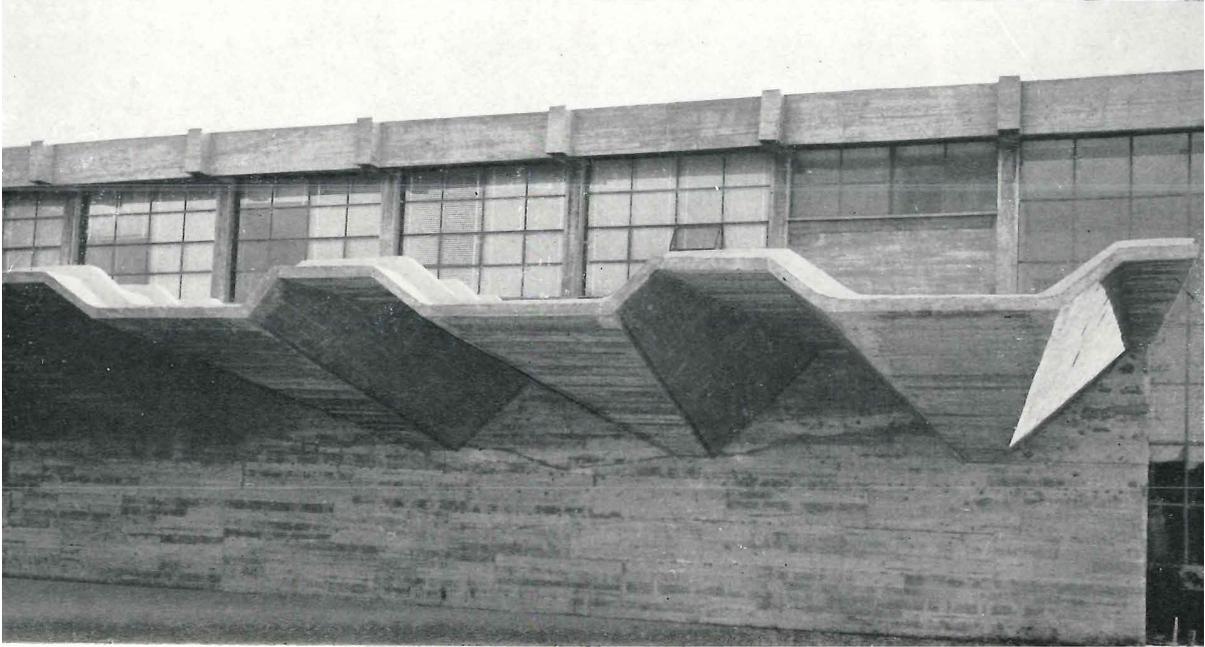


Fig.2.36. Láminas plegadas en auditorio



Fig.2.37. Láminas plegadas en ingreso a área administrativa

Hogar y arquitectura :
revista bimestral de la
Obra Sindical
del Hogar, n° 83,p. 48,50;
1969

considerable. El espesor de la lámina debe ser variable entre 6 y 12 cm. El efecto estético es de gran fuerza expresiva.”, finalmente las láminas planas con conicidad son las que son utilizadas en el Instituto de educación secundaria Sorolla, las cuales se emplearon en los porches, en las marquesinas en voladizo del ingreso, y sobre todo en el salón de actos y el gimnasio, con luces mayores de 12m aproximadamente en el que además de cubierta se convierte en un muro de cerramiento.

3.- ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL EDIFICIO

3.1 ESTADO DE CONSERVACIÓN ACTUAL DEL EDIFICIO

Para abordar el estudio de la patología del Instituto Sorolla, es necesario considerar que se trata de un edificio que no ha recibido algún tipo de mantenimiento aparente desde su inauguración, y a continuación haremos una sólo una inspección ocular del estado de conservación de la fachada, ya que es la única área a la que tuvimos acceso.

El poco cuidado por la parte administrativa, ha permitido que los alumnos degraden la institución dejando su huella de diversas formas, por lo que se aprecian: profusión de graffitis en los paramentos exteriores, se aprecia también diversas instalaciones de fontanería y eléctrica, generando como consecuencia daños directos sobre el edificio a modo de un impacto visual y la percepción del mismo, además de rotura de carpinterías y vitrales, así como claras intervenciones de resanes, además del claro deterioro en sus área libres y otros desperfectos varios.

Todo esto, unido al acelerado deterioro del propio edificio provocado por la importante incidencia de los agentes atmosféricos, en gran medida, por la acumulación de agua de lluvia sobre los forjados, consecuencia de su acción directa y de su filtración descontrolada a través de bajantes deterioradas además de insuficientes

Teniendo claro el contexto que incide sobre el edificio, se inicia el estudio de la patología que sufre en todas sus partes. Para ello se establece la metodología siguiente:

- **Estudio de las referencias teóricas para identificar los diferentes tipos de patologías:** Estudio de la UNE41805-1 IN, norma que hemos utilizado para la elaboración del clasificación.
- **Clasificación jerarquizada de las lesiones:** se han organizado la identificación de acuerdo a lo observado únicamente en la zona externa de la edificación, ya que como hemos mencionado anteriormente no se nos concedió el acceso al interior del mismo.
- **Análisis de los resultados**

V3.1.1 FICHAS DE LESIONES

- **FACHADAS:** La fachadas están compuestas por hormigón armado.

Procesos físicos: Todos aquellos que tienen que ver con los fenómenos físicos del ambiente, al que necesariamente están sometidas las estructuras.

LESIÓN (origen)	1.1 HUMEDADES: presencia de agua excesiva en el cerramiento (en su superficie interior o en algún punto de su espesor) que se detecta en forma de "manchas" de humedad o de lesiones "secundarias" (eflorescencia, erosiones, etc.)			TOMA DE DATOS
	SÍNTOMA	LOCALIZACIÓN	CAUSA/PROCESO	
Capilar **	-Manchas -Erosión física -Eflorescencias	Muros de fachadas	- Humedad que proviene del terreno y que se evapora a través de las fachadas.	
Filtración **	-Manchas -Erosión física -Eflorescencias -Mohos líquenes o musgos	Coronación antepecho	Succión y absorción de agua de lluvia: -Estructura porosa -Juntas constructivas -Grietas y fisuras	
		Dintel voladizo	En este caso, esta área se encuentra muy expuesta por lo que propicia a la filtración de humedad tanto del viento, como por la lluvia.	

PUESTA EN VALOR DEL INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SOROLLA EN VALENCIA
ANDREA LEYVA.TFM MAAPUD.XII/2016

- **FACHADAS:** La fachadas están compuestas por hormigón armado.

Procesos físicos: Todos aquellos que tienen que ver con los fenómenos físicos del ambiente, al que necesariamente están sometidas las estructuras.

LESIÓN (origen)	1.2 ENSUCIAMIENTO FÍSICO: Aparición de partículas "sucias" en la fachada. Puede ocurrir a través de tres fenómenos; por depósito, por lavado diferencial o por acciones externas.			TOMA DE DATOS
	SÍNTOMA	LOCALIZACIÓN	CAUSA/PROCESO	
Por depósito **	Manchas generalizadas en los paramentos	Muros de fachadas	Depósito por gravedad. En este caso las fachadas presentan ensuciamiento general por depósito de polvo, ya que tiene una superficie corrugada que favorece a dicha acumulación, además de la falta de mantenimiento.	
Acciones externas ***	Vandalismo	Cara exterior fachadas en zonas más expuestas al tránsito peatonal.	Realización de grafitis sobre las fachadas. Esta representa la patología más generalizada en la edificación.	 

PUESTA EN VALOR DEL INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SOROLLA EN VALENCIA
 ANDREA LEYVA.TFM MAAPUD.XII/2016

LESIÓN (origen)	1.3 EROSIÓN FÍSICA: Desgaste o alteración superficial como consecuencia de acciones físicas externas, normalmente fenómenos meteorológicos o accidentes.			TOMA DE DATOS
	SÍNTOMA	LOCALIZACIÓN	CAUSA/PROCESO	
Disgregación de la pasta, desmoronamiento del hormigón ***	Corrosión de la armadura de acero	Cara exterior fachadas en zonas más expuestas.	Corrosión de la armadura de acero y posterior splitting del recubrimiento de hormigón.	

- **FACHADAS:** La fachadas están compuestas por hormigón armado.
Procesos mecánicos: Procesos patológicos provocados por acciones mecánicas y que afectan a las características de ese mismo tipo de materiales y elementos.

LESIÓN (origen)	2.1 FISURAS: Series de roturas lineales que afectan exclusivamente a los acabados superficiales exteriores.			TOMA DE DATOS
	SÍNTOMA	LOCALIZACIÓN	CAUSA/PROCESO	
Roturas múltiples ***	Fisuras en “mapa” en centros de paños ciegos.	Centros de paños ciegos en las láminas plegadas.	Retracción higrotérmica del acabado, sobretodo de la dirección dominante. En este caso se manifiesta de forma intensa en el acabado superficial de la hoja exterior del cerramiento de la edificación,	

LESIÓN (origen)	2.2 DESPRENDIMIENTOS: Por pérdida de la unión entre el acabado y el soporte.			TOMA DE DATOS
	SÍNTOMA	LOCALIZACIÓN	CAUSA/PROCESO	
Separación o caída de acabados **	Caída de acabados	Centros de paños ciegos en general.	Rotura de adherencia continua Dilatación-contracción del acabado.	 

- **FACHADAS:** La fachadas están compuestas por hormigón armado.

Procesos químicos: Procesos patológicos en los que se produce alguna reacción química que altera la imagen o la constitución del cerramiento, o en los que exista la presencia de algún organismo que se asiente o destruya parte de los mismos.

		3.1 ORGANISMOS: Presencia de organismo en las superficie de la fachada, o ataque a los materiales constitutivos de las mismas.			TOMA DE DATOS
LESIÓN (origen)	SÍNTOMA	LOCALIZACIÓN	CAUSA/PROCESO		
Plantas **	Crecimiento de plantas silvestres	Roturas superficiales en paños verticales y plataformas.	Acumulación de tierra y semillas en roturas y rincones. Se concentran en el zócalo y las esquinas.	 	

- **FACHADAS:** La fachadas están compuestas por hormigón armado.
Causas ajenas: Patología del edificio debido a causas externas al edificio, su uso o el paso del tiempo.

		4.1 ELEMENTOS IMPROPIOS: Elementos ajenos al edificio que pueden provocar deficiencias sobre el mismo.			TOMA DE DATOS
LESIÓN (origen)	SÍNTOMA	LOCALIZACIÓN	CAUSA/PROCESO		
Elementos anclados **	Impacto visual en la fachada.	Sobre algunas partes de la fachada de manera muy puntual.	El elemento es totalmente ajeno al edificio se inserta en la imagen de la fachada alterando su percepción.		
Elementos colgados **	Impacto visual en la fachada.	Sobre la fachada se encuentra colgado cableado de servicios urbanos: - Eléctricos - Telefonía - Alumbrado Además de tuberías correspondientes a la descarga de aguas pluviales de las cubiertas del salón de actos.	Un gran número de cables de servicios urbanos que distorsionan la imagen del mismo, así como parte de instalaciones que han sido colocados sin tener algún cuidado con el impacto visual sobre la fachada.	 	

3.1.2 Resultados

Según lo observado en las fichas patológicas de las fachadas, identificamos, de un modo generalizado, que existen patologías que en su mayoría son subsanables, con distintos métodos de los que no precisaremos en el presente estudio, al no tenerlo como objetivo.

Por otro lado pese a contar a la actualidad con más de 50 años desde su ejecución, es claro que no ha recibido mantenimiento aparente, además de albergar a más alumnado del originalmente previsto, por ende es considerable que haya surgido un deterioro más por el uso del mismo, que por problemas en la composición estructural del edificio. Particularmente las láminas plegadas de hormigón armado, presentan generalmente lesiones por acciones externas, en este caso corresponden a Grafitis, ensuciamiento y alguna reacción química puntual en un caso de corrosión de la armadura, con lo cual se manifiesta una buena ejecución del proyecto, y de funcionamiento, ya que no han manifestado daños estructurales sino solo superficiales.

Sin embargo a criterio arquitectónico, durante la etapa de proyecto, opinamos que pudo haberse optimizado el diseño la descarga de aguas pluviales de las cubiertas lo cual a generado con el transcurrir del tiempo determinadas lesiones en la fachada.

3.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

3.2.1 Geometría de las láminas plegadas

Con la intención de conocer en profundidad el comportamiento estructural de las láminas plegadas, se ha realizado un modelo estructural a través de una herramienta informática, denominada Architrave.

En primer lugar, se ha realizado la simplificación de la estructura real en elementos más sencillos, que permitan un análisis más exhaustivo para obtener conclusiones del comportamiento estructural.

Una vez realizado el modelo, se ha procedido a la evaluación y asignación de cargas al modelo, además de incluir los materiales y las secciones. Con todo ello, se obtiene un modelo estructural simplificado respecto de la estructura real, que teniendo en cuenta las limitaciones del programa, permite obtener conclusiones válidas del funcionamiento de la estructura.

Ante todo debemos mencionar que en el edificio hemos identificado tres tipos de láminas plegadas, como lo mostramos en el siguiente gráfico:



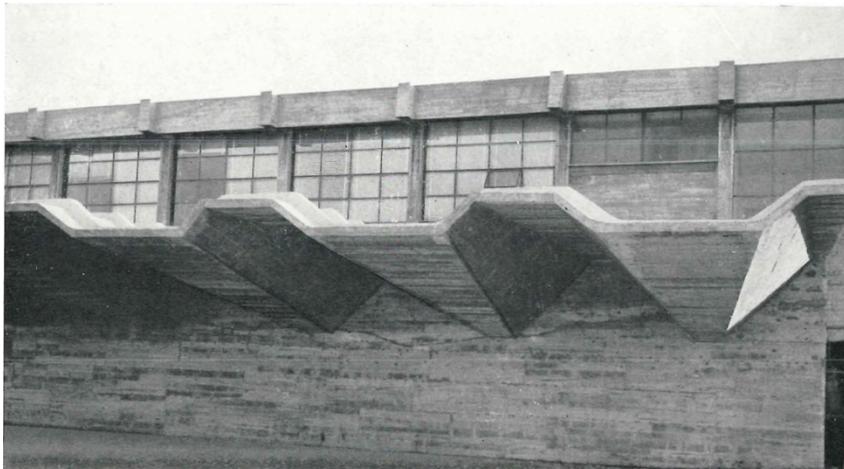
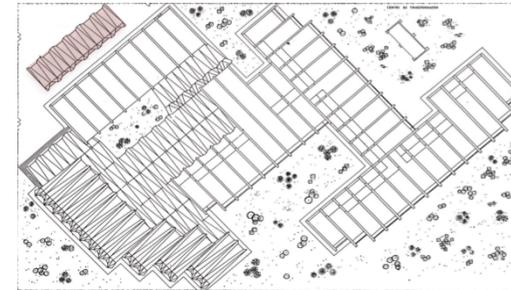
-  : Lámina plegada tipo A (Zona de parqueadero)
-  : Lámina plegada tipo B (Zona administrativa)
-  : Lámina plegada tipo C (Salón de actos)

3.2.2 Tipos de Láminas plegadas

3.2.2.1 Láminas plegadas tipo A

Este tipo de láminas las tenemos ubicadas en el área de parqueadero, que colinda exactamente con el con el ingreso al recinto, se caracterizan por ser láminas plegadas de hormigón en voladizo, de 12 cm de espesor, y apoyadas sobre un muro de 0.40 cm.

Cabe mencionar que si bien se aprecia en el modelo original una serie de costillas en la cubierta de las láminas en sus tres tipologías, las hemos decidido obviar en el modelado del programa Architrave, ya que tratamos de simplificarlo.



➤ **Reinterpretación modelo de láminas plegadas Tipo A**

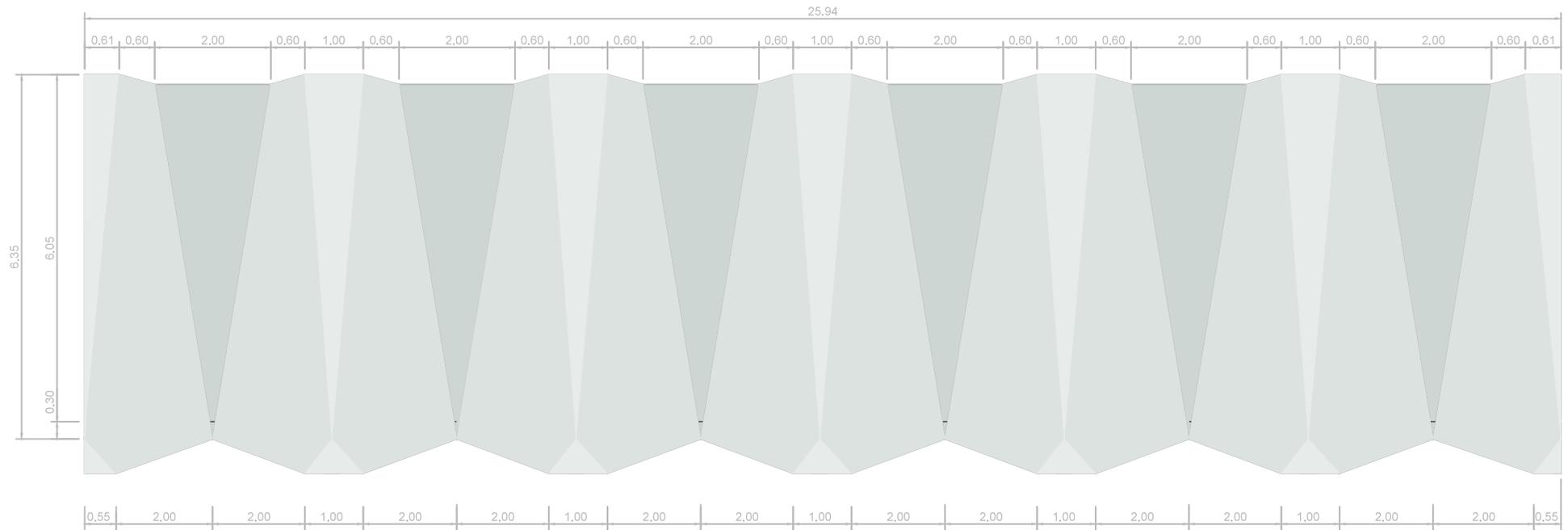


Fig.3.4 Reinterpretación en planta de láminas plegadas en voladizo

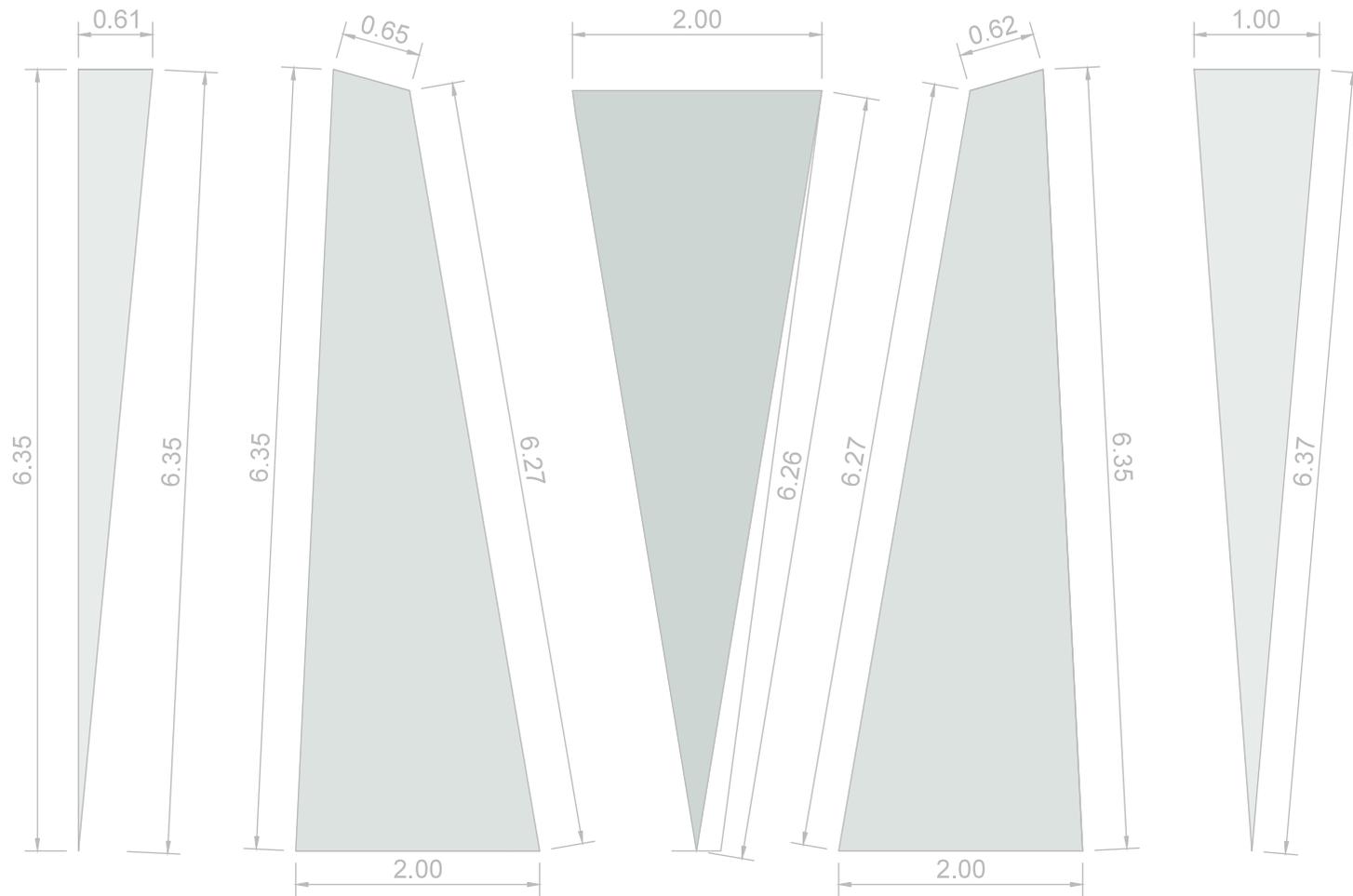


Fig.3.5 Despiece del módulo, Tipo A

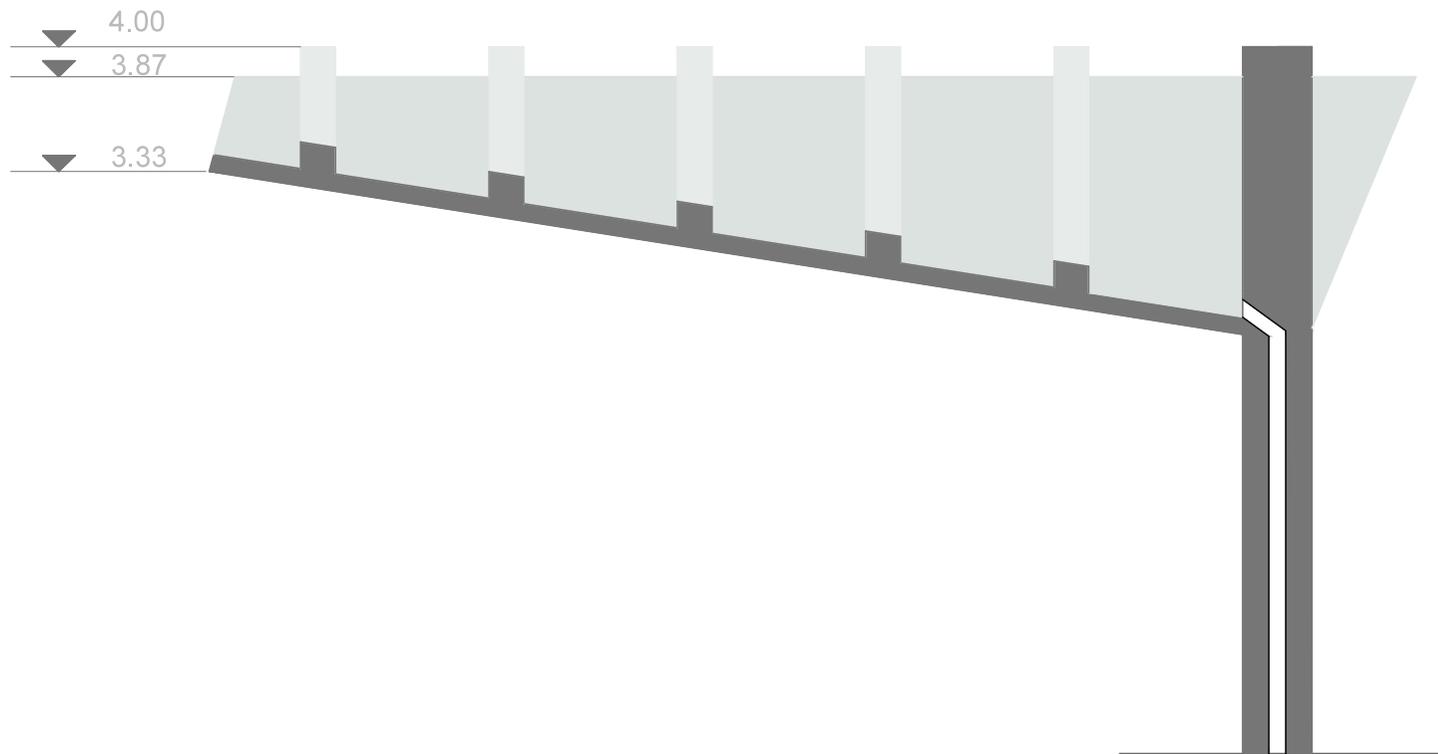


Fig.3.6 Sección del módulo, Tipo A

➤ **Modelado en Architrave de Láminas plegadas Tipo A**

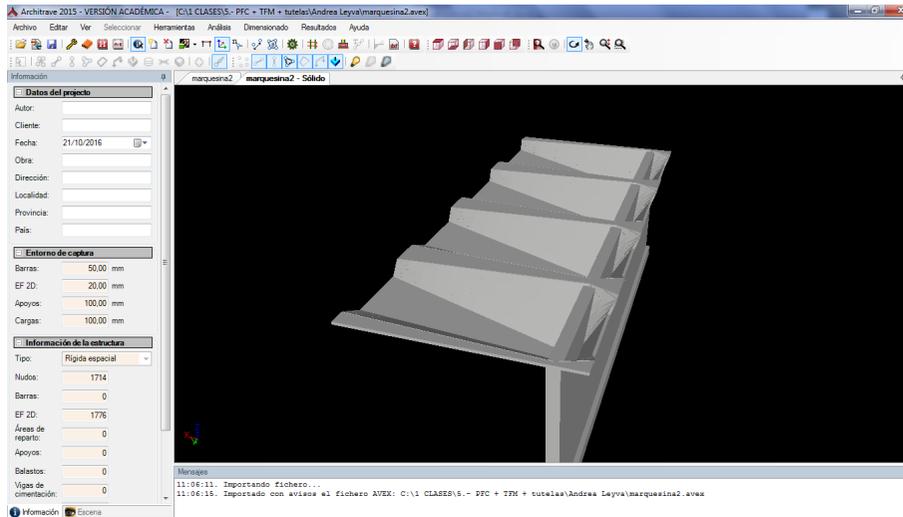


Fig.3.7 Axonometría de la lámina plegada tipo A

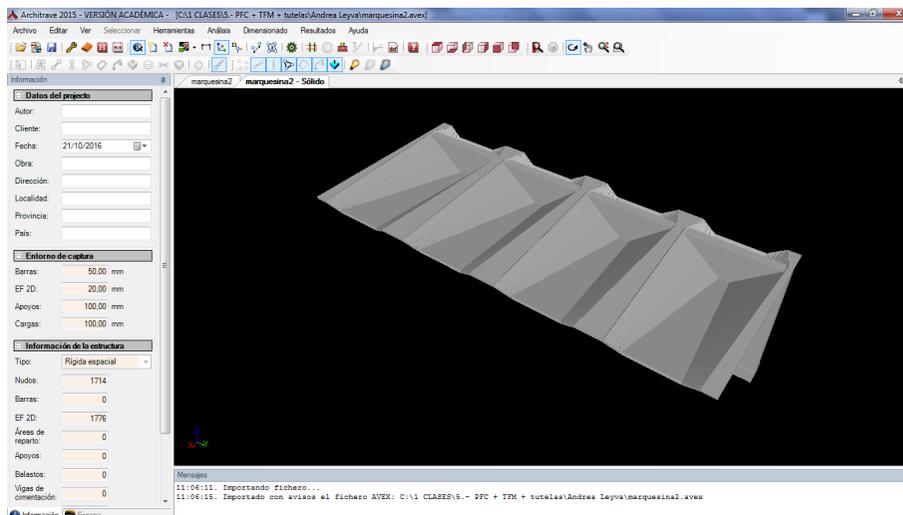


Fig.3.8 Vista superior de la lámina plegada tipo A

Al tratarse de elementos superficiales, se modelizan a través de un mallado global, que permiten obtener una superficie de elementos finitos. Estos tienen forma trapezoidal y se les asigna una sección de hormigón armado HA-25 de 12 cm de espesor.

De igual manera dibujamos el muro como una malla global considerándolo del orden de 40 cm de espesor y como material le asignamos el HA-25.

3.2.2.2 Láminas plegadas tipo B

Este tipo de láminas las tenemos ubicadas en el área central del recinto, la cual cubre el patio del mismo, estas se caracterizan por ser láminas plegadas de hormigón en voladizo, de 12cm de espesor, que van apoyadas sobre una serie de pilares de 0.40 cm de sección .

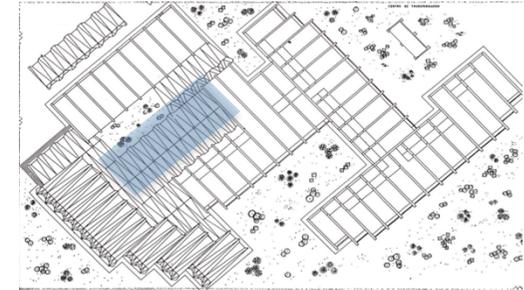


Fig.3.9 Láminas plegadas Tipo B (1964)
Hogar y arquitectura : revista bimestral de
la Obra Sindical del Hogar, n° 83,p.
50, 1969

➤ **Reinterpretación modelo de laminas plegada tipo B**

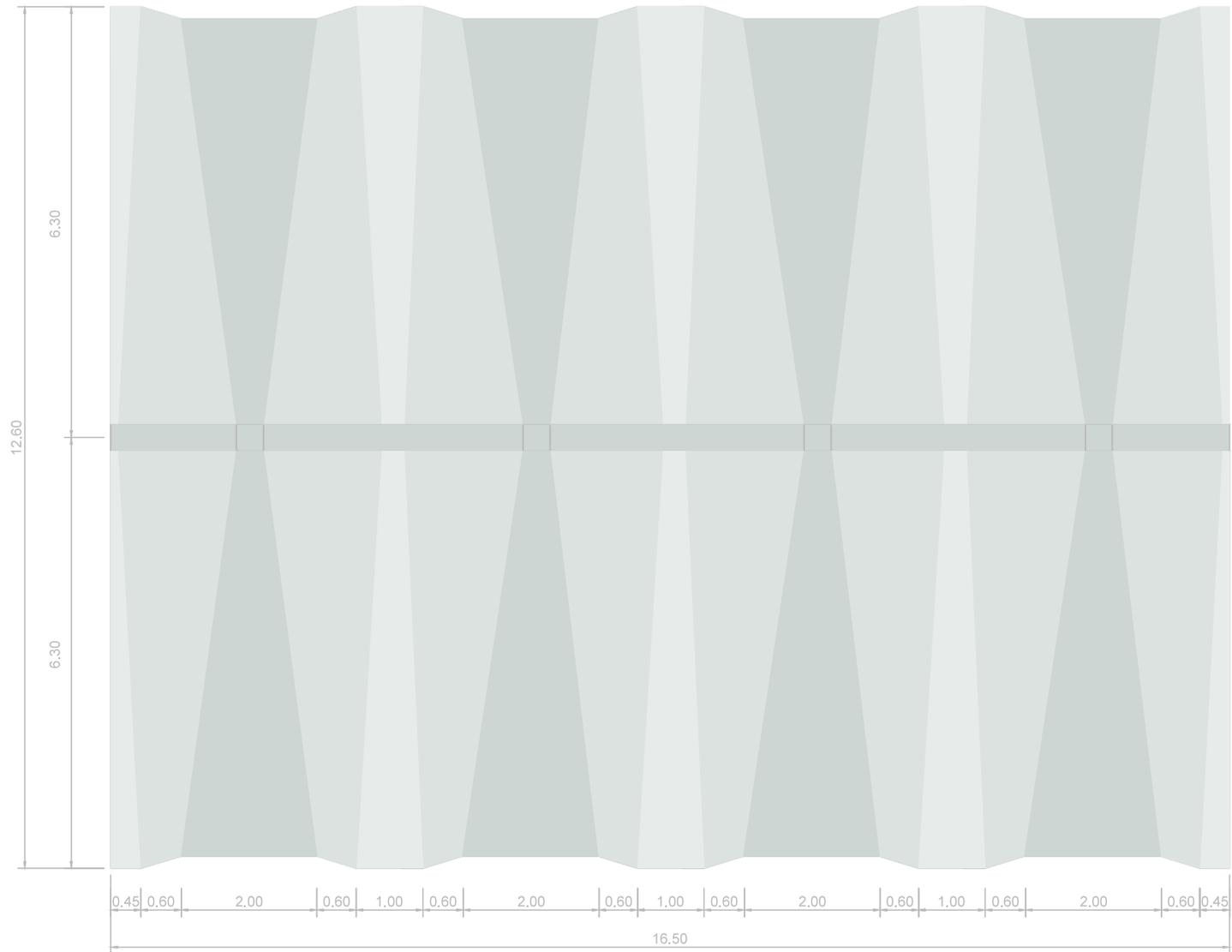


Fig.3.10 Reinterpretación en planta de láminas plegadas tipo B

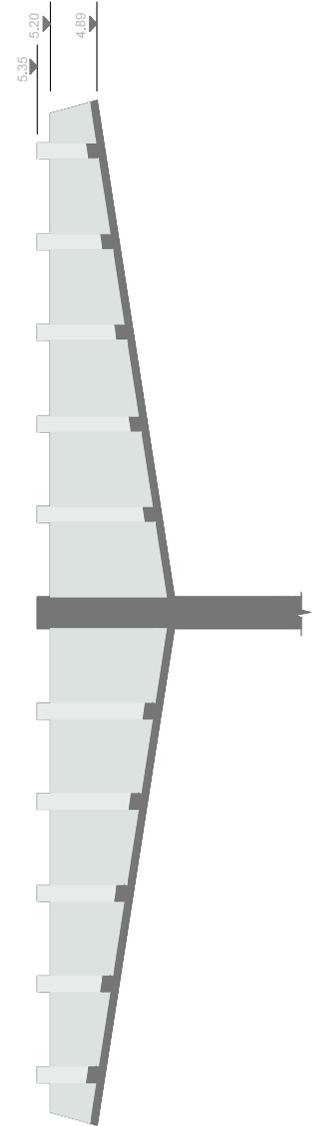


Fig.3.11 Sección del módulo, Tipo B

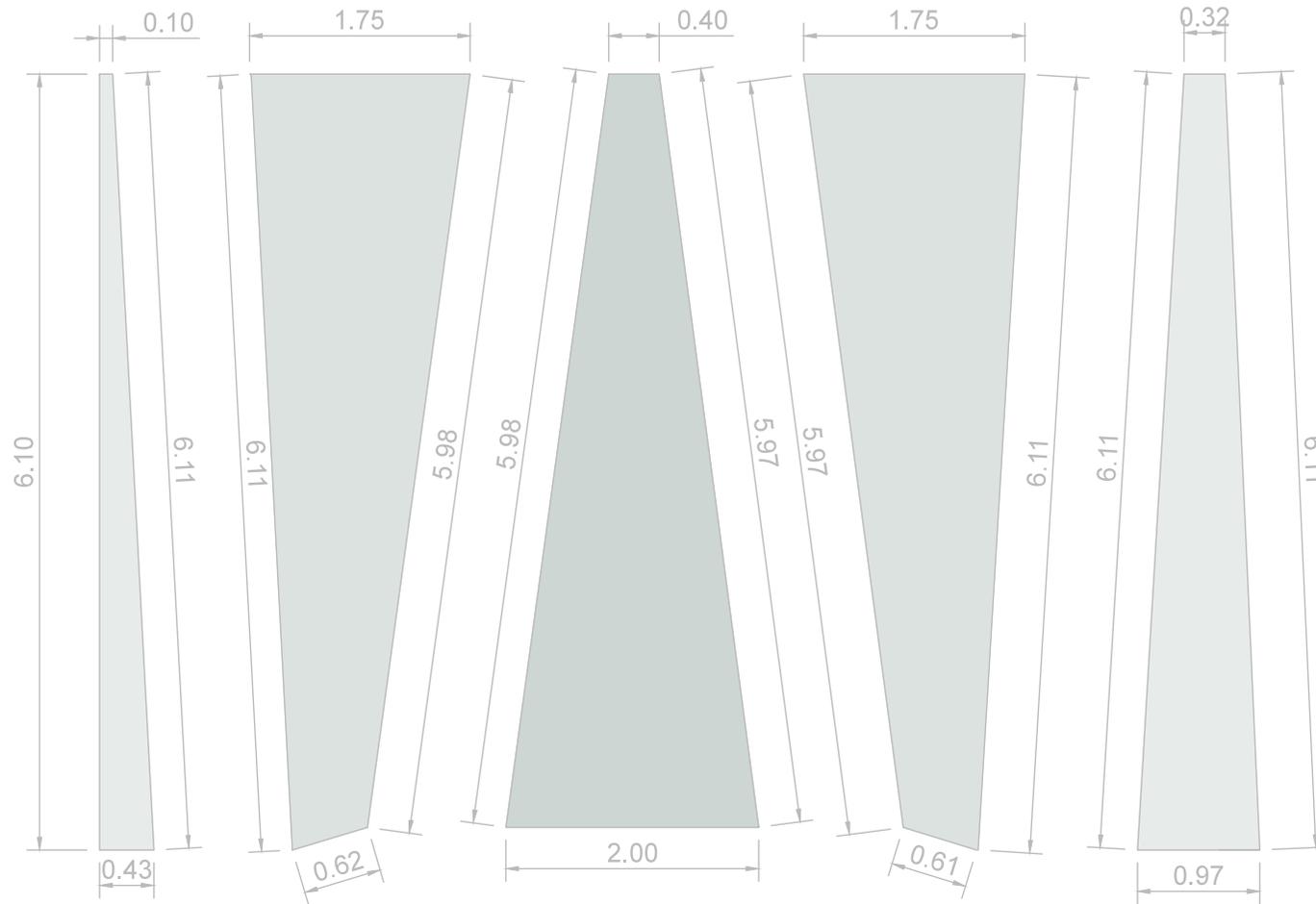


Fig.3.12 Despiece del módulo, Tipo B

➤ **Modelado en architrave de Láminas plegadas Tipo B**

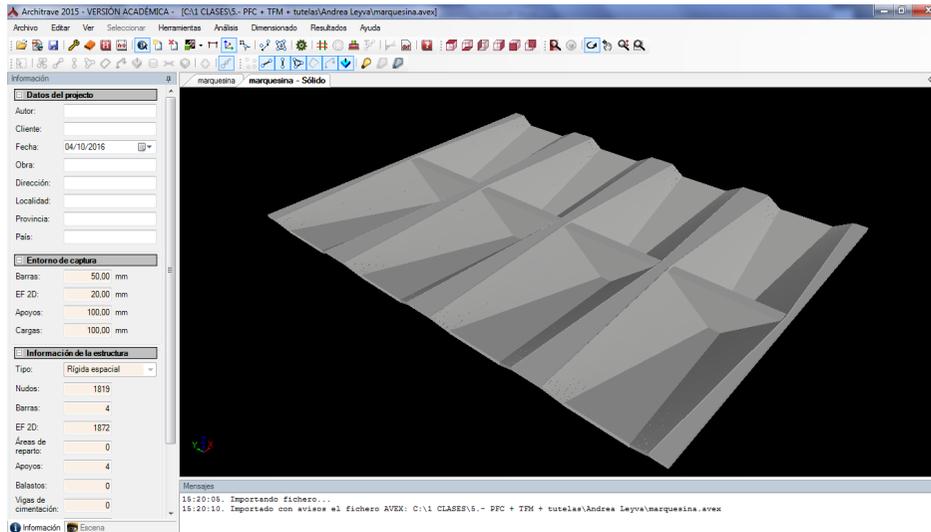


Fig.3.13 Axonometría del modelo estructural

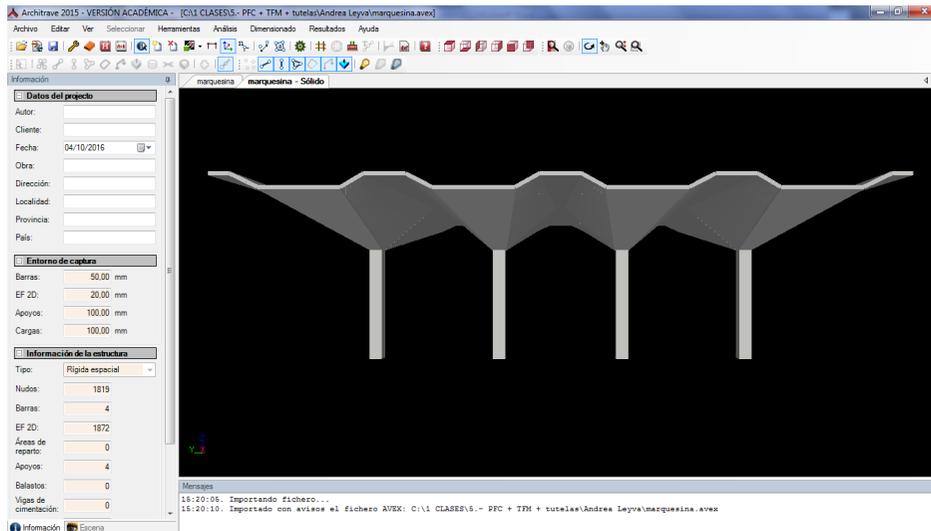


Fig.3.14 Axonometría del modelo estructural

Al tratarse de elementos superficiales, se modelizan a través de un mallado global, que permiten obtener una superficie de elementos finitos. Estos tienen forma trapezoidal y se les asigna una sección de hormigón armado HA-25 de 12 cm de espesor.

De igual manera dibujamos los pilares, considerándolo del orden de 40 cm de espesor y como material le asignamos el HA-25.

3.2.2.2 Láminas plegadas tipo C

Este tipo de láminas las tenemos ubicadas en el salón de actos, que colinda exactamente con las láminas plegadas tipo B, se caracterizan por ser láminas plegadas de hormigón que son parte de la cubierta así también, como de la fachada.

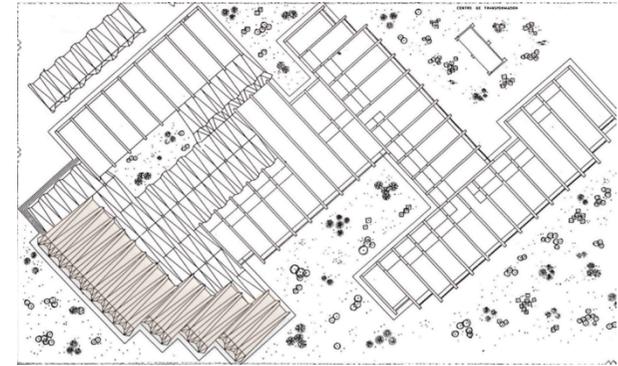


Fig.3.15 Vista interior de las láminas plegadas Tipo C
Hogar y arquitectura : revista bimestral de la
Obra Sindical del Hogar, n° 83,p. 49, 1969

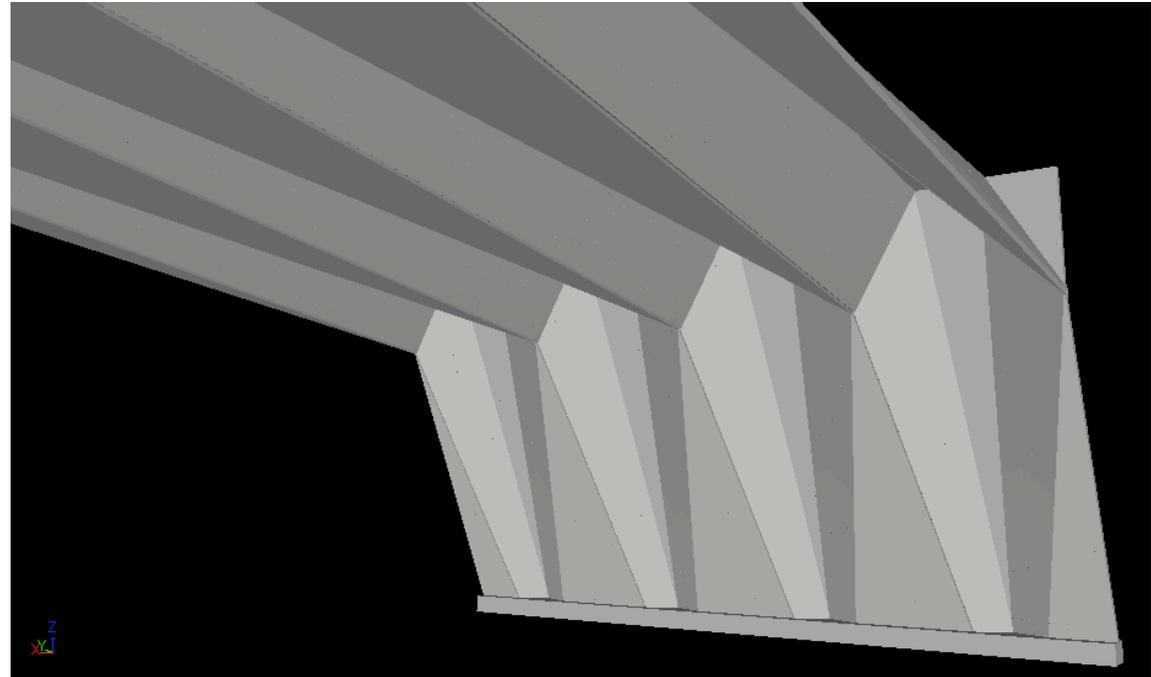


Fig.3.16 Láminas plegadas Tipo C – modelado

Este tipo de láminas las tenemos ubicadas en el salón de actos, que colinda exactamente con las láminas plegadas tipo B, se caracterizan por ser láminas plegadas de hormigón que son parte de la cubierta así también, como de la fachada.

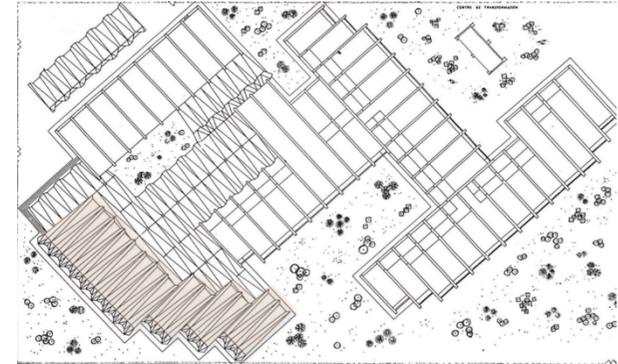


Fig.3.17 Vista exterior de las láminas plegadas Tipo C (1964)
Hogar y arquitectura : revista bimestral de la Obra Sindical del Hogar, n° 83,p. 52, 1969

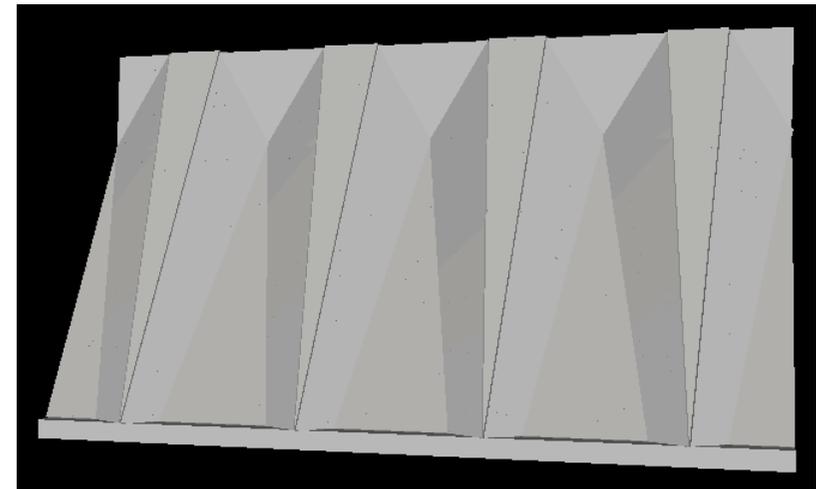


Fig.3.18 Láminas plegadas Tipo C – modelado

➤ **Reinterpretación modelo de laminas plegada tipo C**

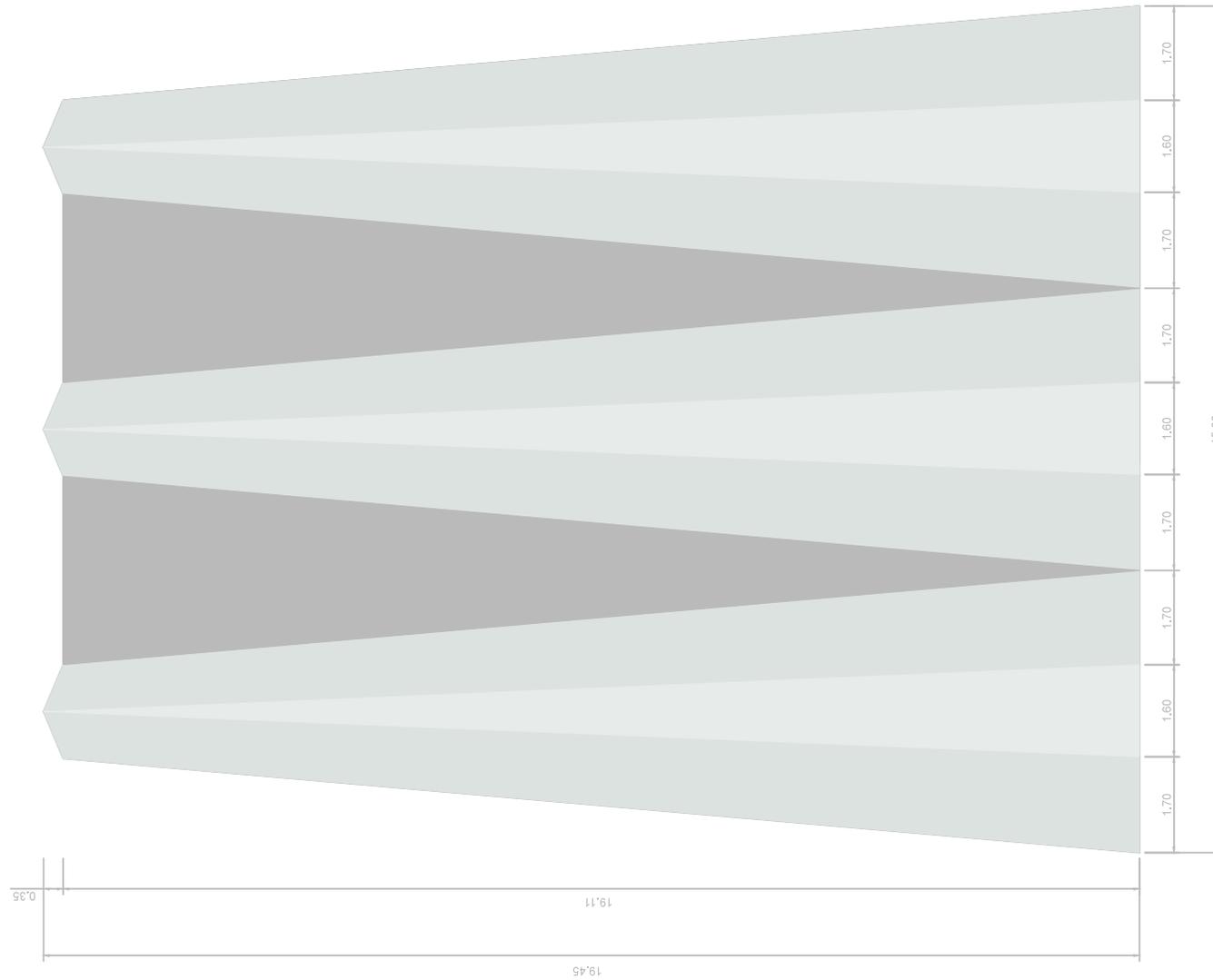


Fig.3.19 Reinterpretación en planta de la lámina plegada, Tipo C

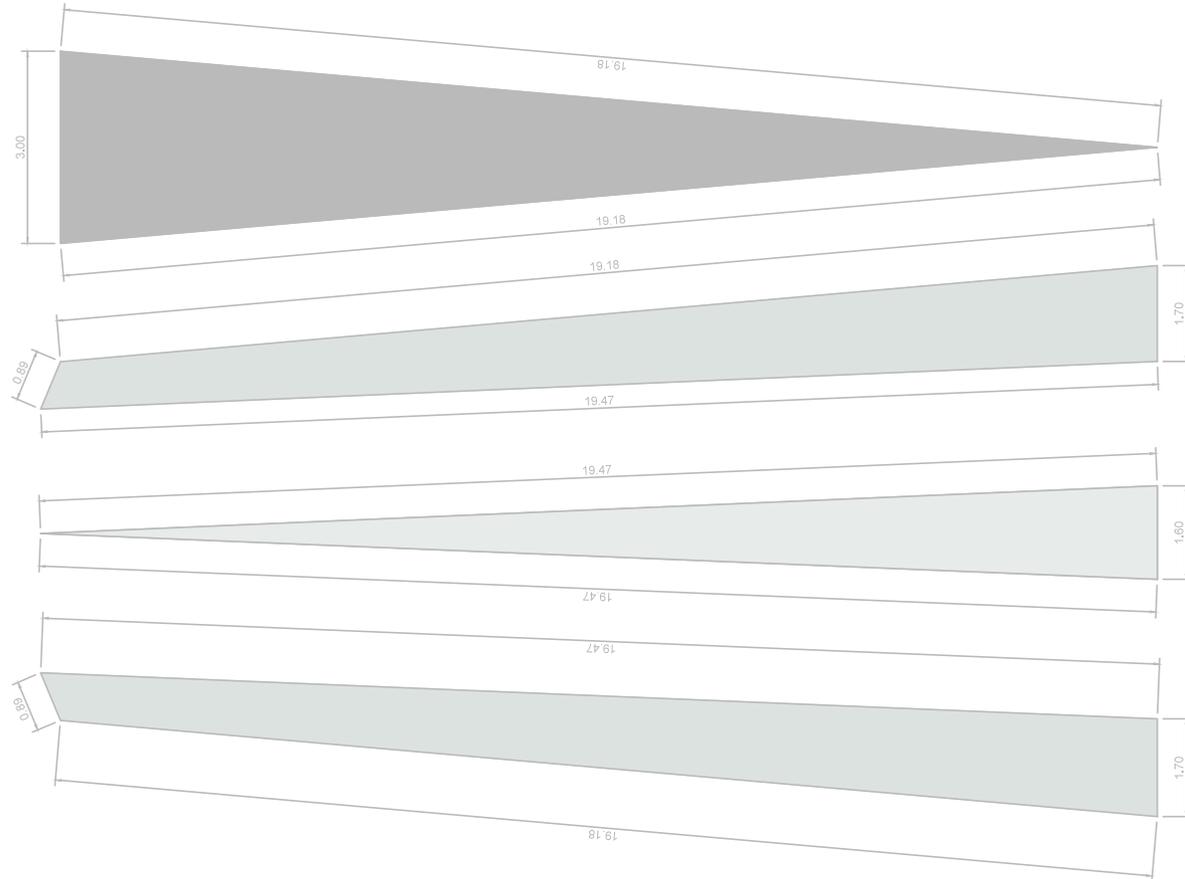


Fig.3.20 Despiece del módulo de cubierta, Tipo C

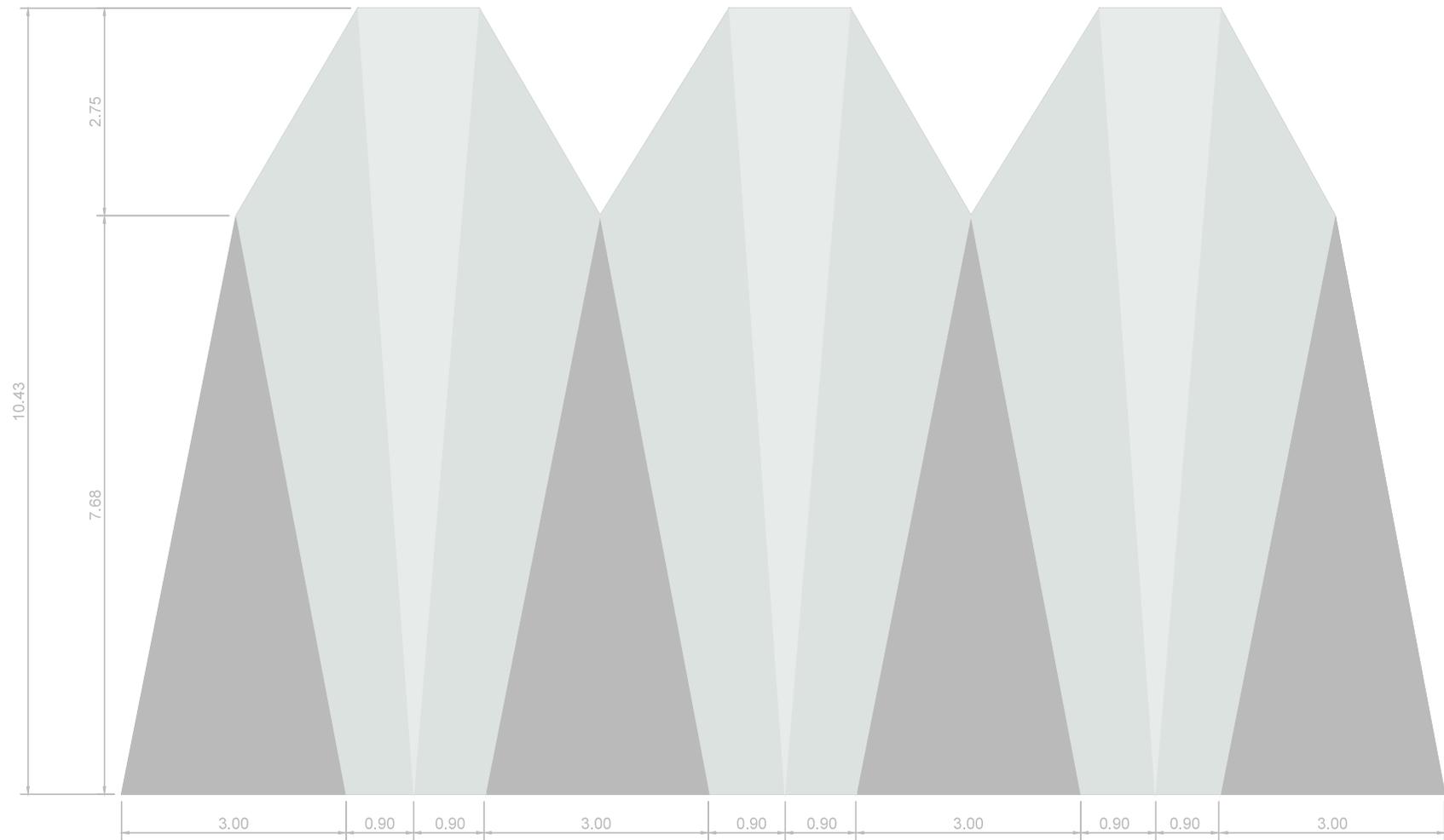


Fig.3.21 Reinterpretación en alzado de la lámina plegada, Tipo C

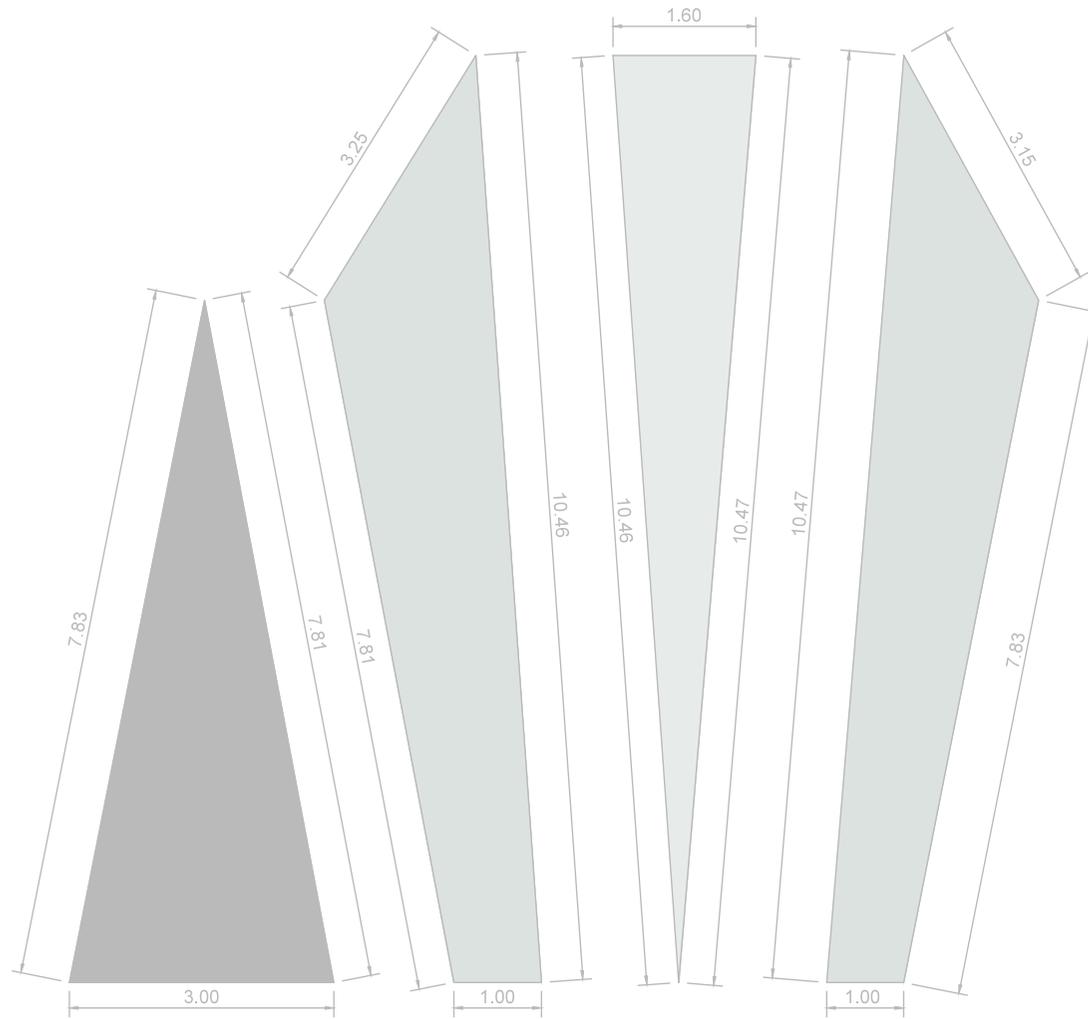


Fig.3.22 Despiece del módulo en alzado, Tipo C



Fig.3.23 Reinterpretación en sección de la lámina plegada, Tipo C

3.2.3 Evaluación y asignación de cargas

Una vez realizado el modelo estructural, se procede a la evaluación y posterior asignación de cargas, es decir, se analizan de forma intuitiva y aproximada las cargas a las que podría estar sometida la estructura real. Dicha evaluación se efectúa de acuerdo a lo establecido en el Documento Básico de Seguridad Estructural Acciones en la Edificación (DB-SE-AE), incluido en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Para la evaluación de cargas, se realiza una distinción entre las cargas de carácter permanente, como el peso propio o las cargas muertas permanentes, y las cargas de carácter variable, como las sobrecargas de uso, nieve y viento. Sin embargo, no se han considerado las acciones térmicas sobre la estructura, pues esta dispone de mecanismos que permitan la variación dimensional a causa de cambios de humedad y temperatura. También quedan excluidas para el análisis estructural las acciones accidentales, es decir, sismo, impacto e incendio.

Por último, cabe mencionar que los pesos propios de los elementos estructurales ya los tiene en cuenta la herramienta informática a la hora de realizar el cálculo, por lo que no es necesario evaluar estas acciones.

- **CARGAS PERMANENTES**

- A) Peso Propio (PP)**

- De todos los elementos estructurales, lo asigna Architrave de acuerdo al material asignado. En este caso asignamos como material hormigón para toda la forma de las láminas plegadas de 10cm de espesor, al HA-25, material que tiene el peso específico de 19 kN/m^3 .

- B) Cargas muertas permanentes (CMP)**

- No se considera el peso de ningún elemento. Se desprecian las cargas relativas a la iluminación y otros elementos en las láminas de cubierta, además de ello consideramos que el material de hormigón armado no incluye ningún tipo de revestimiento de protección.

• **CARGAS VARIABLES**

Para la evaluación de cargas consideraremos las siguientes:

A) Sobrecargas de uso (SCU)

Según el apartado 3.1 Sobrecargas de uso del CTE, las láminas que configuran la cubierta pertenecen a la categoría y subcategoría de uso G1, inclinación inferior a 20°, la carga a aplicar es de 1 KN/m² como carga relativa al mantenimiento de la cubierta.

$$SCU = 1 \text{ KN/m}^2$$

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁸⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

tab. 1 tabla sobrecarga de uso

B) Sobrecarga de nieve (SCN)

Según el apartado 3.8 Sobrecargas de nieve del CTE, por estar en la zona de valencia se nos asigna la carga de 0,2 KN/m², sin embargo la consideraremos como despreciable ya que la carga de uso es mayor.

SCN = 0,2 KN/m²

Tabla 3.8 Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

Capital	Altitud m	s _k kN/m ²	Capital	Altitud m	s _k kN/m ²	Capital	Altitud m	s _k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / <i>Alacant</i>	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,2	SanSebas- tián/ <i>Donostia</i>	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,7	Santander	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	0,4	Santander	1.000	0,7
Barcelona	0	0,2	Lérida / <i>Lleida</i>	150	1,2	Segovia	10	0,7
Bilbao / <i>Bilbo</i>	0	0,4	Logroño	380	0,5	Sevilla	1.090	0,2
Burgos	860	0,3	Lugo	470	0,6	Soria	0	0,9
Cáceres	440	0,6	Madrid	660	0,7	Tarragona	0	0,4
Cádiz	0	0,4	Málaga	0	0,6	Tenerife	950	0,2
Castellón	0	0,2	Murcia	0	0,2	Teruel	550	0,9
Ciudad Real	640	0,2	Orense / <i>Ourense</i>	130	0,2	Toledo	0	0,5
Córdoba	100	0,6	Oviedo	230	0,4	Valencia/ <i>València</i>	690	0,2
Coruña / <i>A Coruña</i>	0	0,2	Palencia	740	0,5	Valladolid	520	0,4
Cuenca	1.010	0,3	Palma de Mallorca	0	0,4	Vitoria / <i>Gasteiz</i>	650	0,7
Gerona / <i>Girona</i>	70	1,0	Palmas, Las	0	0,2	Zamora	210	0,4
Granada	690	0,4	Pamplona/ <i>Iruña</i>	450	0,2	Zaragoza	0	0,5
		0,5			0,7	Ceuta y Melilla		0,2

tab. 2 sobrecarga de nieve en Valencia

C) Sobrecarga de viento (SCV)

La acción del viento, determina lo que se expone en la siguiente tabla Por lo tanto, se calcula con la siguiente expresión:

$$q_n = q_b * C_e * C_p$$

Q_b: la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 0,5 KN/m². Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anexo D, en función del emplazamiento geográfico de la obra.

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

C_p: el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión

De acuerdo a lo visto por el CTE, la presión dinámica del viento de forma simplificada se toma 0,5 KN/m². El coeficiente de exposición, que depende de la altura del punto considerado y del entorno donde se ubica el edificio, se determina con el apartado 3.4 (tab.4). El edificio se encuentra en una zona urbana, por lo que se corresponde a un grado de aspereza IV. En cuanto a la altura, lo consideraremos con el valor de 6m, con lo cual obtenemos un coeficiente del 1,4 . Por último, se calcula el coeficiente eólico de presión, despreciando los efectos de succión, con el apartado 3.5 (tab.5) resultando un valor de C_p de 0,7. En resumen el valor de la sobrecarga de viento resulta:

$$q_n = 0,5 * 1,4 * 0,7 = 0,49 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{SCV} = 0,5 \text{ KN/m}^2.$$

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

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

tab. 4 Coeficiente de exposición

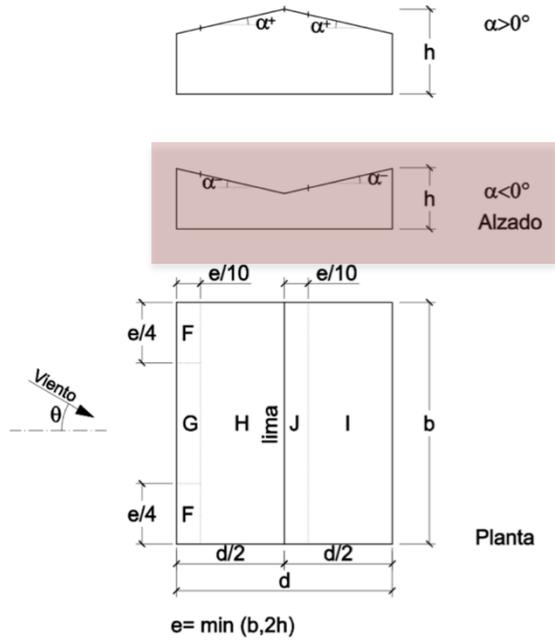
Tabla 3.5. Coeficiente eólico en edificios de pisos

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coficiente eólico de presión, c _p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coficiente eólico de succión, c _s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

tab. 5 Coeficiente eólico

Tabla D.6 Cubiertas a dos aguas

a) Dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$



tab. 6 Coeficiente de presión interior

Tabla 3.6 Coeficientes de presión interior

Esbeltez en el plano paralelo al viento	Área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del edificio										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
≤ 1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5
≥ 4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	≥ 10	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	≤ 1	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	≤ 1	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤ 1	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
-5°	≥ 10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	0,2	0,2
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
15°	≥ 10	-2,5	-2	-1,2	0,2	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
30°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
45°	≥ 10	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
60°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
75°	≥ 10	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
80°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
85°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
90°	≥ 10	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
95°	≥ 10	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

tab. 7 Dirección de viento

En resumen el valor de la sobrecarga de viento sobre la cubierta resulta:

SCV = 0,5 KN/m2.

3.2.4 Resumen de cargas

CARGAS PERMANENTES		
Peso propio hormigón		19 KN/M²
CARGAS VARIABLES		
Sobrecarga de uso		1 KN/M²
Sobrecarga de viento	Cubierta	0,5 KN/M²
	Paramentos	0,5 KN/M²
Sobrecarga de nieve		0,2 KN/M²

3.3 COMPORTAMIENTO GLOBAL DE LA ESTRUCTURA

En este apartado se aborda el análisis de la estructura en su conjunto. Se intenta obtener unas conclusiones a partir del modelo realizado con elementos finitos, para conocer el efecto en el comportamiento de la estructura frente a las cargas de servicio y su propio peso, considerar que estos tipos de carga lo hemos aplicado sobre la cubierta en voladizo, como una carga lineal y uniformemente distribuida.

3.3.1 COMBINACIÓN E HIPÓTESIS DE CARGAS : Tipo C

a) ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO

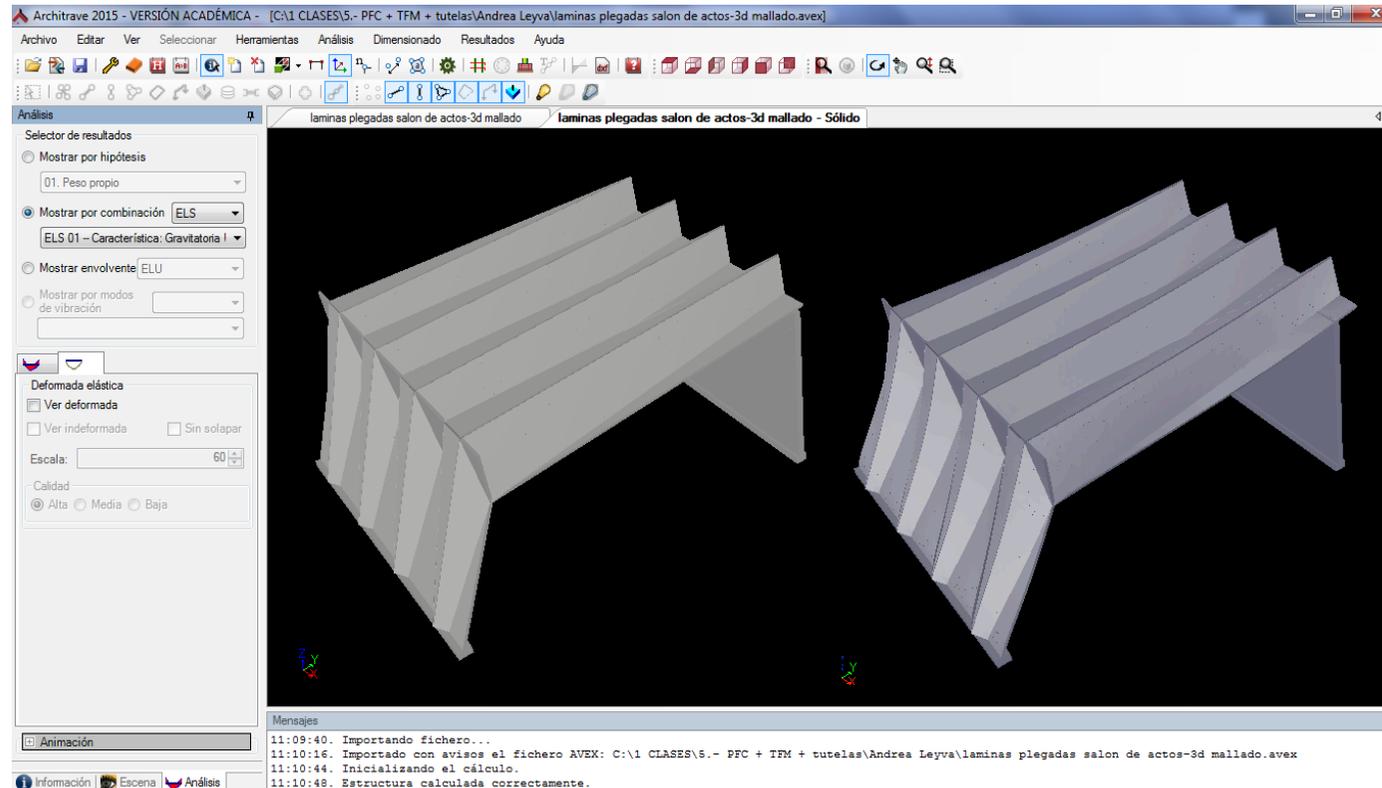


Fig.3.24 Geometría inicial y deformada

El gráfico muestra la deformada de las láminas plegadas frente a las cargas gravitatorias.

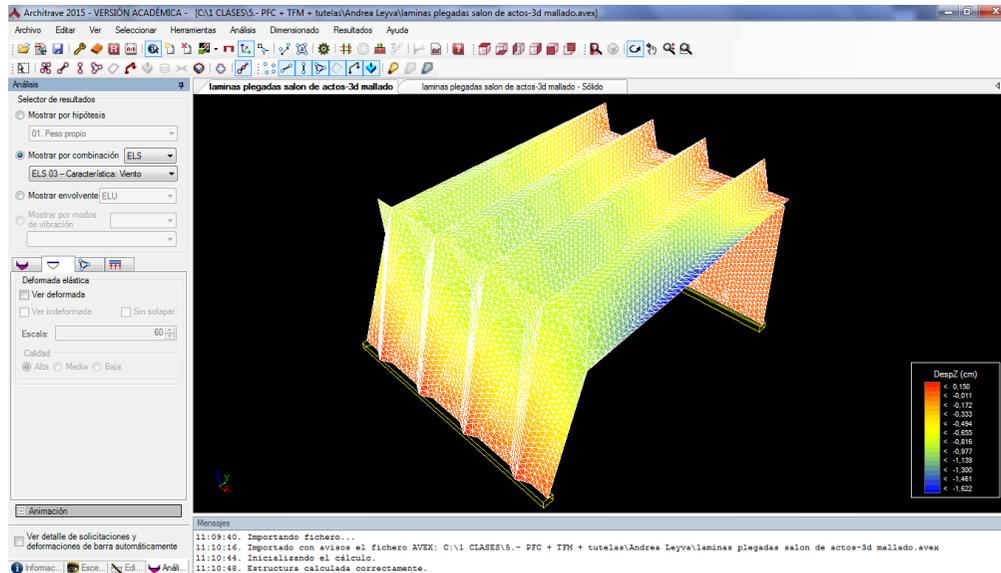


Fig.3.25 Desplazamientos verticales

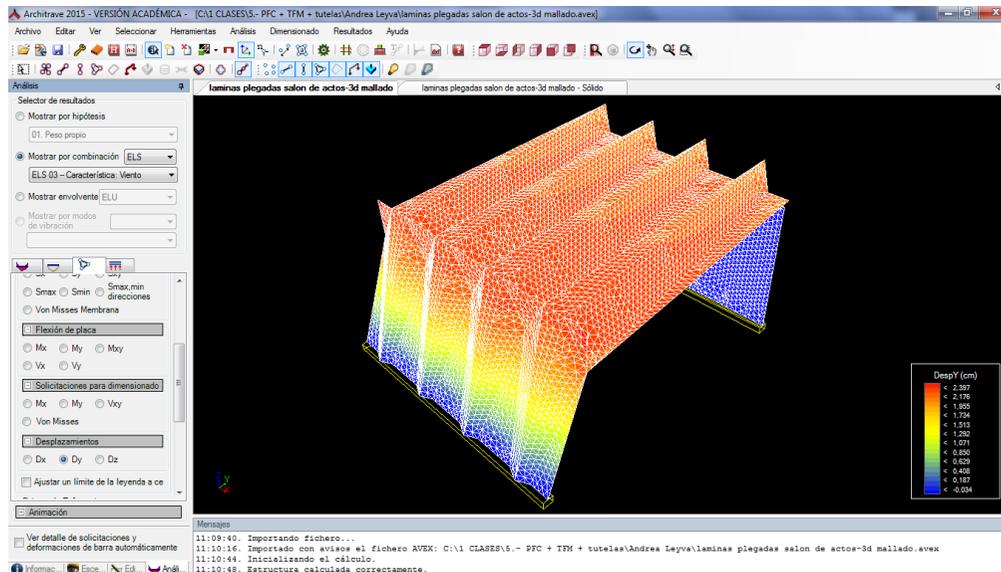
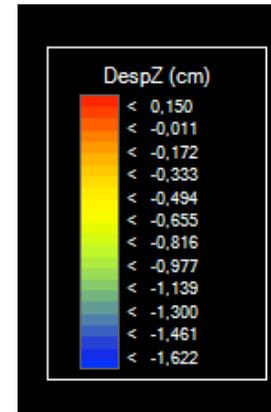
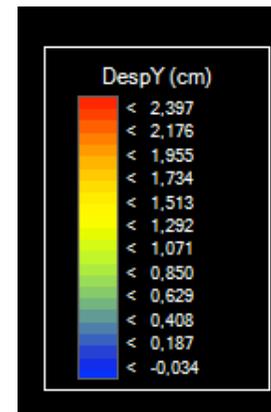
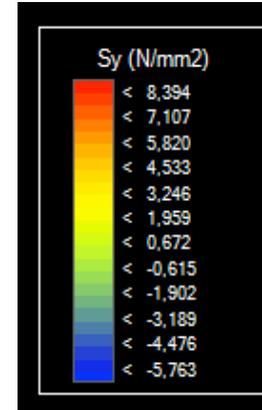
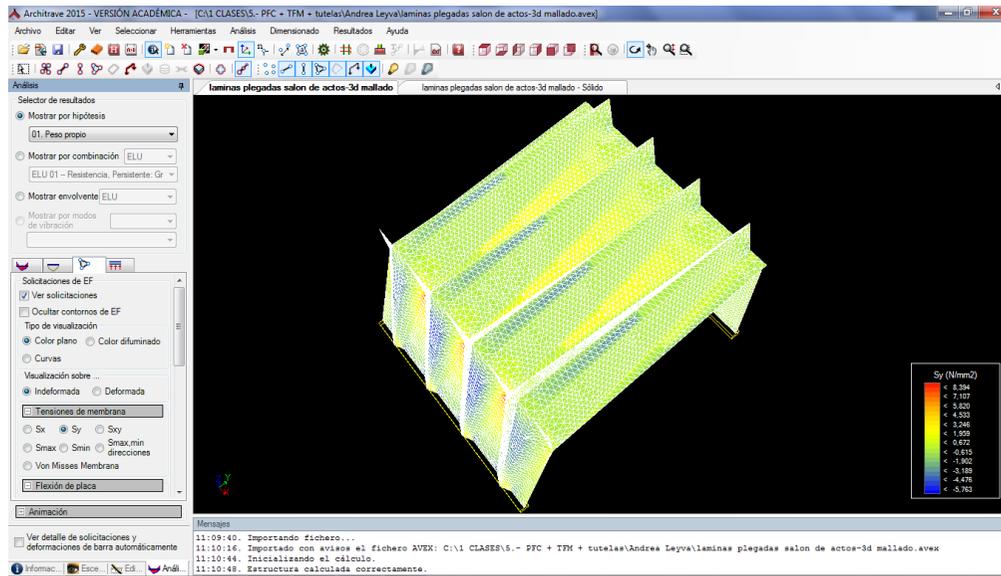


Fig.3.26 Desplazamientos horizontales



El mapa de colores que representa los desplazamientos verticales, muestra que la disposición obtenida por las láminas plegadas funcionan a modo de pórticos, manteniendo de este modo suficientemente rígidos en su plano para poder considerarlo indesplazables. El máximo desplazamiento vertical es de un 1,622 cm y lo obtenemos en el extremo al no tener continuidad, considerando esta cifra considerablemente despreciable. 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.

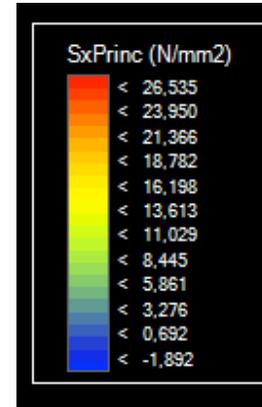
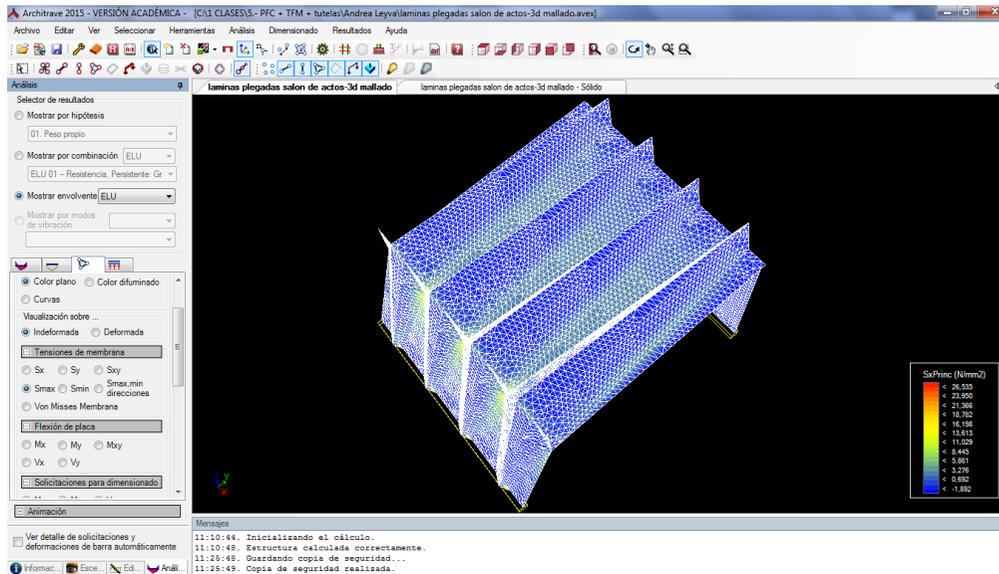
b) Peso propio (HIP 1)



Tensiones normales. En la cubierta se ven tensiones negativas (compresión en las aristas superiores) y positiva (tracción) en las inferiores. Como ocurre a flexión en las vigas biapoyadas.

Fig.3.27 Peso propio – Hipótesis 1

c) E. L. ÚLTIMO: COMBINACIONES UTILIZADAS



El mapa de colores que representa las tensiones principales Sx demuestra que el módulo se encuentra en su mayoría en compresión. Mientras que en tensiones principales Sy se ven tensiones negativas, compresión en las limatesa de las láminas plegadas y positiva en las limahoya.

Fig.3.28 Tensiones principales Sx

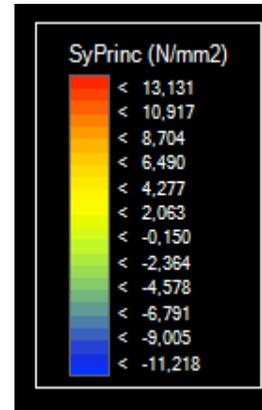
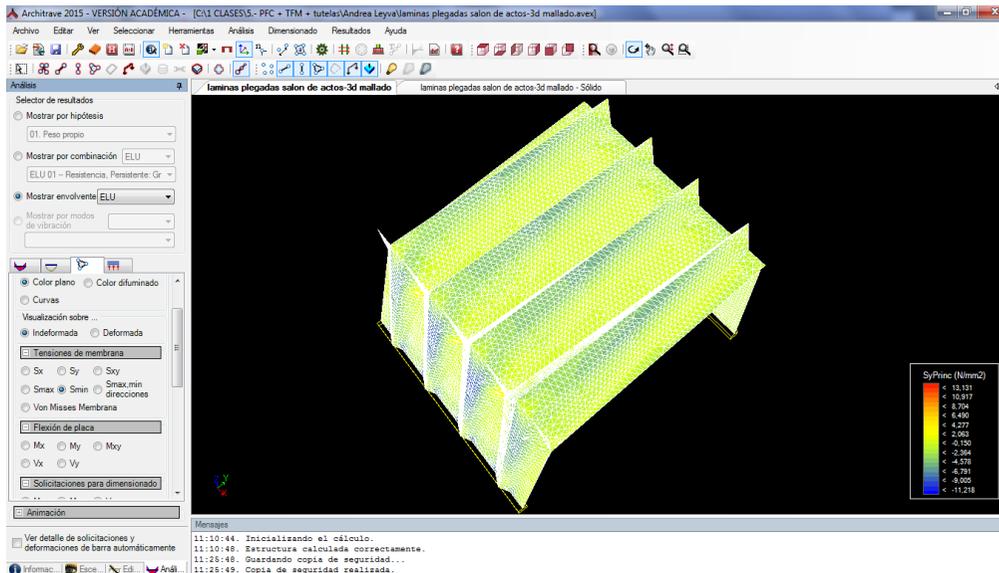


Fig.3.29 Tensiones principales Sy

4.- CONCLUSIONES

A la vista del estudio de la documentación recopilada podemos resaltar:

- Azpiazu no solo dio una buena respuesta funcional a su planteamiento dentro de la edificación. Para él lo más importante fue la creatividad, que viene de la mano de la imaginación y la inspiración, de modo que sus estructuras



Fig.4.1 Vista superior de láminas plegadas en auditorio.

Hogar y arquitectura : revista bimestral de la Obra Sindical del Hogar, n° 83,p. 48, 1969

evoquen emoción estética de modo conceptual. Marcando con ello una pauta arquitectónica mucho más innovadora al acostumbrado clasicismo arquitectónico que se estilaba por la época franquista, sin duda marcó un hito dentro de la comunidad Valenciana ya que forma parte de tan sólo dos representaciones de las láminas plegadas, contando a la iglesia de San Nicolás en Gandía.

- El I.E.S Sorolla se trata de un edificio con integración urbana, que muestra otorga una proporcionalidad adecuada al área urbana en la que se encuentra emplazada. La edificación gira buscando el asoleamiento y ventilación, generando espacios públicos internos con un óptimo confort térmico.

- El edificio cuenta además un lenguaje arquitectónico impecable del que cabe destacar lo novedoso en cuanto a rotundidad del volumen y la armonía entre lo escultural de las láminas plegadas y la ortogonalidad de las aulas. De este modo el propio edificio ejerce de reclamo dentro de su entorno.

LESIÓN (origen)	1.2 ENSUCIAMIENTO FÍSICO: Asunción de partículas "sucias" en la fachada. Puede ocurrir a través de tres fenómenos: por depósito, por lavado diferencial o por acciones externas.			TOMA DE DATOS
	SÍNTOMA	LOCALIZACIÓN	CAUSA/PROCESO	
Por depósito **	Manchas generalizadas en los paramentos	Muros de fachadas	Depósito por gravedad. En este caso las fachadas presentan ensuciamiento general por depósito de polvo, ya que tiene una superficie corrugada que favorece a dicha acumulación, además de la falta de mantenimiento.	
Acciones externas ***	Vandalismo	Cara exterior fachadas en zonas más expuestas al tránsito peatonal.	Realización de grafitis sobre las fachadas. Esta representa la patología más generalizada en la edificación.	

Fig.4.2 Ficha de lesiones.

- Por otro lado respecto a su estado actual, hemos elaborado una serie de fichas con la catalogación de “lesiones” o “patologías”, como muestra la Fig.4.2, a fin de identificar las mismas en las fachadas. Con lo cual podemos deducir que pese a contar con más de 50 años desde su ejecución, es claro que no ha recibido mantenimiento aparente, además de albergar a más alumnado del originalmente previsto, por ende es considerable que haya surgido un deterioro más por el uso del mismo, que por problemas en la composición estructural del edificio. Particularmente las láminas plegadas de hormigón armado, presentan generalmente lesiones por acciones externas de vandalismo, en este caso corresponden a Grafitis, ensuciamiento y alguna reacción química puntual en un caso de corrosión de la armadura, lesiones que al no otorgársele gravedad, manifiestan una buena ejecución del proyecto y de funcionamiento, ya que no han manifestado daños estructurales sino solo superficiales.

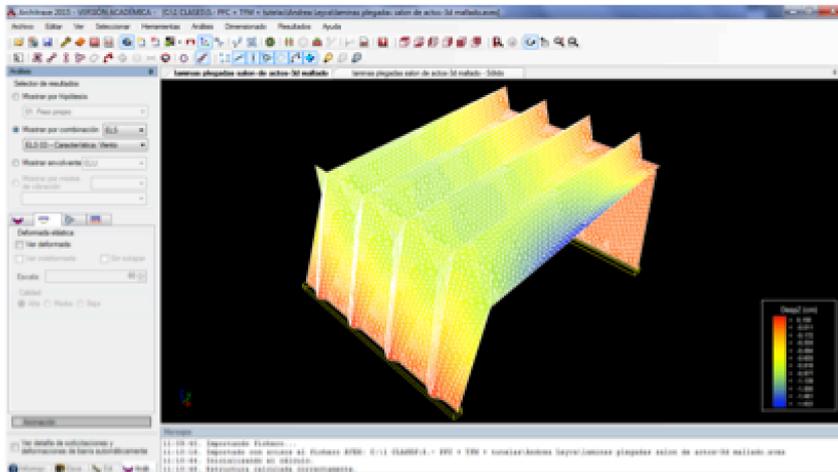


Fig.4.3 Mapa de colores mediante E.F

- A nivel estructural, tal como mostramos en la Fig.4.3, hemos reinterpretado los planos originales, y realizado un análisis realizado mediante un modelo de E.F. y cálculo por ordenador.
- El comportamiento resistente de la cubierta es el siguiente: las láminas trabajan frente a la flexión y evitan los efectos de inestabilidad. El apoyo de las láminas es rígido en un lado y en el otro sobre una doble articulación que lo libera del desplazamiento horizontal, simplificando el cálculo y absorbiendo las deformaciones por temperatura o diferidas.
- Se han ha elaborado dos modelos de E. F. Uno que reproduce la estructura realmente construida incluyendo las láminas. Se han obtenido resultados para las distintas combinaciones de cargas.
- Las tensiones teniendo en cuenta la combinación de cargas más desfavorable se encuentran muy alejadas de la capacidad resistente de los materiales.

5.- BIBLIOGRAFÍA

- Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Burgos, 7-9 junio 2007.
- Arnau, Fernando (2014). La iglesia de San Nicolás en el Gau de Gandía: estudio histórico y estructural. Trabajo final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Azpiazu Ordóñez, J. (1971). Experiencias adquiridas a través del proyecto arquitectónico, dirección de obra y construcción de cubiertas laminares. Informes de la Construcción, 24(233), pp. 41-50
- Azpiazu Ordóñez, J. (1973). Dos núcleos residenciales – España. Informes de la Construcción, 26(256), pp. 35-43
- Azpiazu Ordóñez, J., González de Riancho, J., Domínguez, G. and Buzón, R. (1991). Dos obras del arquitecto Azpiazu - España. Informes de la Construcción, 42(412), pp.41-47.
- Baldanta Callejo, Cristina (2015) Análisis estructura de la cubierta del pabellón de cocinas de la Universidad laboral de Tarragona. Trabajo final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Cassinello, P. (2010). Félix Candela. Centenario / Centenary. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid and Fundación Juanelo Turriano.
- Cassinello, P. (2013). La evolución de las estructuras laminares; innovaciones de Ildefonso Sánchez del Río Informes de la Construcción; Vol 65, No 530.
- Colomer Sendra, V. (2002) Registro de arquitectura del S. XX : Comunidad Valenciana. Tomo 1. Valencia: Colegio Oficial de Arquitectos de la Comunidad Valenciana
- Código Técnico de la Edificación (CTE) Seguridad estructural acciones en la edificación (SE-AE). 2009
- De la Mora, E., Azpiazu J.R., Candela, F. (1966) Santuario de Nuestra Señora de Guadalupe en Madrid. *Hogar y Arquitectura*, 64, 22-29
- Eric M. Hines and David P. Billington (1963) Anton Tedesko and the Introduction of thin Shell Concrete Roofs in the United States
- Guía para la inspección y evaluación preliminar de estructuras de hormigón en edificios existentes (2006). Valencia: Instituto Valenciano de la Edificación.
- Guía de arquitectura de Valencia (2007). Valencia: Colegio territorial de Arquitectos de Valencia.
- Hines, E. and Billington, D. (2004). "Anton Tedesko and the Introduction of Thin Shell Concrete Roofs in the United States." *J. Struct. Eng.*, 10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:11(1639), 1639-1650.
- Hogar y arquitectura : revista bimestral de la Obra Sindical del Hogar, nº 83: 44-55
- Instituto Sorolla, Valencia (España) Informes de la Construcción Vol. 22, nº 211 Junio de 1969
- Josep Fabra Abella (2012) The Algeciras Market Hall in the work of Eduardo Torroja. Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya
- Registro Docomomo Ibérico (2010), Equipamientos I Lugares públicos y nuevos programas, 1925-1965. Barcelona : Fundación Caja de Arquitectos.
- S.N. Krivoshapko, C.A. Bock and I.A. Mamieva, "Chronology of Erection of the Earliest reinforced concrete shells" International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, vol. 18(2), pp. 95-108, 2014
- H. Matthews, Félix Candela: engineer, builder, structural artist by Maria E. Moreyra Garlock & David Billington The Art Book. Wiley-Blackwell, vol. 16(3), pp. 66-68(3), 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8357.2009.01046_2.x

- Martínez Marcos, Amaya, Solaguren - Beascoa De Corral, Félix ; Rovira, Teresa (Rovira Llobera) ; **Modernidad y vigencia en la arquitectura escolar de Barcelona y Valencia (1956-1968)**, Universitat Politècnica De Catalunya. Departament De Projectes Arquitectònics, 2016
- Martínez Marcos, Valores Modernos en la arquitectura docente Valencia, tres Colegios: Guadalaviar, Alemán y Pureza, Amaya, Tesina Final de Máster Curso 2006-2007
- R. García, Dos décadas de estructuras plegadas de hormigón. Inicio y ocaso de un movimiento Two decades of concrete folded plate construction. Beginning and end of a movement. Informes de la Construcción, Vol 65, nº 529 (2013), 27-39 / doi: 10.3989/ic.11.083
- UNE 41805-1 IN. Informe UNE: Diagnóstico de edificios. Mayo 2009.

PAGINAS WEB

- La evolución de las estructuras laminares; innovaciones de Ildelfonso Sánchez del Río Informes de la Construcción.
http://www.arquitecturaeindustria.org/bd/articulo.php?id_art=1323
- José Ramón Azpiazu.(2016). <http://www.urbipedia.org>
- <http://hemeroteca.abc.es/detalle.stm>
- <http://www.mecd.gob.es/dctm/revista-de-educacion/1975-240/1975re240estudios11.pdf?documentId=0901e72b818204fe>
- http://oa.upm.es/14931/1/pdf_plegadas_España.pdf
- <https://es.scribd.com/document/69891526/Plegaduras-PDF-Ghm>