

EL PENSAMIENTO ESTRUCTURAL EN EL PROCESO DE DISEÑO

Arquitecta Sara Gonorazky Steren

Especialista en Docencia Universitaria.

Córdoba

Profesora Titular Estructuras II B - Diseño de Estructuras de Grandes Luces

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Córdoba.

Arquitecta Maria del Carmen Fernández Saiz

Córdoba

Profesora Adjunta Arquitectura VI - Asesor Diseño Estructural

Profesora Asistente Estructuras de Grandes Luces.

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Córdoba.

Ingeniera Civil Silvina Inés Prados

Córdoba

Profesora Adjunta Estructuras II B

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Córdoba.

Resumen

El presente trabajo plantea la dialéctica que se pretende transferir al futuro profesional arquitecto en la comprensión del protagonismo estructural a partir del estudio cualitativo de obras relevantes y en la transferencia al propio proceso creativo, graduando las complejidades funcionales con las estructurales.

La arquitectura es un producto cultural caracterizado por su complejidad. En ella interactúan entre otras, condicionantes como: función, capacidad resistente y valor estético o morfológico. Toda elección en uno de estos campos compromete el resultado final, de ahí la importancia en la incorporación de la variable estructural desde el inicio del proceso proyectual.

Iniciamos el proceso de enseñanza en el tercer nivel de la carrera y continúa en materias electivas. Consiste en el análisis crítico del esquema estructural en el contexto de una obra de arquitectura, para luego establecer criterios de diseño que se aplicarán en el proyecto de una tipología arquitectónica desarrollando un mecanismo estructural eficiente y compatible con el partido arquitectónico. Incorpora la utilización de softwares accesibles para predimensionar la estructura y el estudio de detalles que posibiliten la materialización de la obra. Se espera lograr en el ejercicio profesional una fluida comunicación con el ingeniero o arquitecto a cargo del desarrollo del diseño estructural.

Abstract

This paper presents the dialectic intended to be transferred to the future professional architect in the understanding of the role played by the structural system, based on a qualitative study of relevant projects and in the transference to the creative process itself, graduating the functional complexities with the structural complexities.

Architecture is a cultural product characterized by its complexity. Many conditioning factors such as function, strength capacity, aesthetics and morphological value interact in it.

The teaching process is initiated in the third course of the career and continues on selective fields of study. It consists of the critical analysis of the structural scheme understood within the context of an architectural project, with the objective of establishing design criterion that will be used to obtain an efficient structural mechanism compatible with the architectural package.

The teaching process incorporates the use of software in order to pre-dimension the structure, and it incorporates also the study of details that will make the materialization of the project possible. The achievement of a fluid communication with the engineer or architect responsible for the structural project is expected.

Introducción

En este trabajo se relata la propuesta del proceso enseñanza-aprendizaje que desde nuestras cátedras de Estructuras encaramos en la Facultad de Arquitectura de la UNC.

Sostenemos que el proceso proyectual es un proceso de integración de diversos conocimientos en el que una de las variables a considerar es el diseño de la estructura. Variable que puede ser generadora de espacios, definiendo la escala, modulando la luz, proponiendo un lenguaje o erigirse como hecho escultórico, etc.

Es un proceso evolutivo, no lineal, que comienza con croquis volumétricos, esquemas funcionales y estructurales y puede sufrir ajustes, idas y vueltas, como cualquier otro. Cada paso, aún aquellos que parecen improductivos, es informativo y contribuye al avance en los siguientes. De ninguna manera la estructura puede ser ignorada o impuesta al final del proceso proyectual.

Las vías de acceso al diseño arquitectónico y al estructural en particular son variadas. La experiencia que relatamos a continuación es la que venimos desarrollando desde hace varios años y que, como todo proceso, sufre modificaciones y adaptaciones según los conocimientos y aptitudes que los alumnos muestran y que cambia según las cohortes anuales que acceden a estos niveles.

Se describen los trabajos que realizan los alumnos, proponiendo un correlato en el nivel 3 (Estructuras II) y el nivel 5 (Estructuras de Grandes Luces)

1. Reconocimiento de la variable Tecnológica-Estructural en el proceso de Diseño

✓ Análisis de obras construidas

El objetivo es que el alumno comprenda el mecanismo estructural en el contexto de la obra de arquitectura y el reconocimiento de la variable tecnológica y las distintas ponderaciones en relación a la idea generadora del proyecto.

Reconocer el mecanismo estructural es detectar el conjunto de elementos estructurales del edificio que permiten la materialización del mismo. Abarca la enumeración o selección de los necesarios y diferentes componentes de la estructura. Involucra el diseño y disposición de los planos resistentes tanto verticales como horizontales, su ubicación, dimensiones, forma y materiales determinados de manera de cumplir adecuadamente con requisitos tales como: estabilidad, rigidez, resistencia, proporciones adecuadas acorde a condicionantes funcionales, morfológicas, constructibilidad, etc.

Para los alumnos del tercer año de la carrera (Estructuras II), las obras a estudiar son seleccionadas por el equipo docente, graduando la complejidad de las mismas y circunscriptas para la temática de reticulados.

En base a las piezas gráficas entregadas, los grupos de trabajo profundizan la búsqueda de antecedentes y realizan un análisis gráfico que es expuesto en paneles para todos los integrantes de cada comisión.

Para comprender la tridimensionalidad de la obra y la estabilidad espacial del conjunto, los alumnos trabajan con maquetas de estudio.

La modalidad adoptada de “crítica colectiva”, consiste en una breve explicación por parte de los alumnos de la tarea realizada con conducción docente. Se evalúa la selección que realiza el grupo de las piezas gráficas que más acertadamente permiten conocer la obra, el comportamiento estructural e inferir los criterios de diseño adoptados por los proyectistas.

Los siguientes trabajos son muestra de lo expresado. (Fig. 1 a Fig. 7)

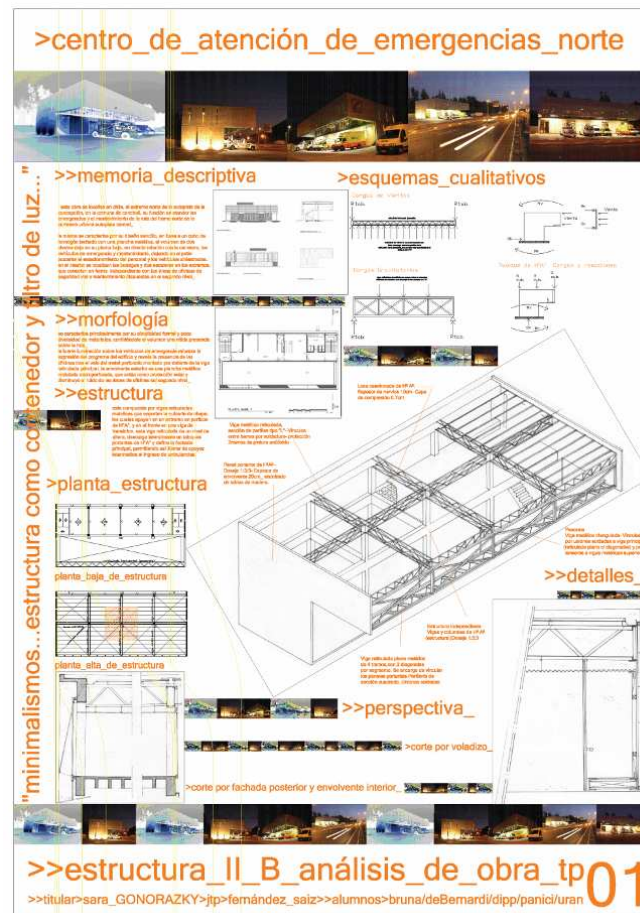


Fig. 1 Panel alumnos Estructuras II B - Centro de Atención de Emergencias (Chile)

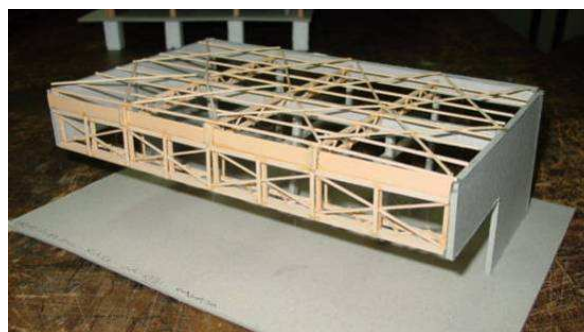


Fig. 2 Maqueta de la obra.

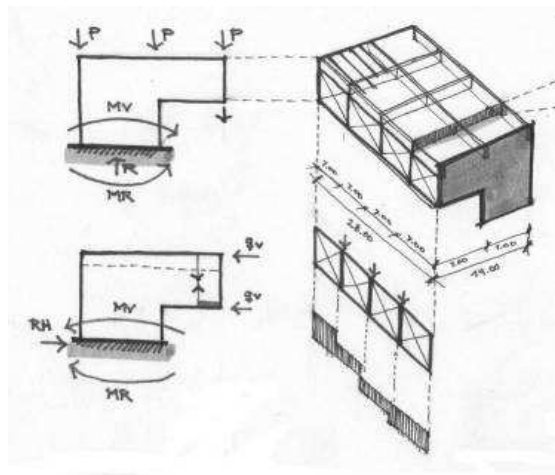


Fig. 3 Estudio del mecanismo estructural para acciones verticales y horizontales.

Los alumnos establecen relaciones entre luz a cubrir y altura del reticulado, variaciones de la geometría en función del diagrama de momento flector, diseño de los elementos estructurales según el tipo de sollicitación a que están sometidos, etc.

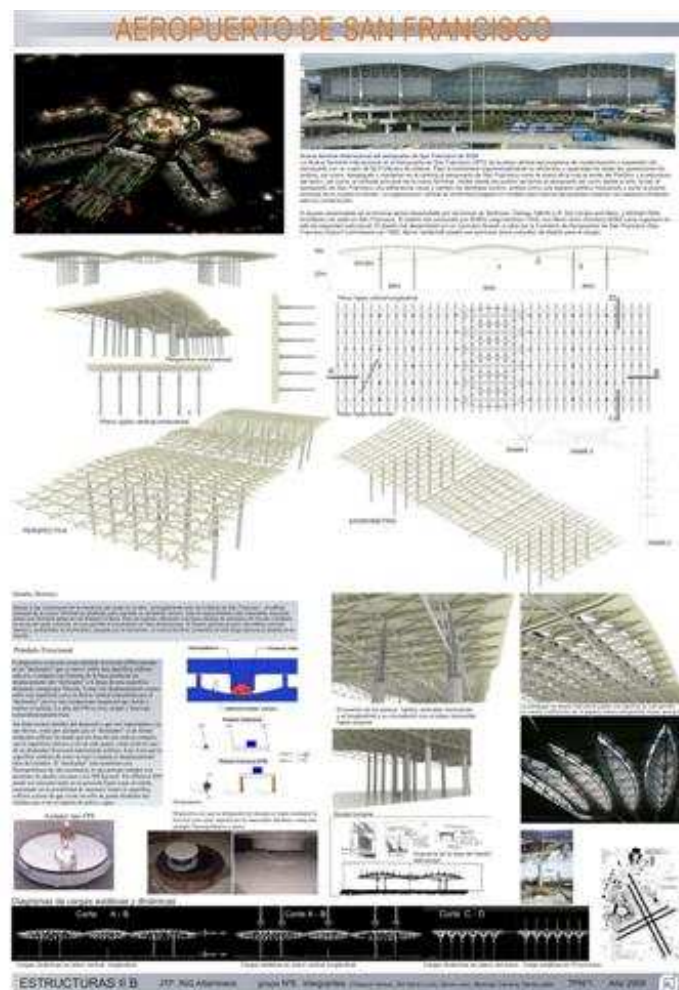


Fig.4 Panel alumnos Estructuras II B - Aeropuerto de San Francisco.

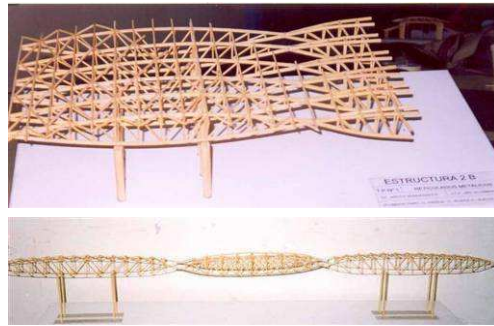


Fig. 5 Maquetas de la obra

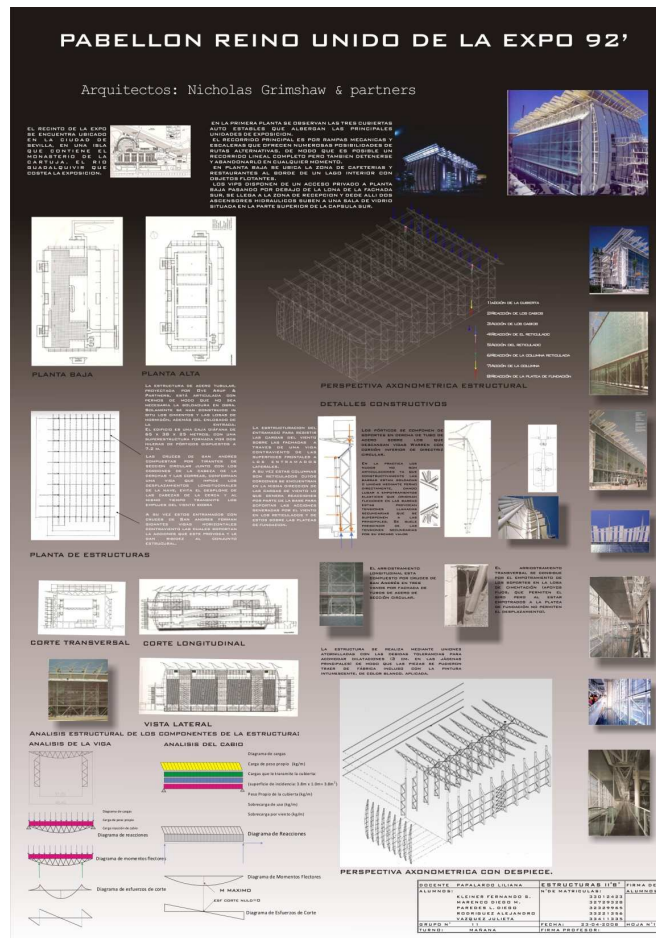


Fig. 6 Panel alumnos Estructuras II B - Pabellón Reino Unido- Expo Sevilla/92

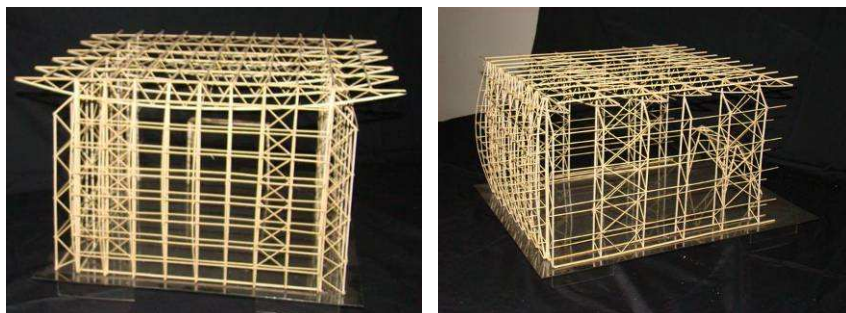


Fig. 7 Maquetas de la obra.

En la materia electiva Diseño de Estructuras de Grandes Luces, son los alumnos quienes seleccionan las obras a analizar. Pertenecen al quinto nivel y ya han completado los conocimientos estructurales de la currícula e incursionan en una materia electiva por propia decisión.

La formación que poseen les permite una investigación y análisis de la obra y su estructura con mayor profundidad. Entre los recursos con que cuenta nuestra Facultad están softwares específicos para la resolución de estructuras que permite realizar el modelado de la misma para la obtención de las principales solicitaciones y verificación de deformaciones y secciones.

Se presentan análisis de obras construidas realizados por alumnos en los que se pondera: la lectura de la obra, la obtención de detalles y medidas reales para realizar la maqueta de estudio, el modelado utilizando un software específico y la elaboración de conclusiones sobre el comportamiento estructural de los principales elementos.

- ✓ La Ciudad de las Ciencias, Valencia. Arquitecto Santiago Calatrava. (Fig. 8).

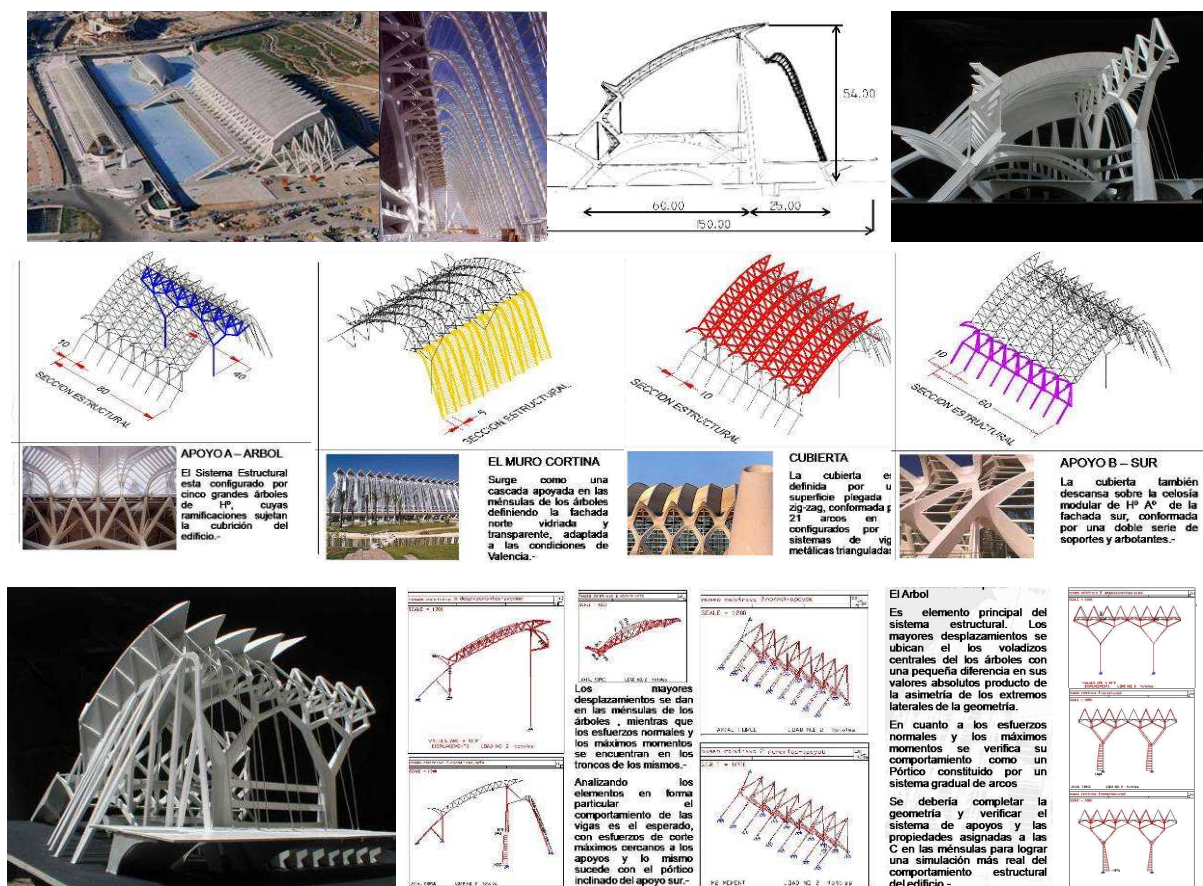


Fig. 8 Elementos del proceso de análisis de los alumnos sobre la Ciudad de la Ciencia de Calatrava.

- ✓ Aeropuerto de Kuala Lumpur, Malasia. Arquitecto Kisho Kurokawa. (Fig. 9)

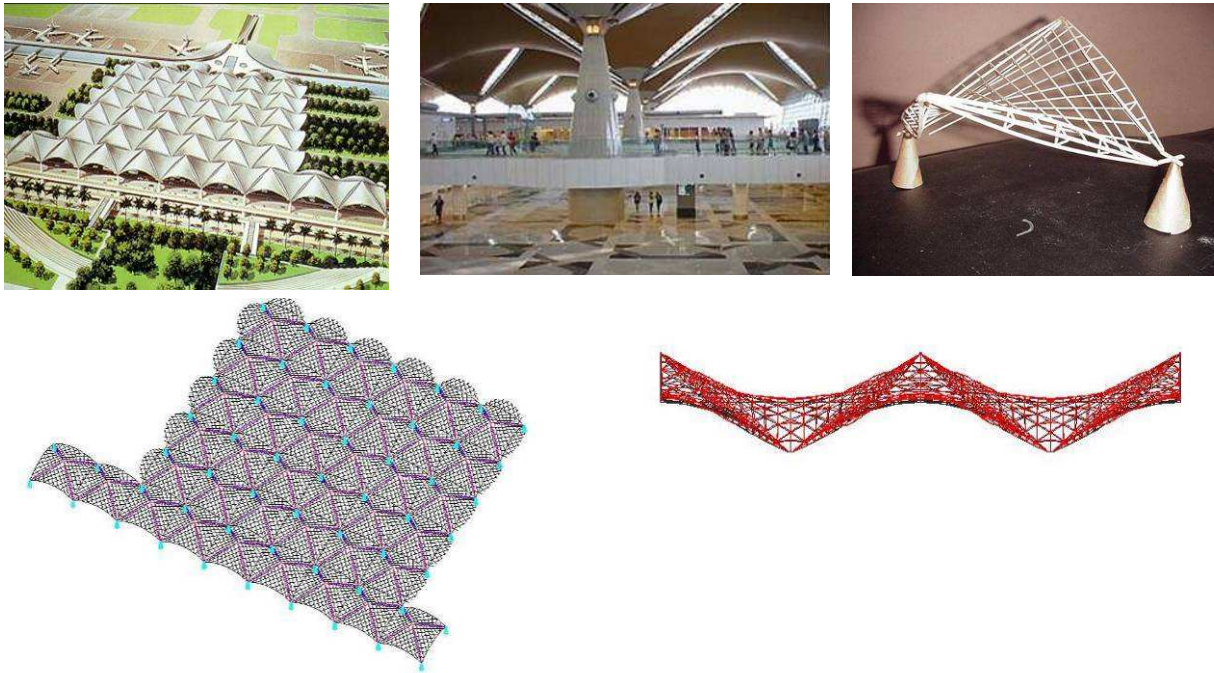


Fig.9 Análisis del Aeropuerto de Kuala Lumpur: Maqueta y modelación con estudio de los descensos, solicitaciones y reacciones de la estructura y su verificación.

- ✓ Sede del Parlamento de Escocia. Arqts. Miralles y Tagliabue. (Fig. 10)

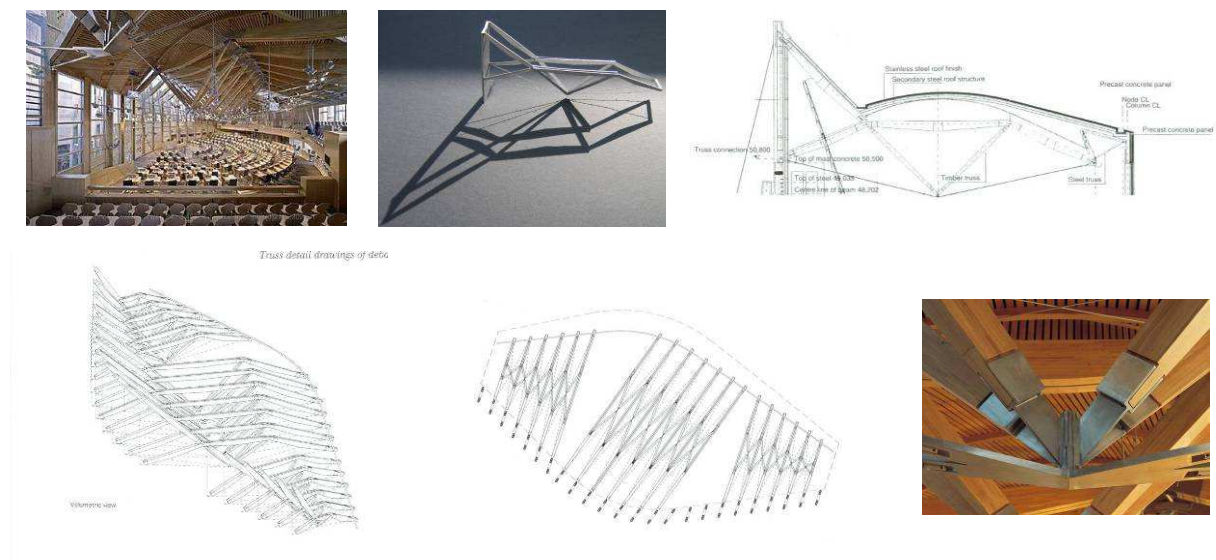


Fig. 10 Estudio de la sede del Parlamento de Escocia, de los arquitectos españoles Miralles y Tagliabue.

Es importante que los alumnos evalúen no sólo el comportamiento estructural sino las soluciones de los detalles constructivos en los que la creatividad está manifiesta. Tal es el caso de esta estructura (Fig. 10) que puede parecer simple, pero que encierra una original propuesta en la generación del espacio interior y un depurado estudio del detalle.

2. El pensamiento estructural en el proceso proyectual

- ✓ **Diseño de un objeto arquitectónico en el que la Estructura desempeñe un rol protagónico.**

En esta etapa se intenta estimular la capacidad creativa y que el alumno construya su propio proceso proyectual a partir del conocimiento de las cualidades de la forma y de los materiales incorporados durante la primera etapa, pero fundamentalmente también como ejercicio de transferencia de los conocimientos específicos que un arquitecto debe poseer en el campo estructural. Es decir, transferir los conceptos incorporados en el desarrollo de un ejercicio concreto y factible.

2. a. El proceso proyectual de alumnos del tercer año de la carrera, en la materia Estructuras II “B”

Se propone un ejercicio en el que el programa incluye la ubicación, el destino, la superficie y la tipología estructural y constructiva.

El proceso de diseño contempla las siguientes etapas no necesariamente correlativas.

- ✓ Análisis del sitio: conexiones, orientaciones, ejes principales, etc.
- ✓ Planteo de ideas de partido volumétricas considerando el impacto de la obra en el entorno.
- ✓ Propuesta de alternativas estructurales seleccionando la más adecuada para la materialización de la idea planteada.
- ✓ Diseño y dimensionado de los principales elementos como verificación de la transferencia de los contenidos propios de la materia.
- ✓ Estudio de los detalles constructivos, ya sea desde del punto de vista del diseño como también atendiendo las exigencias del proceso constructivo y montaje de la estructura.

El tema propuesto en el ciclo lectivo en curso (2008), fue el “Diseño de un salón de usos múltiples” en el terreno perteneciente al área deportiva de Ciudad Universitaria. Se debía proyectar un espacio multifunción que posibilite la realización de actividades tanto deportivas como sociales.

Se relata el proceso de dos grupos de alumnos destacando que con idénticas premisas y sitio, más la condicionante de la tipología estructural a utilizar (estructuras reticuladas), la respuesta de diseño es totalmente distinta.

Las piezas gráficas expuestas corresponden a los propios alumnos, observándose una notable heterogeneidad entre las capacidades de expresión en el nivel III de la carrera.

- Grupo 1 (Fig. 11 a Fig. 14)

Prisma rectangular elevado, definido por dos vigas reticuladas de gran altura, cuyos apoyos en “V” se generan como continuidad de las diagonales del reticulado.

1) Idea de partido. Primeros bosquejos. (Fig. 11)

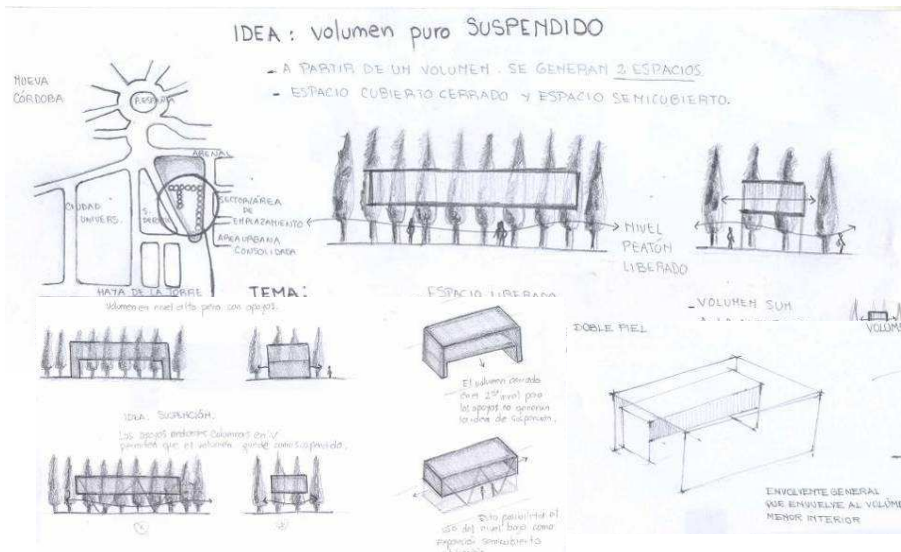


Fig. 11 Paneles elaborados por el grupo. Relación con el entorno. Prefiguraciones.

2) Planteo de la materialización estructural. Dialéctica imagen – comportamiento estructural. (Fig. 12)

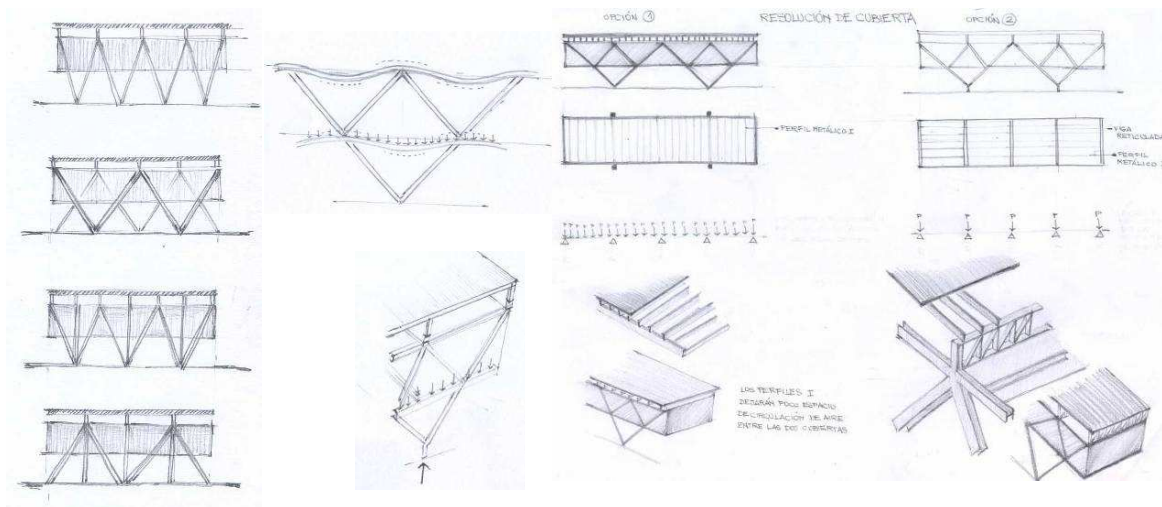


Fig. 12 Gráficos de alumnos. Estudio y definición geométrica de los planos resistentes.

3) Resolución estructural. (Fig. 13)

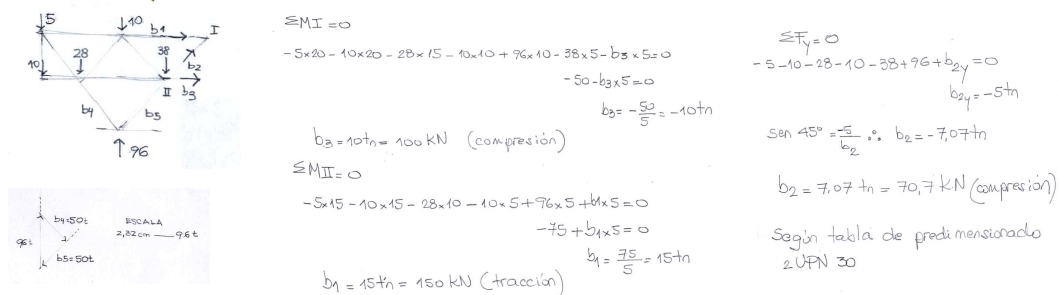


Fig. 13 Memoria de cálculo del reticulado principal.

4) Maqueta de estudio e Imágenes. (Fig. 14)

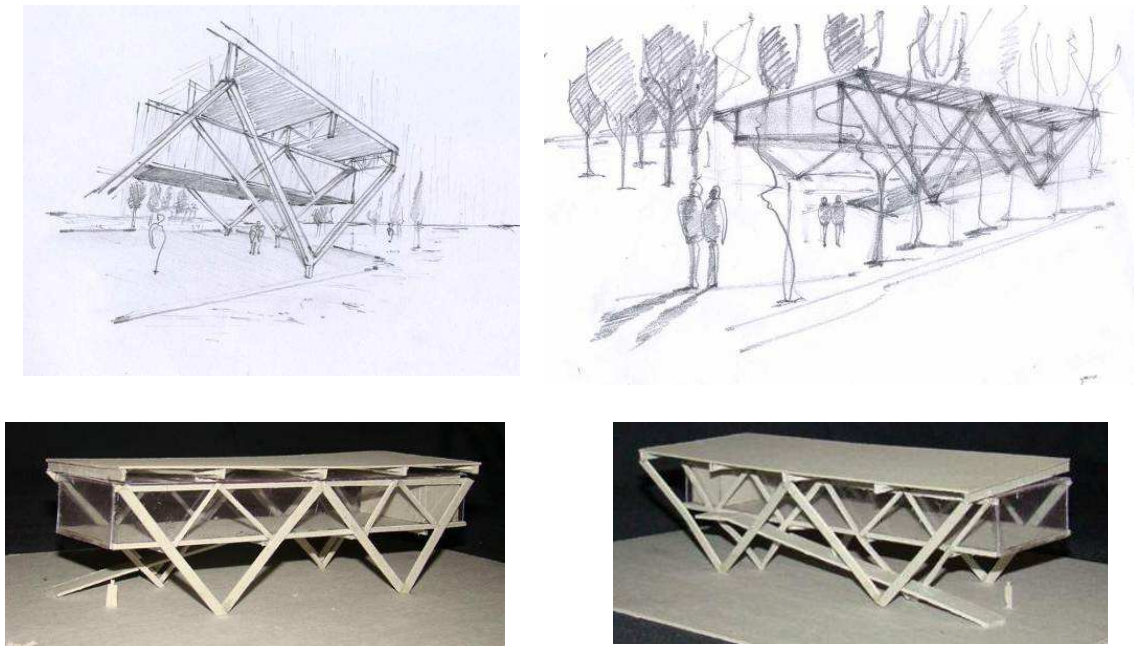


Fig. 14 Croquis y maqueta de estudio.

- Grupo 2 (Fig. 15 a Fig. 21)

Volumetría compleja definida por diferentes reticulados curvos. La búsqueda de la forma condicionó el diseño de la estructura.

1) Idea de partido. Primeros bosquejos. Materialización de la idea. (Fig. 15 y Fig.16)



Fig. 15 Paneles elaborados por el grupo. Memoria Descriptiva. Prefiguraciones.

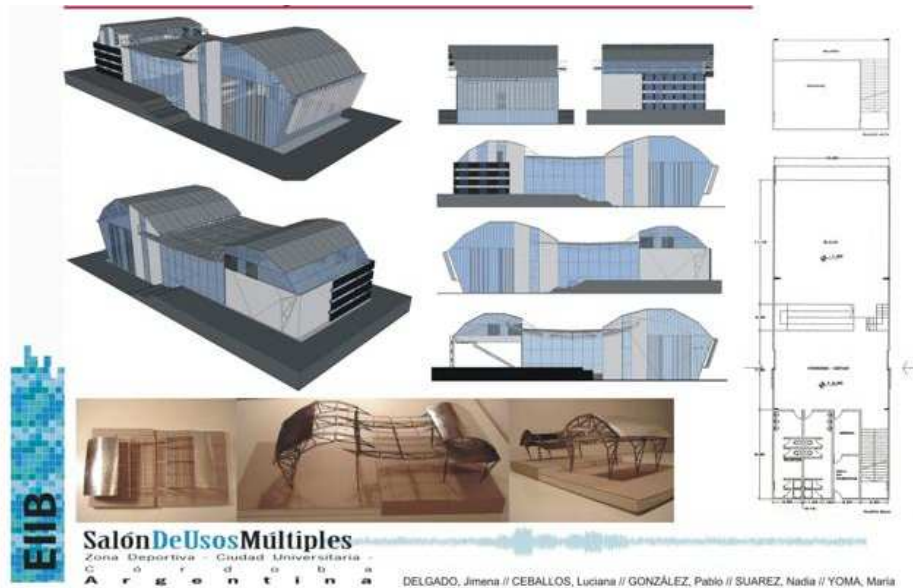


Fig. 16 Paneles elaborados por el grupo. Plantas, cortes, vistas, volumetría, maqueta de estudio.

2) Planteo de la materialización estructural. Dialéctica imagen – comportamiento estructural. (Fig. 17 y Fig. 18)

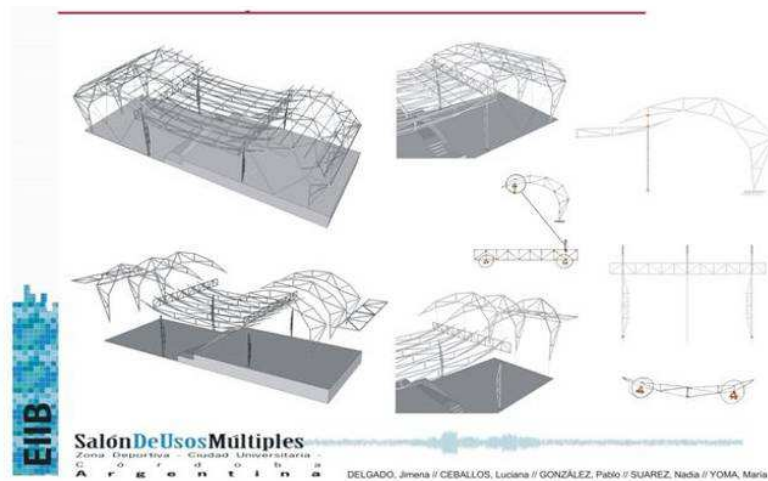


Fig.17 Estudio de la Estabilidad Espacial del Conjunto.

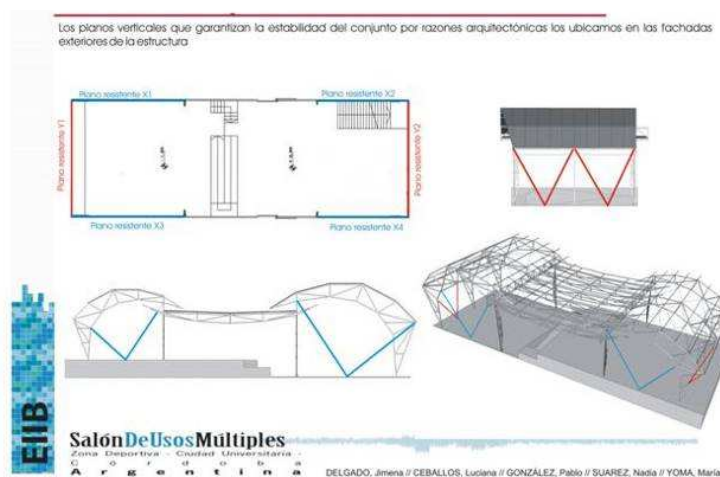


Fig.18 Determinación de Planos resistentes.

3) Resolución estructural. (Fig. 19 y Fig. 20)

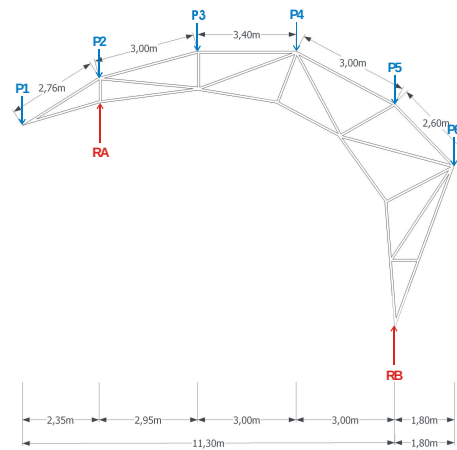


Fig. 19 Esquema estructural viga curva.

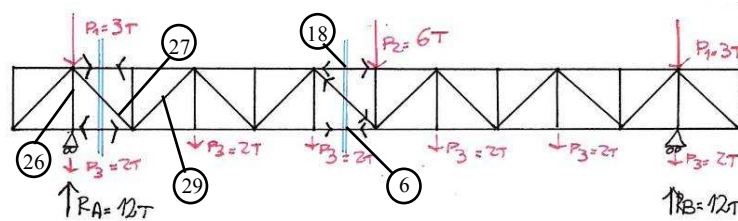


Fig. 20 Esquema estructural viga reticulada.

Predimensionado de la viga de cordones paralelos (Fig.20)

- Cordón Inferior B6=240kN (Tracción)
- Cordón Superior B18=270kN (Compresión)
- Montantes B26=100kN (Compresión)
- Diagonales B27=99kN (Tracción), B29=99kN (Compresión)

Se adopta una sección tubular de 140 x 100mm, e=6.35mm; y una sección tubular de 40 x 80 mm, e=3.2mm, para diagonales y montantes.

4) Maqueta de estudio e Imágenes. (Fig. 21)

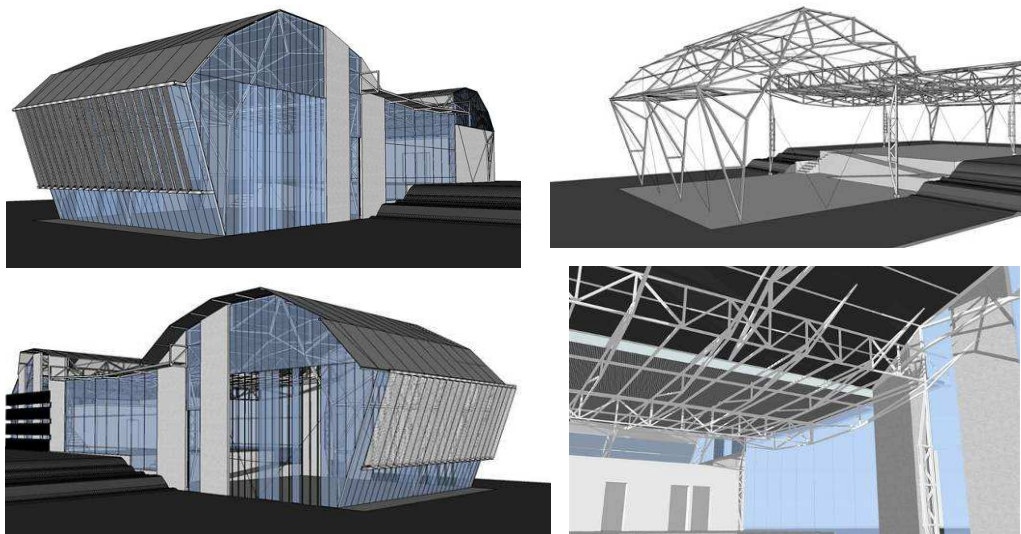


Fig. 21 Maqueta virtual

2. b. El proceso proyectual en alumnos de la Materia Electiva Diseño de Estructuras de Grandes Luces

Si bien los objetivos son los mismos, el desarrollo del ejercicio proyectual difiere según el nivel en que se encuentra el alumno en la carrera. El alumno que cursa quinto año, ya ha completado todo el ciclo formativo de la carrera y posee un bagaje de conocimientos que lo habilitan para el desafío de abordar temas de mayor complejidad tanto en lo arquitectónico como urbano y estructural.

La problemática de las estructuras de Grandes Luces lleva implícita la complejidad que acompaña el cambio de escala en sus aspectos funcional, urbano y tecnológico y fundamentalmente el protagonismo que adquiere la variable estructural.

La forma de abordar el diseño puede ser a partir de la reelaboración de proyectos ya realizados en las materias de Arquitectura, o el planteo de un nuevo tema-problema.

El proceso incluye las siguientes variables.

✓ Definición del Tema-Problema

Puede considerarse que el proceso de diseño de una obra de arquitectura comienza con las primeras ideas que llevan a la definición acerca del “tema-problema”.

✓ Estudio de la tipología arquitectónica. Elaboración del Programa.

Define condicionantes de dimensiones, alturas, relaciones funcionales, luces libres de apoyos, relación con el exterior, flujos, etc.

✓ Elaboración de Premisas de Diseño

Se realiza una ponderación de las distintas condicionantes asignando a cada una el protagonismo correspondiente en el proyecto. El lugar de emplazamiento del objeto arquitectónico plantea condicionantes significativas, como morfológicas, de significado, accesibilidad, relación con el entorno, recursos materiales y de mano de obra.

✓ Investigación sobre la tectónica del proyecto

Búsqueda de antecedentes sobre sistemas constructivos y tipologías estructurales factibles en relación al diseño.

✓ Indagar en la forma para llegar a la estructura

Para definir un determinado mecanismo estructural es necesario definir su geometría. En este aspecto se profundiza sobre leyes de generación geométrica, física, y la relación entre la forma y la estructura.

✓ Desarrollo del proyecto

El desarrollo de planos de obra y detalles constructivos también debe contemplarse considerándolos como parte del problema de diseño.

Se presentan trabajos desarrollados por los alumnos, en una síntesis de las piezas gráficas presentadas para completar el ciclo lectivo correspondiente. (Fig. 22 a Fig. 24).

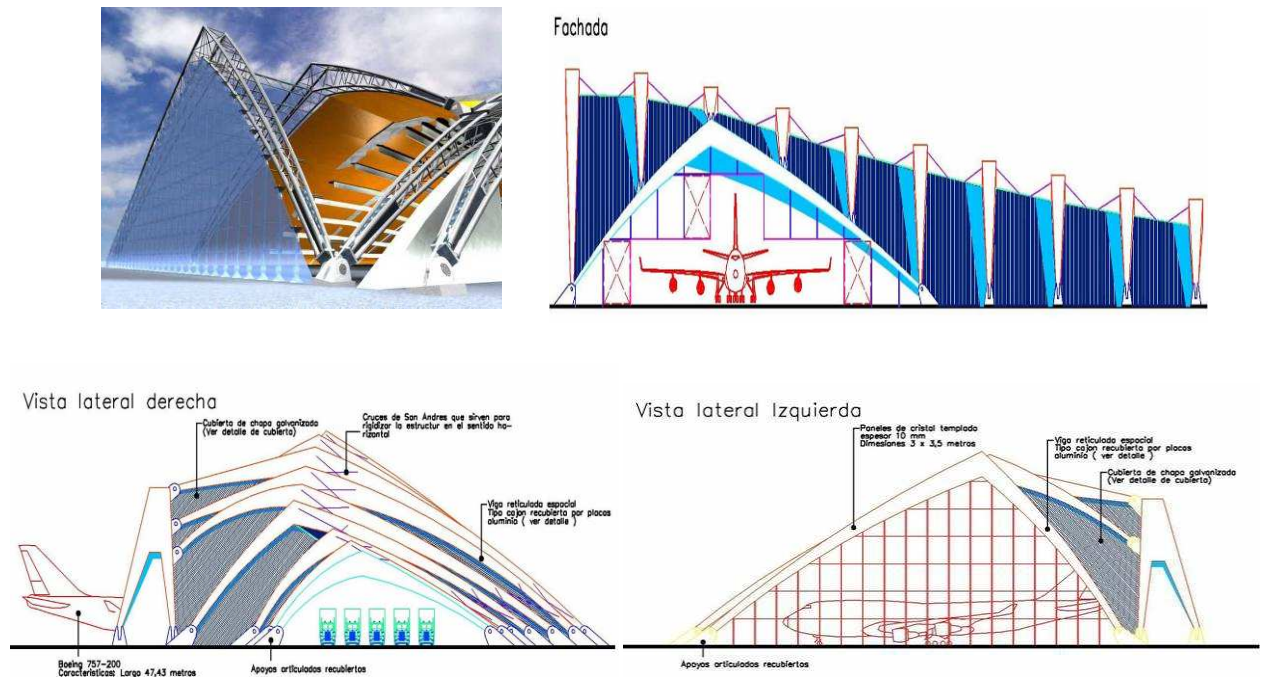


Fig. 22 Hangar para Boeing 747. Arquitectura. Piezas graficas

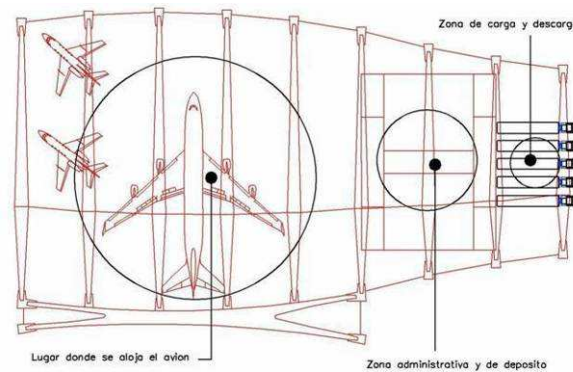


Fig. 23 Hangar para Boeing 747. Planta de Arquitectura. Zonificación

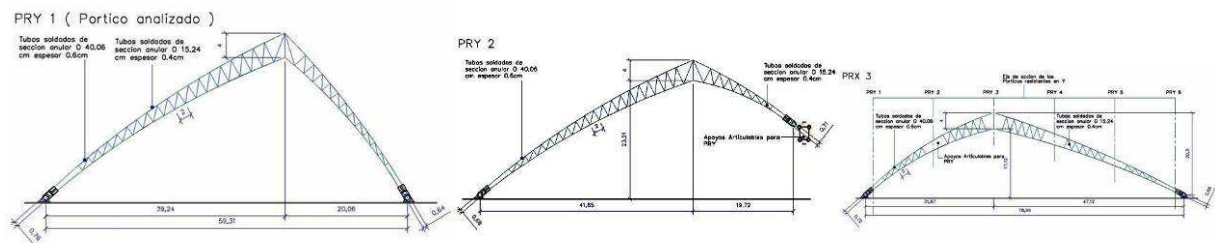


Fig. 24 Variación de la geometría de la estructura principal

Se verifica en cada uno de los trabajos que el diseño de la estructura surge como la más adecuada respuesta del diseñador ante un sistema de premisas y condicionantes que se plantean para el objeto arquitectónico entendido como una globalidad.

Además, se introduce al alumno en la utilización de softwares específicos como herramientas de diseño estructural, que posibilitan la obtención de geometrías complejas, y la verificación de determinado mecanismo estructural o sus alternativas en una propuesta de diseño integral. Al mismo tiempo se imparte el concepto de que estos softwares son “herramientas” que nunca pueden sustituir la creatividad y que aún cuando permiten obtener rápidamente la solución, esta no deja de estar condicionada a un elemento no menos importante cual es la correcta modelación de la estructura.

Presentamos un trabajo cuyo proceso de diseño surge a partir de las primeras ideas de Gaudí, sobre el funicular de las cargas, transferidas a los métodos y modelos actuales. (Fig. 25 a Fig. 30)

A partir de la deformación simulada de una lámina plana, lograda con la utilización de herramientas computacionales, se pueden diseñar “formas complejas” en sucesivos ajustes de la geometría hasta obtener aquella estructura que resulte más eficiente en su comportamiento desde el punto de vista de las deformaciones (descensos) y de las tensiones límites.

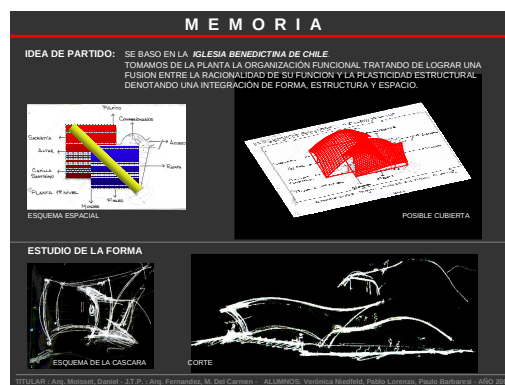


Fig. 25 Iglesia en Chile. Croquis preliminares

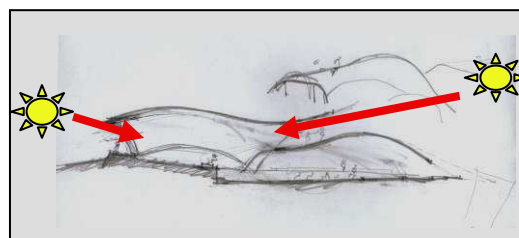


Fig. 26 Iglesia en Chile. Estudio de la incidencia de la luz natural

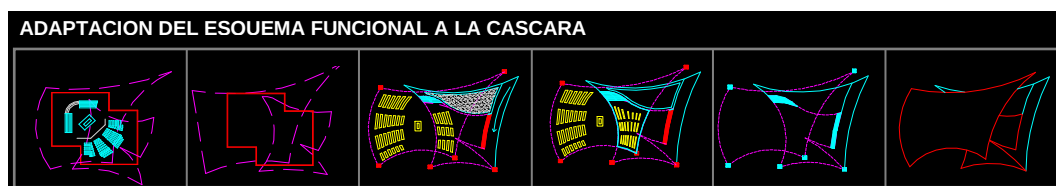


Fig. 27 Iglesia en Chile. Estudio en planta

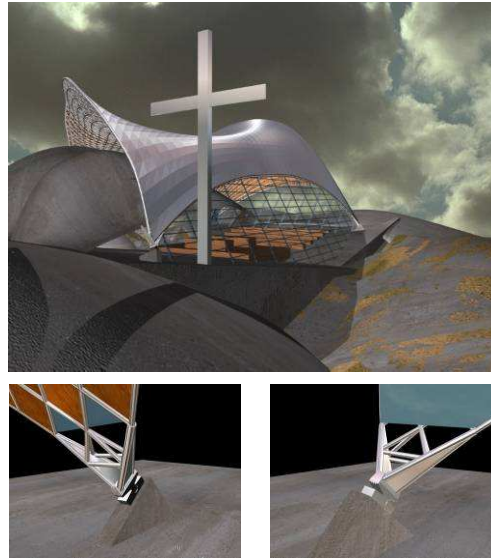


Fig. 28 Arquitectura y Detalles

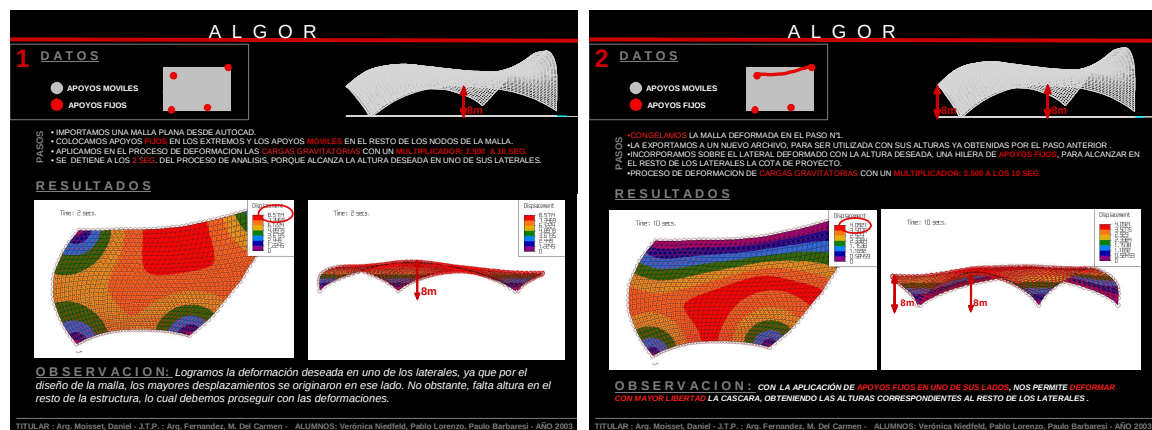


Fig. 29 Búsqueda de la geometría con Software de elementos finitos

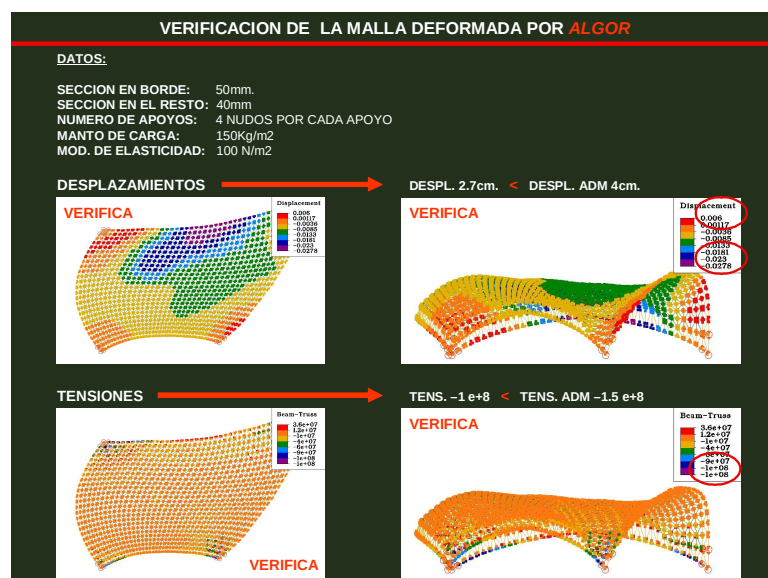


Fig. 30 Verificación de deformaciones y tensiones con Software

CONCLUSIONES

El aprovechamiento de conocimientos previos, la motivación y la resignificación fueron fundamentales para el desarrollo de las actividades propuestas.

La estructura puede servir para algo más que para transferir cargas en términos de eficiencia estructural, por ejemplo ser generadora de espacios, definir la escala, modular la luz, definir un lenguaje, erigirse como hecho escultórico, etc. Estamos convencidos de que la manera de enseñar nuestra especialidad en la carrera de arquitectura es a partir de ésta premisa.

Para el diseñador la estructura no debería ser limitante de la creatividad, pero si lo es el desconocimiento de los conceptos básicos sobre comportamiento estructural.

Es indispensable entonces que el alumno reciba, además de los contenidos básicos propios de cada nivel de la carrera, una formación que le permita elaborar criterios de diseño estructural y transferirlos a su propio proyecto.

La metodología descrita posibilita que el alumno sea el verdadero agente y el responsable último de su propio proceso de aprendizaje.

El proceso de enseñanza-aprendizaje se enriquece con la interacción entre el docente y los estudiantes y se vuelve más atractivo para los futuros arquitectos.

Agradecimientos

A los Profesores de la Cátedra de Estructuras II B, Ing. Horacio Altamirano, Inga. Liliana Papalardo, Arqta. Guadalupe Álvarez y Arqto. Tomás Verdinelli porque sin su aporte los alumnos no hubieran alcanzado el nivel esperado.

A todos los alumnos que nos enriquecieron con su aporte a través de los años, y en especial a los que desarrollaron los trabajos expuestos.