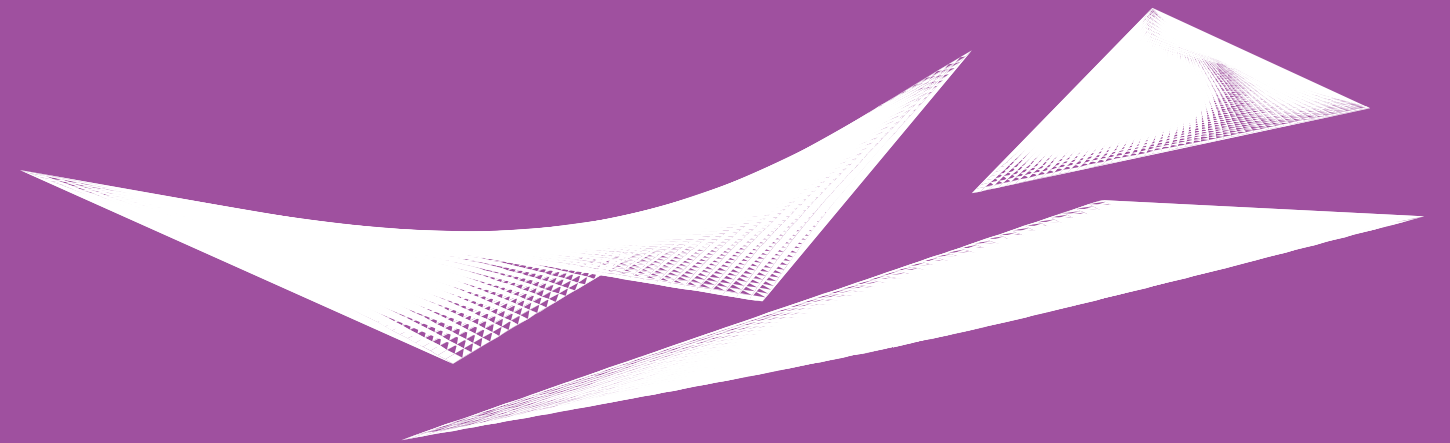


# PROYECTO Y EJECUCIÓN DE ESTRUCTURA LIGERA DISEÑADA A PARTIR DE SUPERFICIES SINGULARES

BEATRIZ HERNÁNDEZ MORENO



SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES  
TRABAJO FINAL DE GRADO  
TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS DE LA EDIFICACIÓN

Convocatoria Julio 2014

DIRECTOR ACADÉMICO: **FRANCISCO JAVIER SANCHIS SAMPEDRO**

CO-DIRECTOR ACADÉMICO: **JOSE MIGUEL MOLINES CANO**



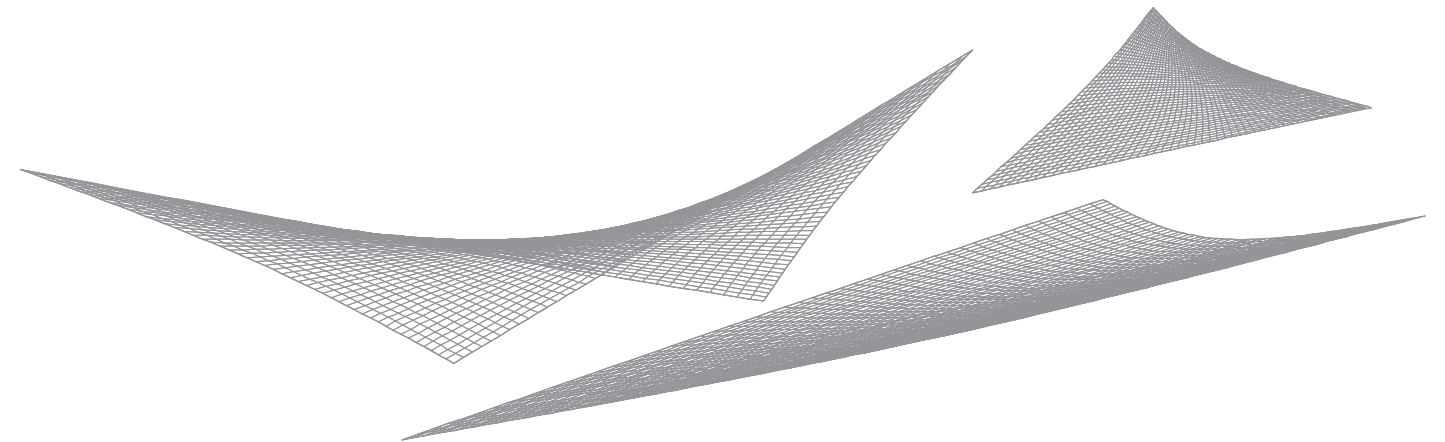
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
INGENIERÍA DE  
EDIFICACIÓN

PROYECTO Y EJECUCIÓN DE ESTRUCTURA LIGERA  
DISEÑADA A PARTIR DE SUPERFICIES SINGULARES

BEATRIZ HERNÁNDEZ MORENO



SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES  
TRABAJO FINAL DE GRADO 2013-2014  
TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS DE LA EDIFICACIÓN

Convocatoria Julio 2014

DIRECTOR ACADÉMICO: **FRANCISCO JAVIER SANCHIS SAMPEDRO**

CO-DIRECTOR ACADÉMICO: **JOSE MIGUEL MOLINES CANO**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
INGENIERÍA DE  
EDIFICACIÓN

Llegado el momento de la finalización del Grado en Arquitectura Técnica, en estos momentos una de las cosas en las que puedo pensar, es en las personas que durante todo este tiempo de mi etapa en la Universidad, me han aportado y me han ayudado, cada uno en la medida de lo posible, con sus conocimientos o con su apoyo, a poder terminar y hacer, un poco más fácil todo el trabajo realizado hasta hoy.

De esta forma, qué mejor momento que el final de mi carrera, para agradecer a estas personas, el haber contribuido a que esto fuera posible.

En el ámbito universitario, a mis compañeros durante estos años, con los que he pasado horas de estudio y diversión, en especial Laura e Irene.

A Jose Miguel Molinés Cano, Co-Director académico del Trabajo Final de Grado, por su paciencia, su dedicación y su preocupación, por haberme enseñado tanto, en tan poco tiempo y por haber aguantado mis llamadas los sábados y domingos noche para ese cálculo de la estructura.

En especial, quiero agradecer a mi director académico, Francisco Javier Sanchis Sampedro, por haber hecho, realmente, que llegar a este momento fuera posible. Por su esfuerzo y dedicación, por la gran persona que es, personal y profesionalmente, por haberme enseñado una parte de todos sus conocimientos, ya no solo durante el Trabajo Final de Grado, sino, durante toda la etapa de mi carrera, ha estado dispuesto en cualquier momento en el que he necesitado ayuda, para realizar cualquier tipo de trabajo. Y sobre todo, por habernos apoyado en un momento como éste, que para nosotros es tan importante.

En el ámbito personal, quiero agradecer a David Raga Rojas, por todas esas "rabieta" que ha tenido que soportar en épocas de trabajos y exámenes, por su paciencia, por todos sus consejos en los malos momentos, tanto a nivel universitario como personal, una de las personas que ha hecho posible que hoy esté redactando estas líneas.

A M<sup>o</sup> Vicenta Fortea Navarro, desde la infancia, una de las mejores personas que he conocido y que tanto me ha apoyado siempre.

A mis hermanos, que en su medida y a su manera, me han apoyado y me han hecho un poco más fácil esos largos días de estudio en la habitación y realmente sé que valoran todo el esfuerzo que estoy realizando.

Y por último y en especial, a mis padres, Manuel y Concha, por haberme apoyado en cualquier decisión que haya tomado, por estar ahí siempre, por su preocupación y por su apoyo y ayuda en estos últimos meses que han sido más duros para mí. A mi hermana, Inma, el principal pilar que me sostiene, simplemente gracias, porque no tendría suficientes líneas para escribir en este espacio todas las cosas que tendría que decirle. Y a Iker, esa personita, mi sobrino, que me alegra cada día, por muy malo que sea, solamente con llamar a la puerta de mi habitación.

El presente proyecto se desarrolla en uno de los patios interiores de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Engloba una serie de necesidades como son , accesibilidad, pavimentos y zonas de descanso, y especialmente, la ejecución de una pérgola, para cubrir una zona de bancos existente.

Esta pérgola describe especialmente una estructura ligera. Dando forma a una estructura tensada, su diseño, su cálculo y su comportamiento, adaptada totalmente al entorno, respetando la vegetación de la zona y combinando diversos materiales, como son el acero y las membranas de poliéster.

Las estructuras tensadas se utilizan para fines muy diversos, bien como elementos ornamentales, como estructuras ligeras para cubrir recintos de tamaño medio, o bien como cubiertas de grandes infraestructuras deportivas o estadios.

Para este caso en particular, la estructura estará formada por soportes metálicos de sección tubular y tres lonas tensadas , de distinta geometría, de poliéster reforzado con fibra de vidrio, material utilizado para velas de barco, con lo cual totalmente aceptable para la ejecución de nuestra estructura ligera.

Esta combinación de los distintos materiales, permite crear formas muy diversas y sofisticadas, proponiendo un diseño donde se combinan técnicas estructurales con técnicas basadas en el diseño de superficies, para representación en tiempo real.

Palabras clave que definen el contenido del TFG:

Funcional , Modernista, Rentable, Tenso-estructura, Adaptable

The present document is located in one of the inside patios of the "Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación" building and aims to address a number of needs as accessibility, lounge and pavement comfort, and specially, the execution of a pergola which shall cover the benches area of the lounge.

This pergola especially describes a lightweight structure. Shaping a tensioned structure, design, calculation and behavior, totally adapted to the environment, respecting the vegetation of the area and combining various materials, such as steel and polyester membranes.

Generally speaking, tensile structures may be used in a variety of cases: as an ornamental element, as a light structure for covering medium size areas, as roof for sports facilities and stadiums,...

For this particular case, the structure will be composed of tubular-metallic posts and three tensile canvas, each of them with singular geometry and made up of fiberglass reinforced polyester which is usually used in boat sails. Under these considerations all the materials are assumed to be fully acceptable for the purpose of the project.

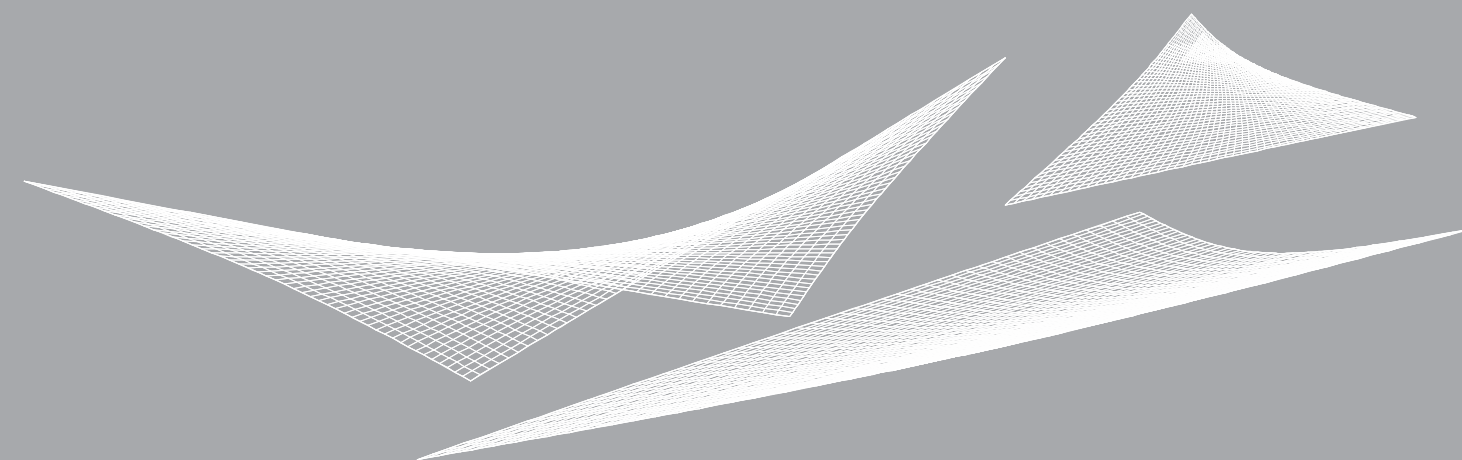
Such combination of materials and elements allows the designer to create a variety of very sophisticated shapes which will closely combine structural and surface design techniques, in a way that makes the final product perfectly feasible.

Keywords that define the contents of the final degree:

Functional, Modernist, Cost-effective , Tensostructure, Adaptable

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
<b>2. OBJETIVOS</b>	
2.1. OBJETIVOS GENERALES.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3. METODOLOGÍA</b>	
3.1. MAQUETA.....	4
3.2. MODELIZACIÓN.....	5
3.3. SAP 2000.....	7
<b>4. PROYECTO Y EJECUCIÓN DE ESTRUCTURA TENSADA</b>	
4.1. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL.....	12
4.2. ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES.....	17
4.3. LA ESTRUCTURA TENSADA.....	21
4.3.1. INTRODUCCIÓN.....	21
4.3.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.....	23
4.3.3. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.....	30
4.3.4. DETALLES CONSTRUCTIVOS.....	38
4.4. PRESUPUESTO.....	41
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA, ÍNDICE DE IMÁGENES E ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
6.1. BIBLIOGRAFÍA.....	44
6.2. ÍNDICE DE IMÁGENES.....	45
6.3. ÍNDICE DE FIGURAS.....	46

## 1. INTRODUCCIÓN



1.1. INTRODUCCIÓN

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA

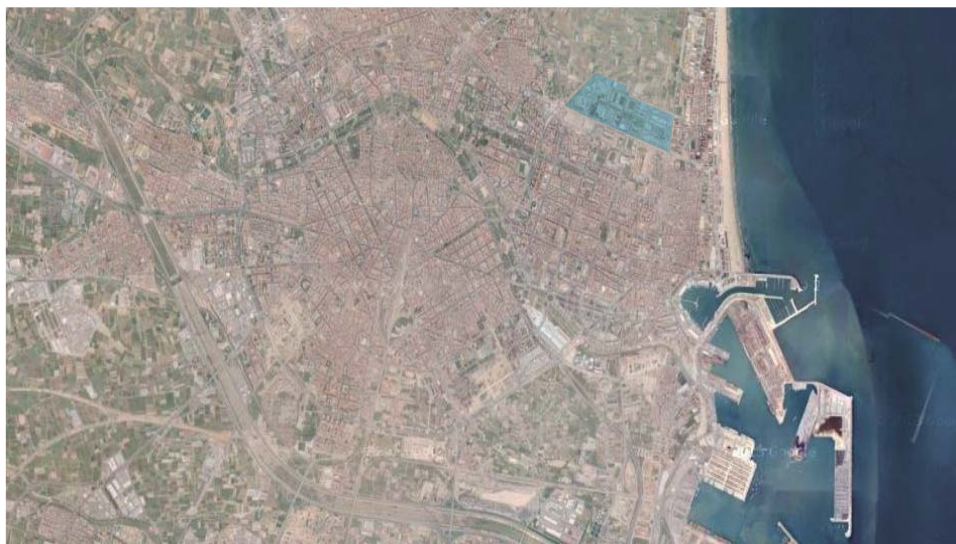


IMAGEN 1. Ciudad de Valencia

#### CIUDAD DE VALENCIA

La ciudad de Valencia está situada en la Comunidad Valenciana. Es el tercer municipio por población de España, ya que cuenta con 797.028 habitantes, mientras que su área metropolitana tiene 1.774.201 habitantes, lo que la convierte también en la tercera área metropolitana de España. La ciudad está situada a orillas del río Turia, en la costa levantina de la península ibérica, justo en el centro del golfo de Valencia.

En ella se encuentra situada la Universidad Politécnica de Valencia, también llamado Campus de Vera, donde se desarrolla el presente Trabajo Final de Grado.



IMAGEN 4. Entrada principal de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación



IMAGEN 2. Universidad Politécnica de Valencia

#### CAMPUS DE VERA

Está ubicado al norte de la ciudad de Valencia en el Camino de Vera. Ocupa una parcela de 558.306 m<sup>2</sup> en la que se distribuyen diversos edificios construidos en varias alturas. La construcción de este campus se realizó por fases. La primera fase, en 1970, con nuestra escuela, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación. En 1975 la segunda fase, integrada por la zona del Ágora, Rectorado y las escuelas de Agrónomos, Caminos, Canales y Puertos, Industriales y Arquitectura y a partir de los años noventa comenzó a expandirse hacia el este hasta llegar al actual edificio de la Ciudad Politécnica de la Innovación (CPI).



IMAGEN 5. Patio Interior en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación



IMAGEN 3. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

#### ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DE LA EDIFICACIÓN (ETSIE)

La Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación se construyó en la primera fase de la UPV, en 1970, es la facultad más antigua del Campus de Vera.

Está construida en planta baja, con amplios pasillos, aulas, despachos para profesorado, patios interiores y una cafetería propia de la escuela.

Está construido a base de estructura metálica y distribución de paneles prefabricados, además dispone de un parking disponible para alumnado, profesorado y trabajadores de la ETSIE.

#### PATIO INTERIOR EN LA ETSIE

Patio situado en la ETSIE donde se desarrollará el presente proyecto.

Un patio al aire libre, con varios accesos desde el interior de la Escuela, envuelto con módulos de carpintería metálica y vidrio, que permiten el paso de la luz al interior de la facultad.

Las dimensiones totales del patio son 29,8x33 m.

En el centro dispone de una zona verde de dimensiones 17x20,5m y alrededor dispuesto un pavimento con baldosa hidráulica con acabado de canto rodado, que ocupa aproximadamente 635 m<sup>2</sup> de la superficie total del patio.



La estructura ligera elegida para este trabajo, consiste en un sistema de estructura tensada. Esta estructura ligera consta de tres lonas tensadas, una de ellas adoptará la forma de un paraboloides, las otras dos adoptan forma triangular.

El paraboloides tiene como objetivo dar sombra a otra zona de descanso y reunión en el patio, y además, cubrir uno de los accesos al patio que será accesible para personas con movilidad reducida.

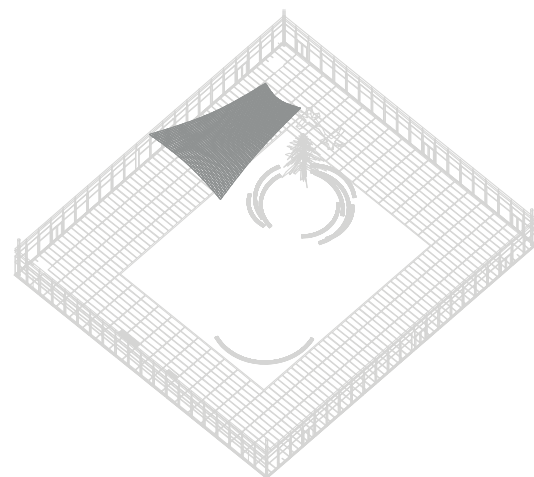


Figura 1

Una de las formas triangulares, se encarga de dar sombra a la zona de bancos situada en el patio, adecuando su forma para poder mantener el árbol que se encuentra en éste.

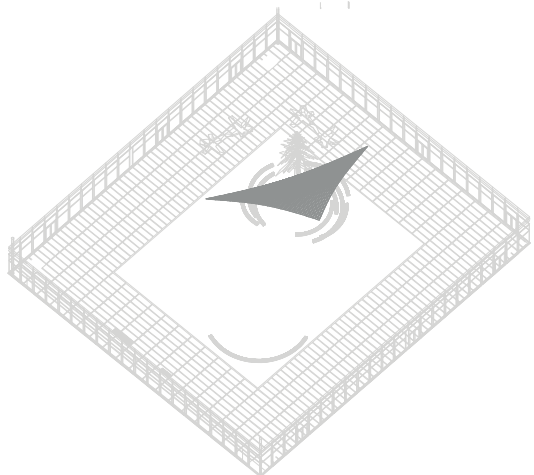


Figura 2

Otra de las formas triangulares se encarga junto con el paraboloides de dar sombra a la zona adaptada de reunión.

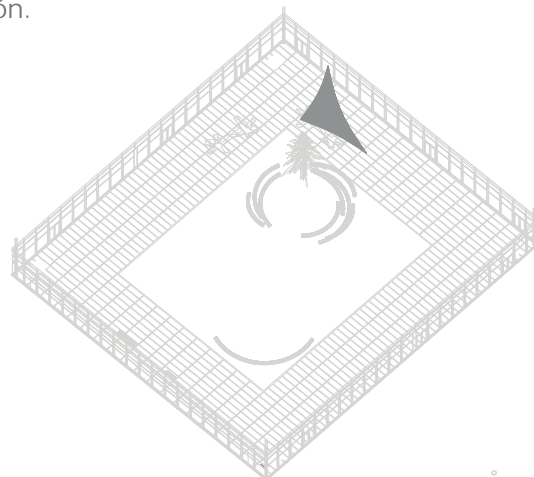


Figura 3

El conjunto de estas tres lonas forma, a parte de una estructura singular y una geometría diferente, un espacio de sombra en su conjunto adaptado perfectamente al patio interior de la escuela, a las dimensiones, a las necesidades y respeta totalmente la vegetación que existe en éste.

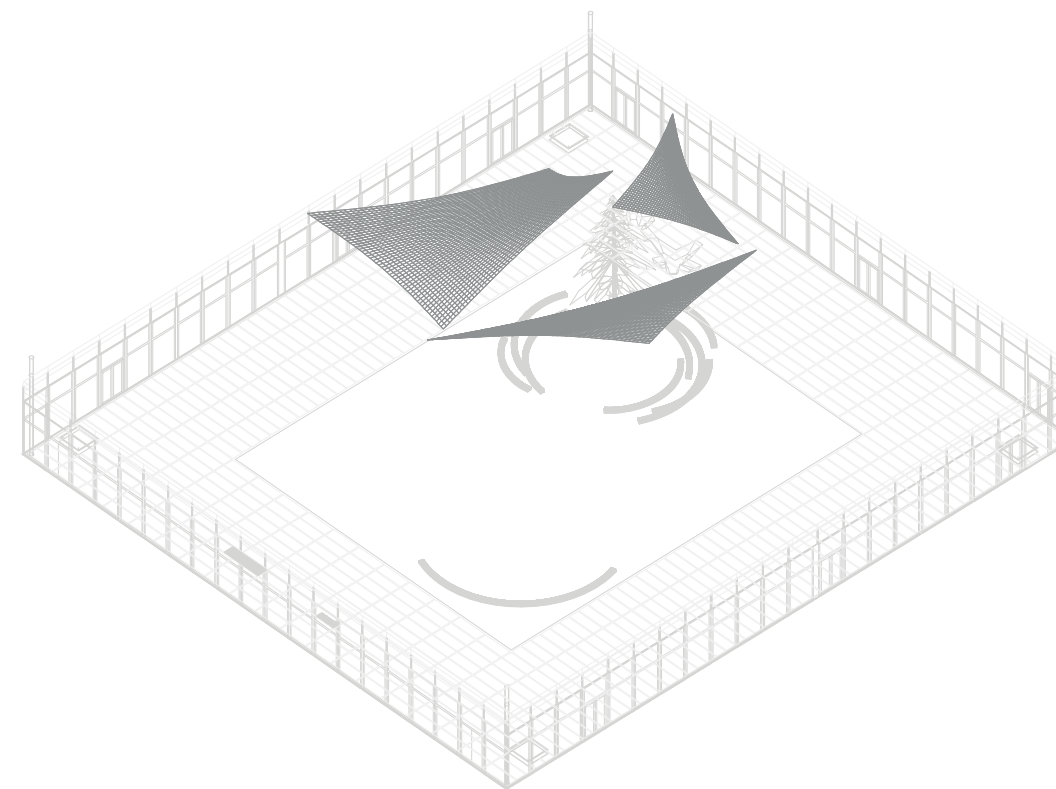


Figura 4

#### ELECCIÓN DE LA CUBIERTA:

En un principio, el decidimos a realizar este tipo de estructura, fué porque queríamos algo que pudiera encajar con el entorno del patio, principalmente con la carpintería, de ahí a decidimos por una estructura metálica. Al mismo tiempo, una estructura ligera y un material que pudiera adaptarse a la vegetación existente, que fuera flexible y que pudiera adoptar cualquier tipo de diseño, por tanto decidimos trabajar con membranas, lonas tensadas.

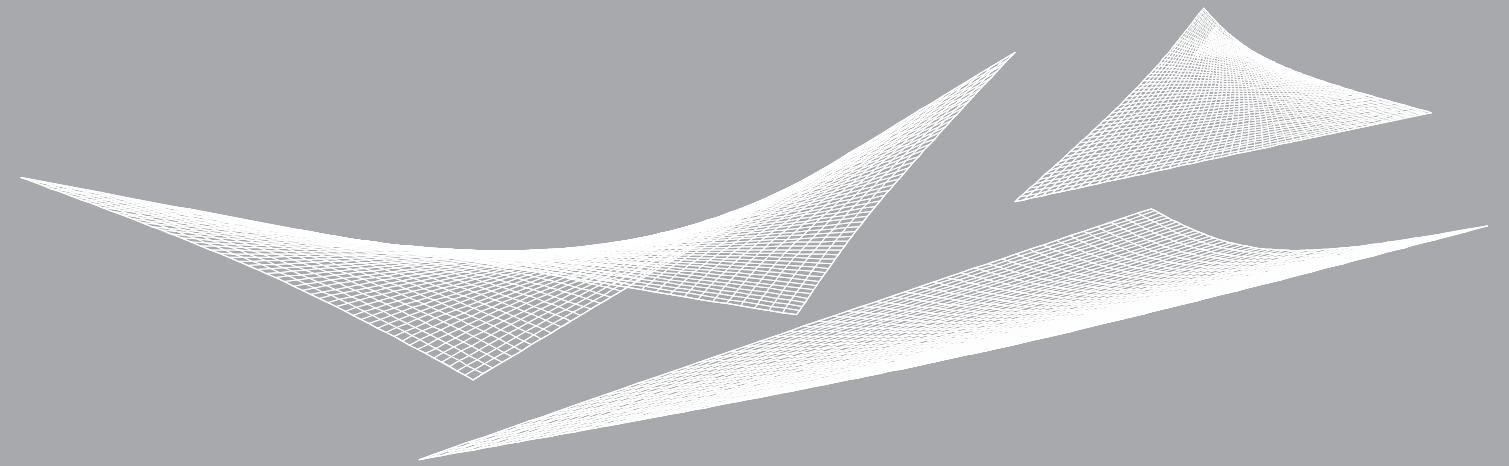
En el mes de febrero de 2014, colaboramos en la realización de unos talleres "workshops" en la exco 2014, Salón Internacional de la Construcción, donde trabajamos con figuras que adoptaban una forma singular en el espacio. De aquí la decisión definitiva a indagar sobre las posiciones de los paraboloides y a estudiar sus posibles formas en la realidad.

Otras de las características por las que decidimos trabajar con este tipo de lonas tensadas fueron:

- No oscurece completamente la zona que se está cubriendo, aprovechando la luz natural.
- Protege de la lluvia.
- ligereza de los materiales.
- puede adoptar diseños creativos adaptados totalmente al entorno y a las necesidades estructurales y funcionales del caso.
- esta metodología permite evitar el proceso de ajuste y elaboración y por lo tanto lograr economía de tiempo y menores costos.



## 2. OBJETIVOS



- 2.1. OBJETIVOS GENERALES
- 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS



1. Adquirir los conocimientos y competencias necesarias para llevar a cabo un proyecto real.
2. Desarrollar un proyecto real.
3. Aplicar y trabajar con la normativa de edificación frente a un caso real.
4. Profundizar en los cálculos sobre el análisis estructural.
  - Modelizar estructuras.
  - Conocer y manejar el software de cálculo de estructuras.
  - Analizar y dimensionar a partir de un caso real.
5. Presupuestar
  - . Abaratar costes.
6. Afrontar los riesgos que se presenten.
7. Seguir una metodología de trabajo.
8. Garantizar la calidad del proyecto.

1. Analizar el entorno de trabajo.
  - Situación de la escuela.
  - Análisis del patio interior, carpintería, vegetación, pavimento, situación del mobiliario existente.
  - Análisis de accesos, desde el exterior de la escuela al patio.
  - Análisis de los accesos necesarios para la entrada desde el interior de la escuela al interior del patio.
2. Cubrir la zona de bancos del patio interior.
  - Diseño de cubierta ligera tensada.
3. Adaptar una zona de descanso con nuevo mobiliario.
4. Estudiar la accesibilidad.
  - Accesos al patio.
  - Pavimento.

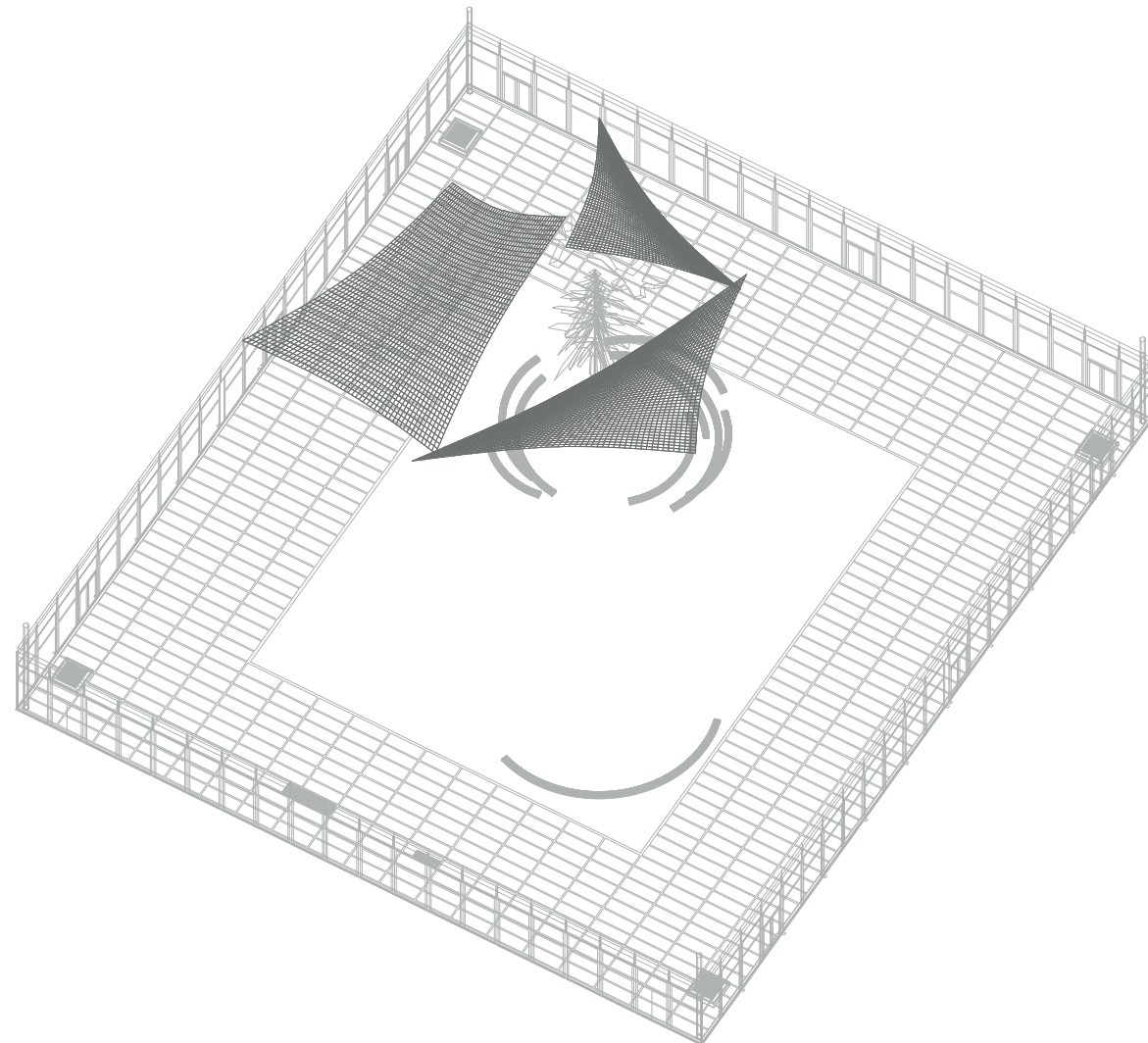
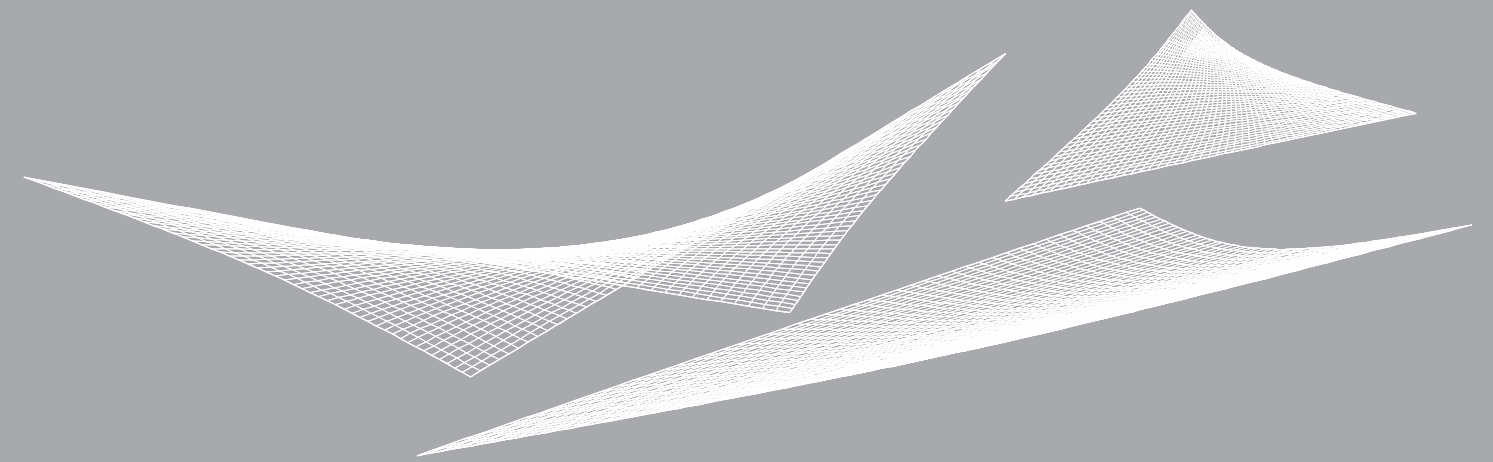


Figura 5



IMAGEN 6. Maqueta Final del Proyecto de Estructura Tensada

## 3. METODOLOGÍA



3.1. MAQUETA

3.2. DIBUJO 3D

3.3. MODELIZACIÓN PARA EL CÁLCULO

3.4. CÁLCULO SAP2000



1. Realización de una maqueta a escala 1:50, en la base, realizada con corcho, están marcados los bancos a cubrir con las lonas, el pavimento, la zona verde, los accesos y las dimensiones que ocupa el árbol en planta.

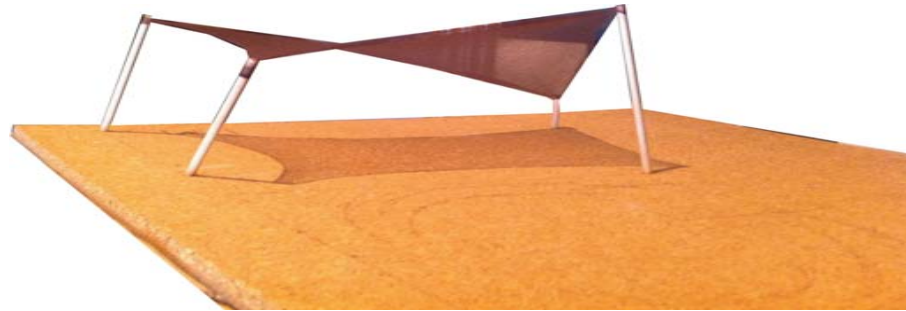


IMAGEN 7. Maqueta de estructura tensada.

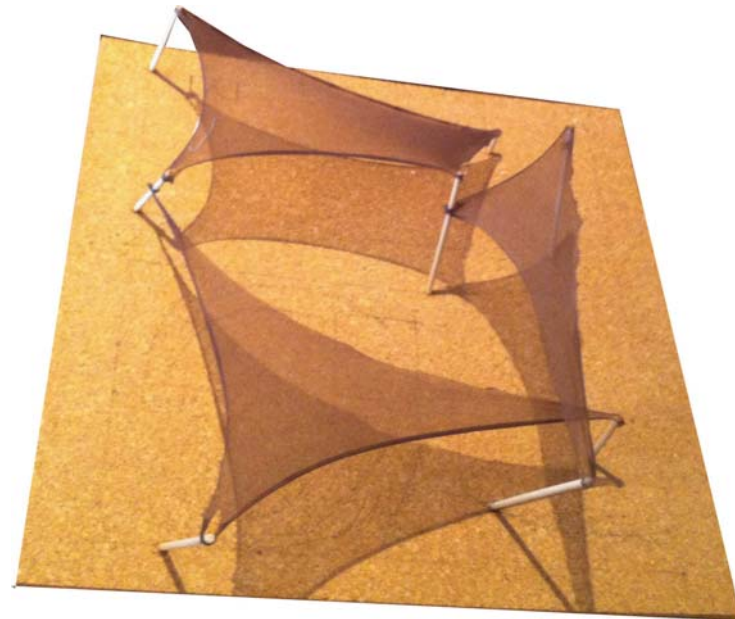


IMAGEN 8. Maqueta de estructura tensada.



IMAGEN 9. Maqueta de estructura tensada.

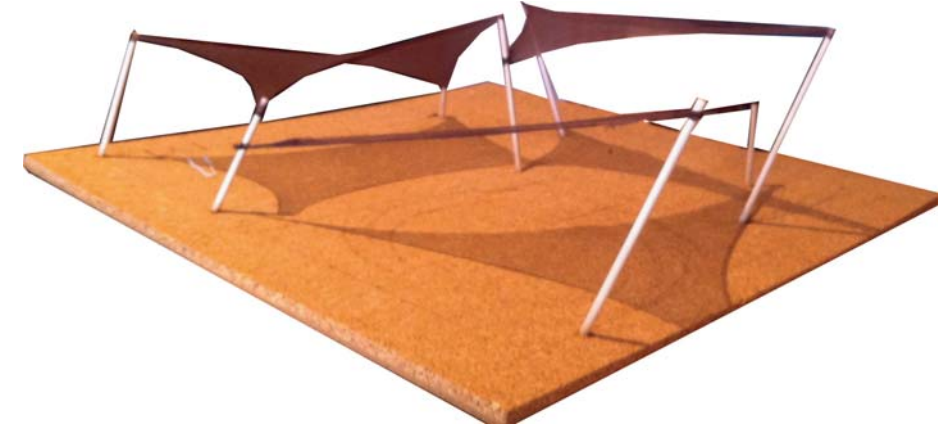


IMAGEN 10. Maqueta de estructura tensada.

2. Una vez realizada la maqueta, al poder observar las alturas en un principio definidas y los anclajes, realicé unos cambios finales y modifiqué hasta conseguir la maqueta siguiente, y mostrado a continuación en el dibujo 3D.

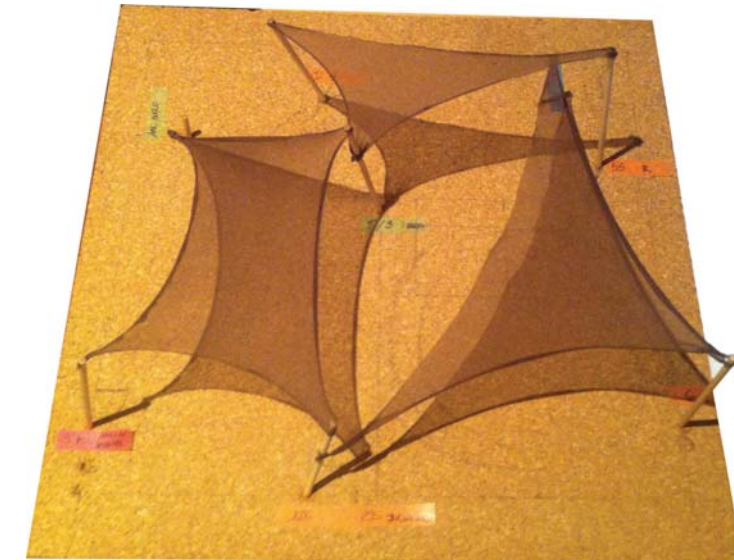


IMAGEN 11. Maqueta de estructura tensada.

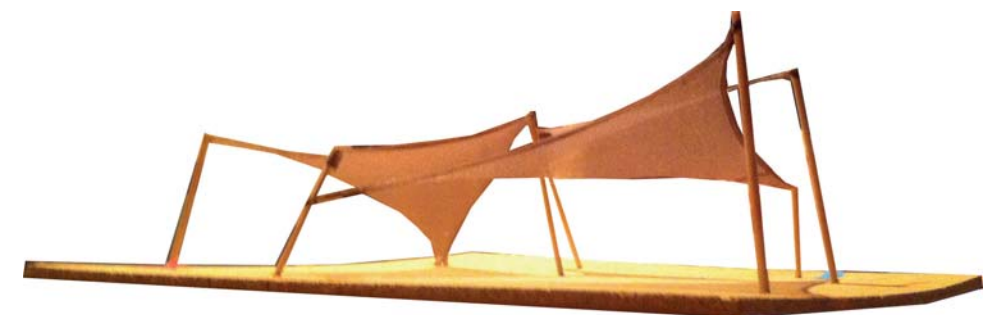


IMAGEN 12. Maqueta de estructura tensada.



1. A partir del diseño de la maqueta, realizamos los planos en planta del diseño de la estructura. Entre cada una de las distancias de los lados de los polígonos que forman el diseño, situamos el punto medio entre cada uno de los apoyos, para dar forma y pasar del polígono al diseño de la lona tensada, mediante la herramienta de rco.

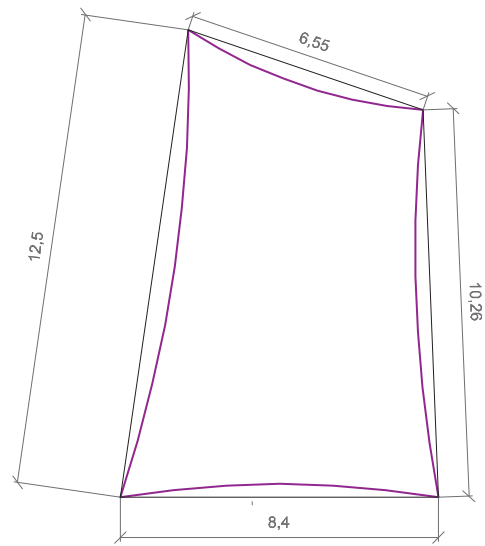


Figura 7

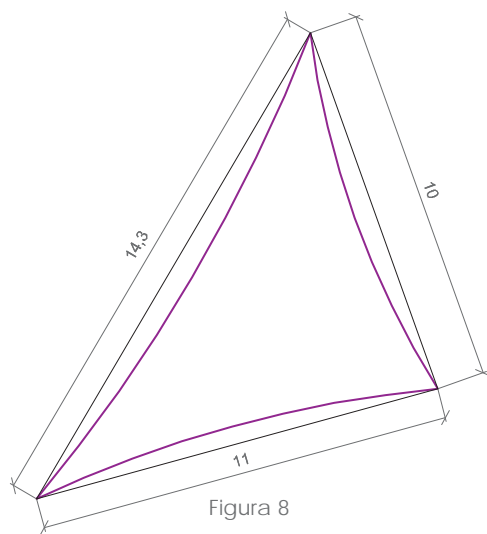


Figura 8

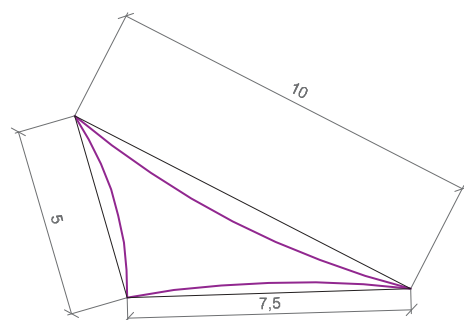


Figura 9

2. Una vez realizado el diseño en planta, procedemos a relizar el levantamiento de las alturas de cada uno de los apoyos, estas alturas quedaron definidas en la maquea, lo realizamos también con arcos, levantando en el punto medio de cada lado la mitad de la diferencia entre cada uno de los apoyos.

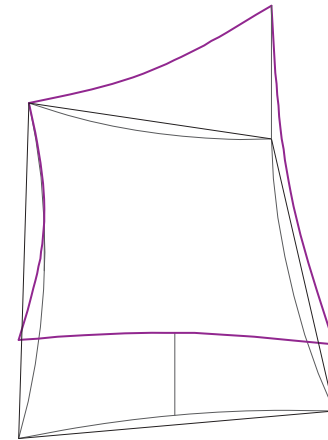


Figura 10

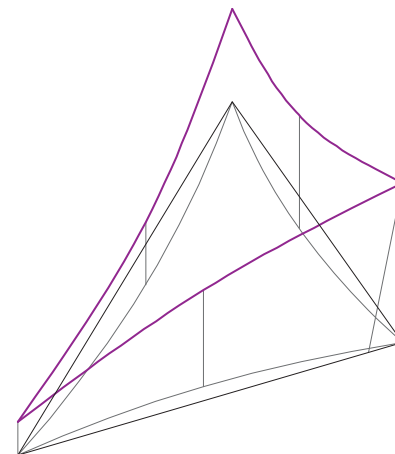


Figura 11

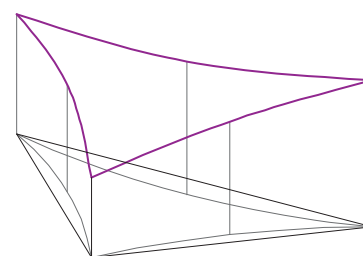


Figura 12

3. Una vez realizado el levantamiento de las alturas, procedemos a realizar las superficies alabeadas para dar la forma tanto al paraboloide como a las formas triangulares. Para dibujar las directrices y generatrices que nos darán el diseño definitivo. Utilizaremos la función SURFTAB1 (nº de generatrices) y SURFTAB2 (nº de directrices) y con la función SUPLADOS (superficie definida por lados), seleccionamos las aristas de los lados que componen las figuras y de esta forma obtenemos el dibujo 3D definitivo.

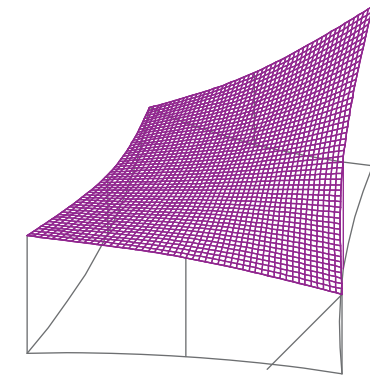


Figura 13

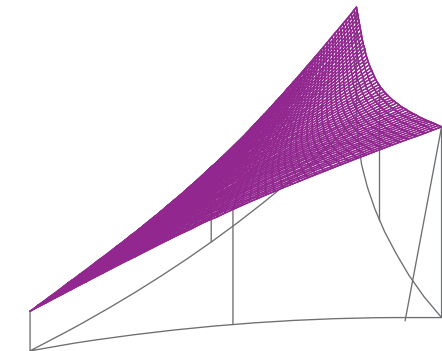


Figura 14

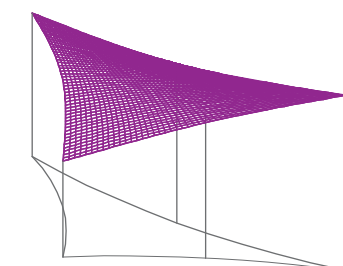


Figura 15



1. Partimos del dibujo inicial de los polígonos rectos diseñados para la estructura.

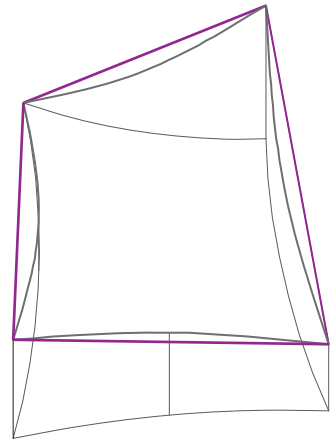


Figura 16

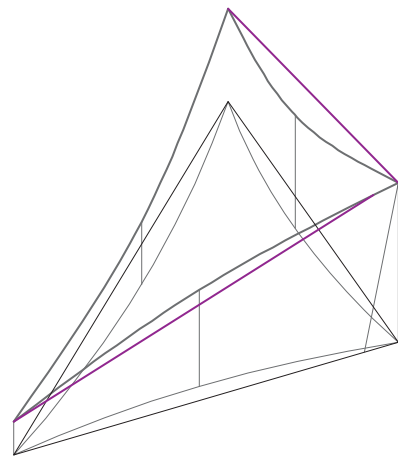


Figura 17

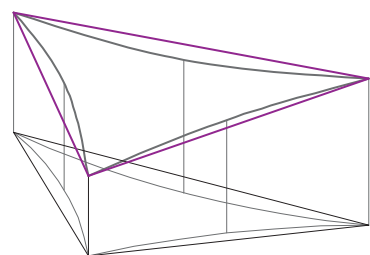


Figura 18

2. Dividimos cada uno de los polígonos en partes iguales aproximadamente de un metro por un metro.

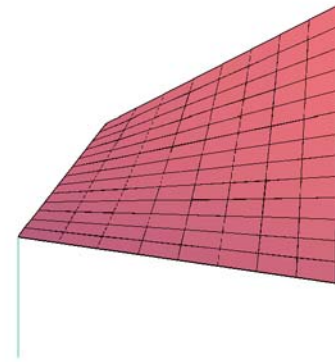


Figura 19

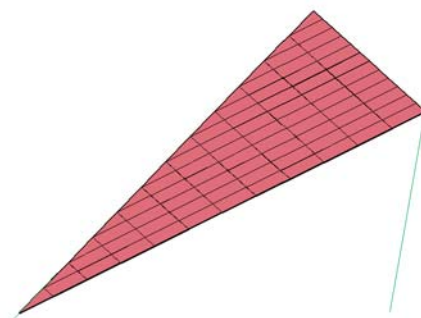


Figura 20

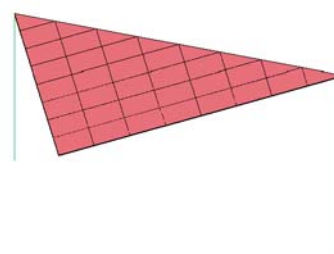


Figura 21

3. Una vez realizada la división de los polígonos, tenemos que aplicar la función 3DCARA (función que permite exportar el diseño al programa de cálculo de estructuras SAP2000), esta función permite ser aplicada a polígonos de 3 y 4 vértices, la cual aplicaremos a los polígonos pequeños en los que hemos dividido cada uno de los diseños de la estructura. Aplicando el mismo sentido de giro en cada uno de ellos. Una vez realizado este proceso en cada uno de los polígonos en los que han sido divididos los diseños, podemos exportar para el cálculo de la estructura.

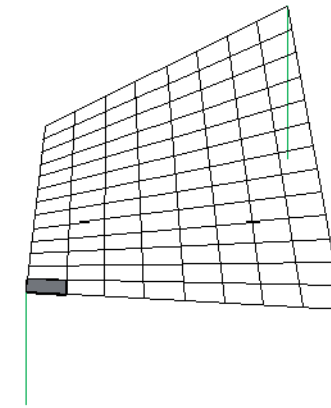


Figura 22

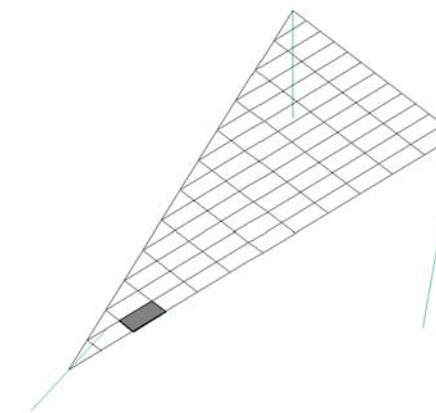


Figura 23

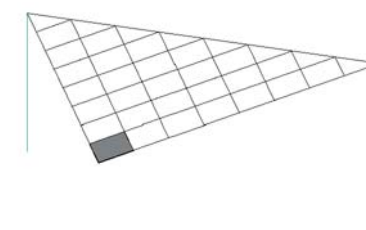


Figura 24



Una vez realizada la modelización con el programa Autocad, mediante la función 3Dcara, pasamos a realizar el cálculo de la estructura, con el programa SAP2000.

1. SOFTWARE DE CÁLCULO.

El SAP2000, es un programa para el análisis de estructuras basado en el método de los elementos finitos, en el que las propiedades de la estructura son representadas por un número finito de elementos estructurales interconectados entre sí por un número finito de nodos, a los que se les aplican las cargas, obteniéndose desplazamientos y solicitaciones en cada elemento según los ejes de los mismos.

En este programa, aunque la entrada de la geometría del modelo es gráfica, en su definición, se crean una serie de grupos o bloques de entrada separados entre sí.

- Bloque primero: definición del número de hipótesis básicas, cargas y combinación de cargas.
- Bloque segundo: definición de coordenadas de los distintos nodos de la estructura, que vienen dadas de la modelización realizada en autocad.
- Bloque tercero: asignación de condiciones de contorno y apoyos de la estructura. Apoyo empotrado-libre.
- Bloque cuarto: definición de las propiedades de las secciones resistentes y características de los materiales, así como las incidencias de cada elemento. Las propiedades de cada sección serán constitutivas de los materiales que formen la misma, pudiéndose definir los espesores y materiales de las distintas capas que forman la sección.
- Bloque quinto: aplicación de las cargas en los elementos para cada hipótesis.
- Bloque sexto: creación de combinaciones de las hipótesis básicas de cálculo.

2. MATERIALES EMPLEADOS Y SUS CARACTERÍSTICAS.

Se distinguen claramente que en la presente estructura existen dos materiales, como son, el acero y el polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

Las propiedades que se indican a continuación, se considerarán como valores nominales a adoptar en los cálculos de la estructura.

Se muestran cada una de las características de los materiales empleados, estas características se tienen en cuenta para el cálculo de la estructura. En el programa SAP2000, en el apartado "Define Materials" introducimos todos los materiales y todas las características correspondientes.

2.1 Acero S275JR en la sección tubular.

El acero empleado en los soportes de la estructura, es el acero S275JR denominación empleada por la normativa de aplicación, Documento Básico SE-A (Seguridad Estructural. Acero) del Código Técnico de la Edificación, el cual facilita todas las características de este tipo de acero.

Características del acero S275JR	
Módulo de Elasticidad	210.000 N/mm <sup>2</sup>
coeficiente de Poisson: ν	0,3
coeficiente de dilatación térmica: α	1,2·10 <sup>-5</sup> (°C) <sup>-1</sup>
Módulo de Rigidez	81.000 N/mm <sup>2</sup>

Tabla 1. Valores de las características del acero S275JR

2.2. 1.1 Polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

El material que constituye las lonas de la estructura, está compuesto por 3 membranas de poliéster de 100gr y espesor 1,2 mm cada una, unidas entre sí y reforzadas con fibra de vidrio.

Características de PRFV	
Módulo de Elasticidad	147.099,75 N/mm <sup>2</sup>
coeficiente de Poisson: ν	0,3
coeficiente de dilatación térmica: α	1,3·10 <sup>-4</sup> (°C) <sup>-1</sup>
Módulo de Rigidez	56.576,83 N/mm <sup>2</sup>

Tabla 2. Valores de las características del PRFV.

2.3. Acero del Cable (tensores) S275JR.

Los tensores son mecanismos que permiten introducir tracciones en la estructura por accionamiento de determinadas piezas. Fundamentalmente introducen acortamientos entre los puntos que unen.

El acero del que están compuestos los tensores que forman la membrana, es el mismo acero que compone los soportes de la estructura, solo que al actuar como cable tiene unas características distintas que el utilizado en la sección tubular de los soportes y éste está formado por la unión de varios cables de pequeño diámetro unidos entre sí.

Características del cable	
Módulo de Elasticidad	82.737,09 N/mm <sup>2</sup>
coeficiente de Poisson: ν	0,3
coeficiente de dilatación térmica: α	1,2·10 <sup>-4</sup> (°C) <sup>-1</sup>
Módulo de Rigidez	31.821,96 N/mm <sup>2</sup>

Tabla 3. Valores de las características del cable.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

La modelización de la estructura nos servirá para tener una primera visión de la misma y de la tipología estructural que resulta. El dimensionado existente proporcionará un rango de valores, con lo cual validará la solución estructural adoptada.

La estructura ha sido codificada en todos sus elementos, joints, frames y shells, de forma que sea fácil entender los resultados obtenidos tras el análisis. Para ello, la estructura se ha dividido en los grupos que a continuación se detallan.



### 3.1. Grupos de Joints.

Definición de cada uno de los puntos que conforman la estructura. Definidos mediante la unión de los soportes, la membrana y los cables.

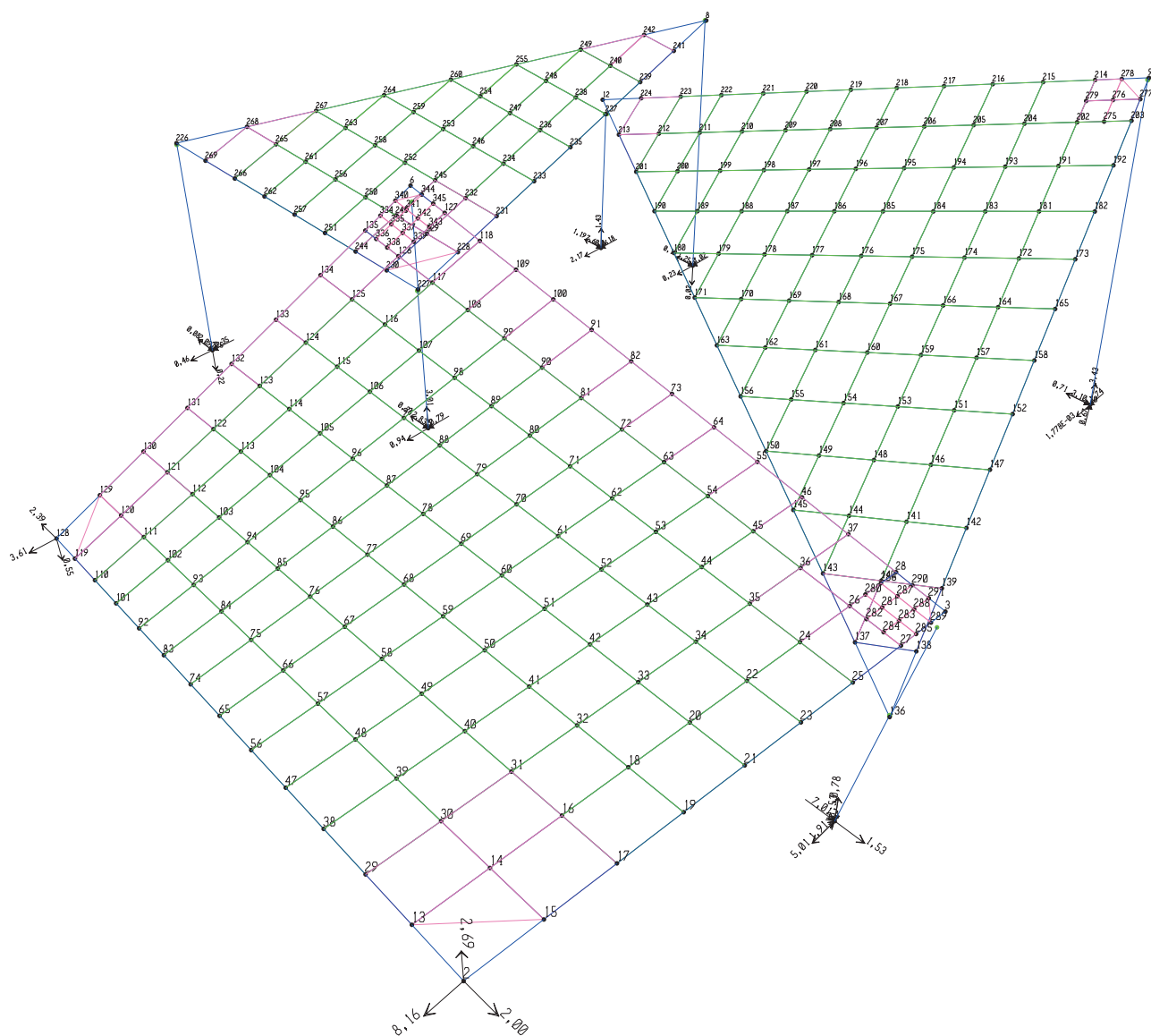


Figura 25. Elementos joints. Uniones.

### 3.2. Grupos de Frames.

Soportes de la estructura realizados con perfil tubular acero S275JR.

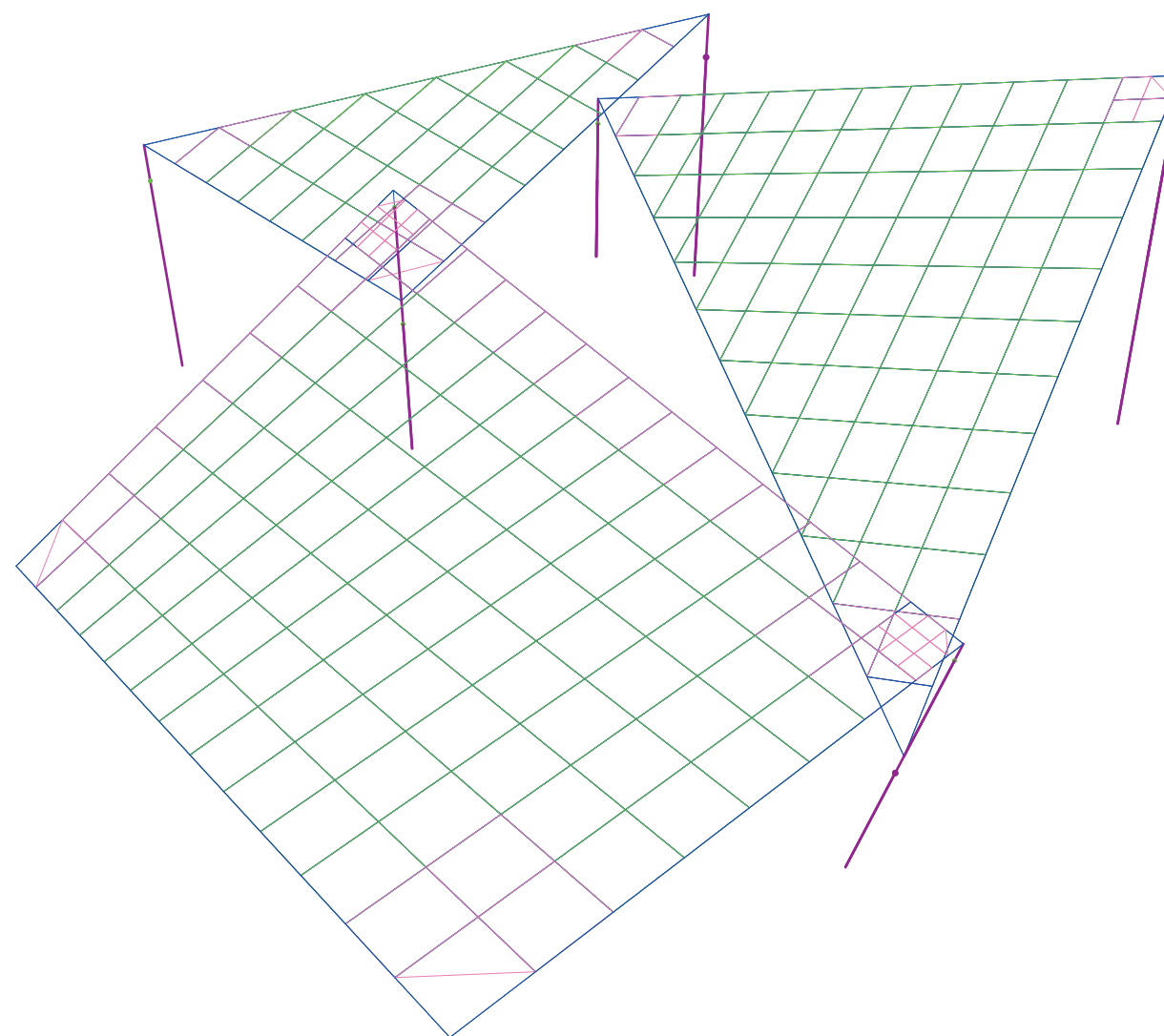


Figura 26. Elementos Frames. Soportes.





### 3.3. Grupos de Shells.

A la hora de definir las secciones correspondientes que forman la membrana, se ha utilizado el elemento shell del programa de cálculo. Hay que destacar que el uso de este modelo ha permitido generar las diferentes secciones que configuran la membrana.

Se ha dividido toda la superficie de la membrana en porciones más pequeñas aproximadamente de 1m<sup>2</sup>. En todas ellas, se ha tomado como centro de la sección el PRFV, añadiendo hacia la parte exterior en algunos bordes las capas de material necesarias para cubrir las necesidades resistentes y de deformación, cada una con su espesor correspondiente. En la figura 27 se muestra la configuración de una sección multicapa genérica.

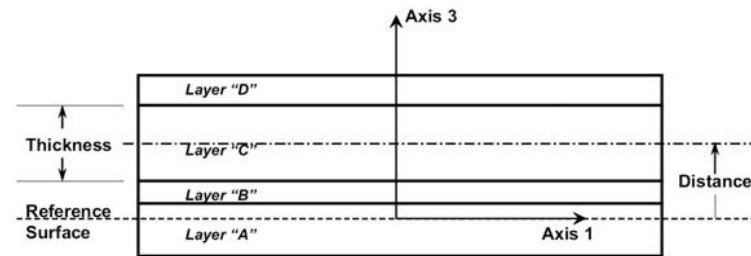


Figura 27. Sección membrana.

La sección básica de la membrana de la estructura es la correspondiente a un espesor de 3,6 mm de PRFV, ya que cada una de las capas que conforman la membrana es de 1,2 mm de espesor

Para que el programa de cálculo pudiera reconocer exactamente que la membrana trabaja a tracción de manera que se encuentre en estado de tensión, simulamos cada una de las secciones realizadas en la modelización, como cables tensados, definiéndolos primeramente en la ventana "define materials" y posteriormente "Define - Section properties - Cable section" y dando un valor a la tensión en una de sus direcciones de 50kg y en la otra dirección perpendicular de 44 kg, de esta manera simulamos la tensión de la membrana en las distintas direcciones " Generación, manipulación y visualización de estructuras tensadas en tiempo real, Javier Sanchez Sierra".

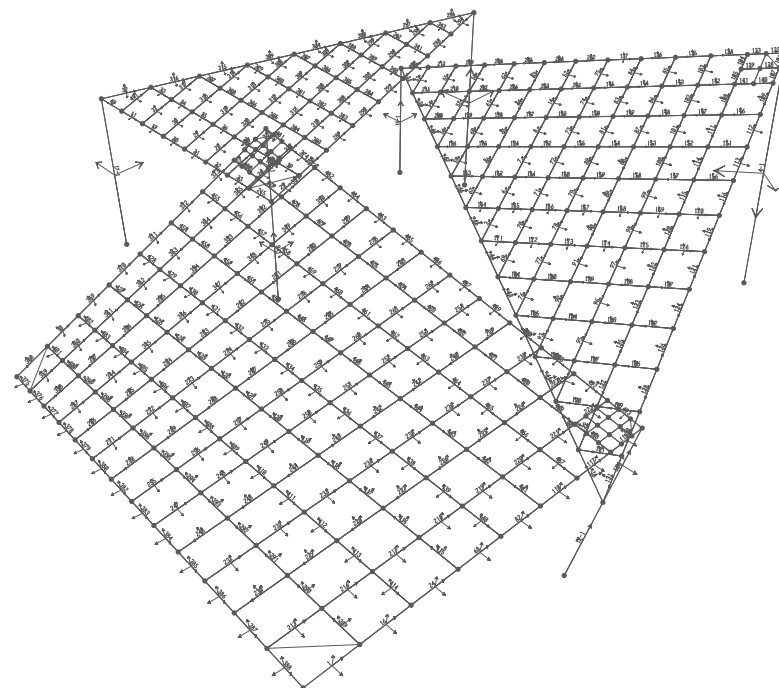


Figura 28. Secciones de la membrana. Definición de los cables

### 4. DISCRETIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA.

Partiendo de las premisas expuestas, se procede a efectuar el análisis de la estructura por medio de ordenador, mediante el método de los elementos finitos.

Para efectuar el análisis, se parte de la discretización de la estructura, en ella se han considerado todos los elementos que componen la estructura a tamaño real y definiendo en los mismos las características elásticas de todos los materiales de que están compuestos los distintos elementos.

Debido a la singularidad de la estructura, la discretización se ha realizado teniendo en cuenta los nudos propios generados por la intersección de shells y barras.

Se ha creado un modelo de elementos finitos a escala real de toda la geometría de la estructura.

### 5. ACCIONES.

Para el cálculo de la estructura objeto de este proyecto, las acciones tenidas en cuenta son las debidas al peso propio y al viento, ya que es una estructura que se encuentra al aire libre y por tanto rechazamos otras hipótesis de cálculo como la nieve, incendio, etc.

Las hipótesis de carga adoptadas para el cálculo son las siguientes:

#### 5.1. Peso propio.

El peso propio, lo asigna el programa acorde a las características propias del material, así como la definición volumétrica del mismo.

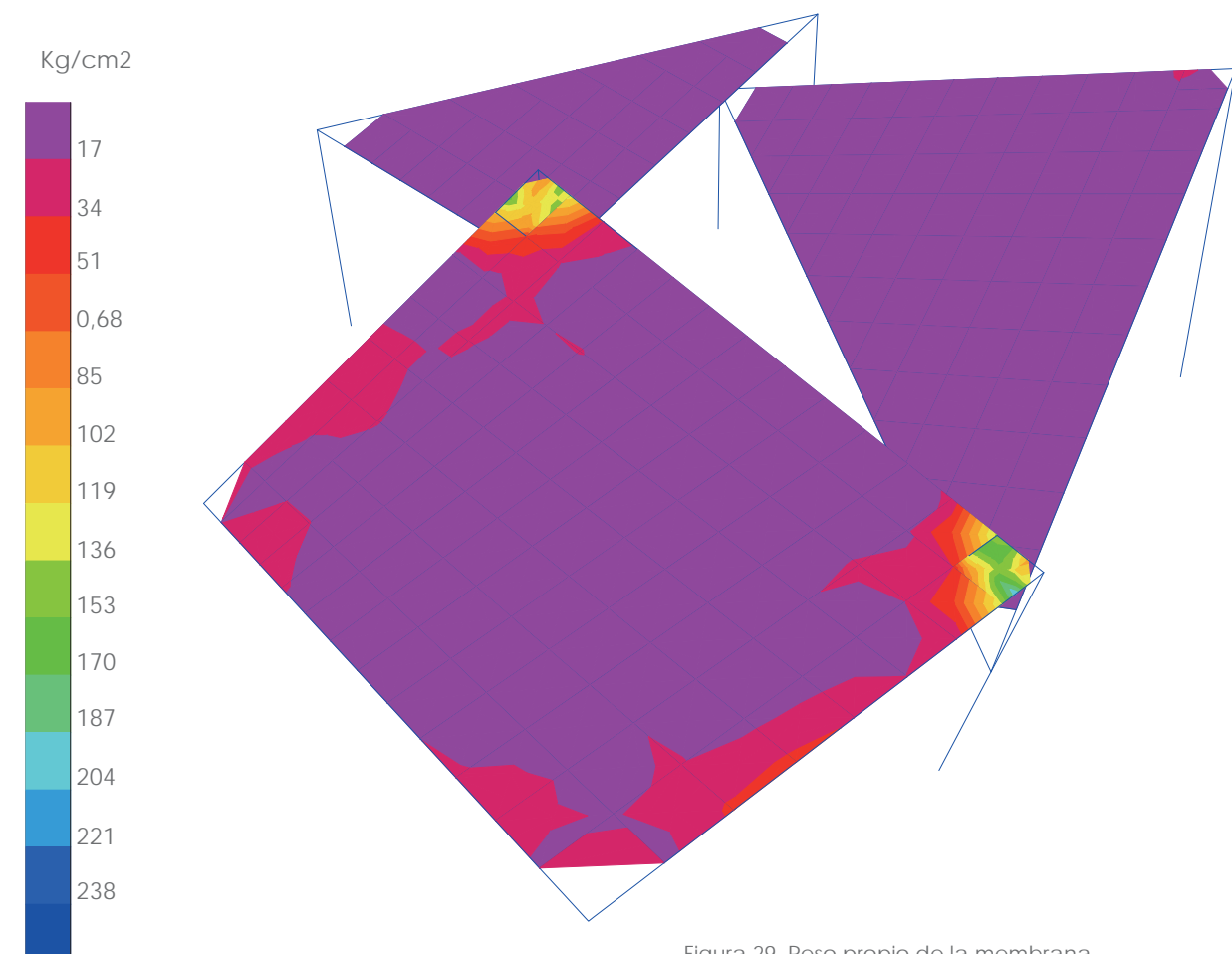


Figura 29. Peso propio de la membrana



5.2. Viento.

La acción de viento, en general, una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, y puede expresarse según el CTE AE como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Siendo:

- $q_b$  La presión dinámica del viento.
- $c_e$  El coeficiente de exposición.
- $c_p$  El coeficiente eólico o de presión.

5.2.1. Presión dinámica del viento. ( $q_b$ )

Obtenemos dicho coeficiente mediante la figura D.1 del anejo D, del CTE DB AE, en función del emplazamiento geográfico de la estructura.



Siendo el coeficiente para las distintas zonas el siguiente:

- Zona A: 0,42 kN/m<sup>2</sup>
- Zona B: 0,45 kN/m<sup>2</sup>
- Zona C: 0,52 kN/m<sup>2</sup>

En nuestro caso, puesto que la estructura tensada está situada en la ciudad de Valencia, el coeficiente de presión dinámica del viento a utilizar será de 0,42 kN/m<sup>2</sup>.

5.2.2. El coeficiente de exposición. ( $c_e$ )

El coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la estructura. Dicho coeficiente lo determinaremos mediante la tabla 3.4, del punto 3.3.3, del citado documento.

En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse un valor constante independientemente de la altura del edificio, un valor de 2.

En nuestro caso, adoptamos este valor ya que es una estructura tensada abierta y 2 como coeficiente de exposición es lo suficientemente válido.

5.2.3. El coeficiente eólico o de presión. ( $c_p$ )

Dicho coeficiente depende de 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 del mismo indica succión. Para el cálculo de dicho coeficiente nos remitiremos al anejo D del CTE DB AE, concretamente al apartado D.3.

Atendiendo a la colocación de las membranas en la estructura, el viento que nos influye es un viento de presión sobre las membranas, además están colocadas en la dirección del viento.

Se supone como más desfavorable el viento por presión, ya que la estructura está protegida por la carpintería. Teniendo en cuenta la siguiente tabla:

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
Coefficiente eólico de presión, $c_p$	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coefficiente eólico de succión, $c_s$	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Adoptando la menor esbeltez en el plano paralelo al viento, un coeficiente de 0,7 está definido para edificios de pisos, nosotros por ser una estructura tensada adoptamos un coeficiente menor de 0,5.

De esta forma, y teniendo en cuenta los anteriores aspectos, tenemos:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2 \cdot 0,5 = 0,42$$



Una vez introducida la fuerza del viento y realizado el análisis de la estructura, obtenemos el siguiente diagrama de la acción del viento en la membrana:

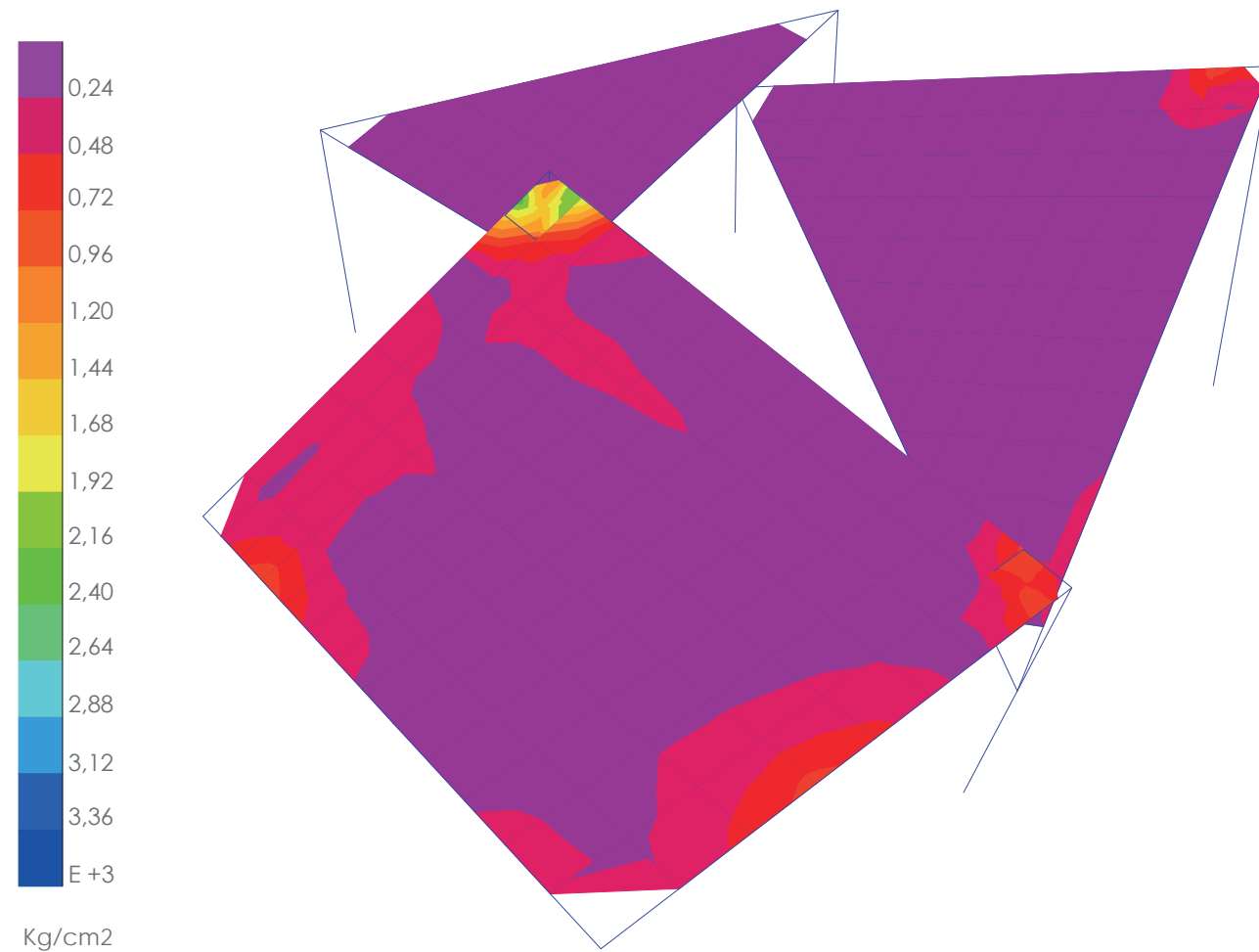


Figura 30. Acción del viento en la membrana

### 5.3. Combinaciones de carga.

La hipótesis de carga combinada es la siguiente:

$$- 1,00 \cdot \text{Peso propio} + 1,5 \cdot \text{Carga de viento}$$

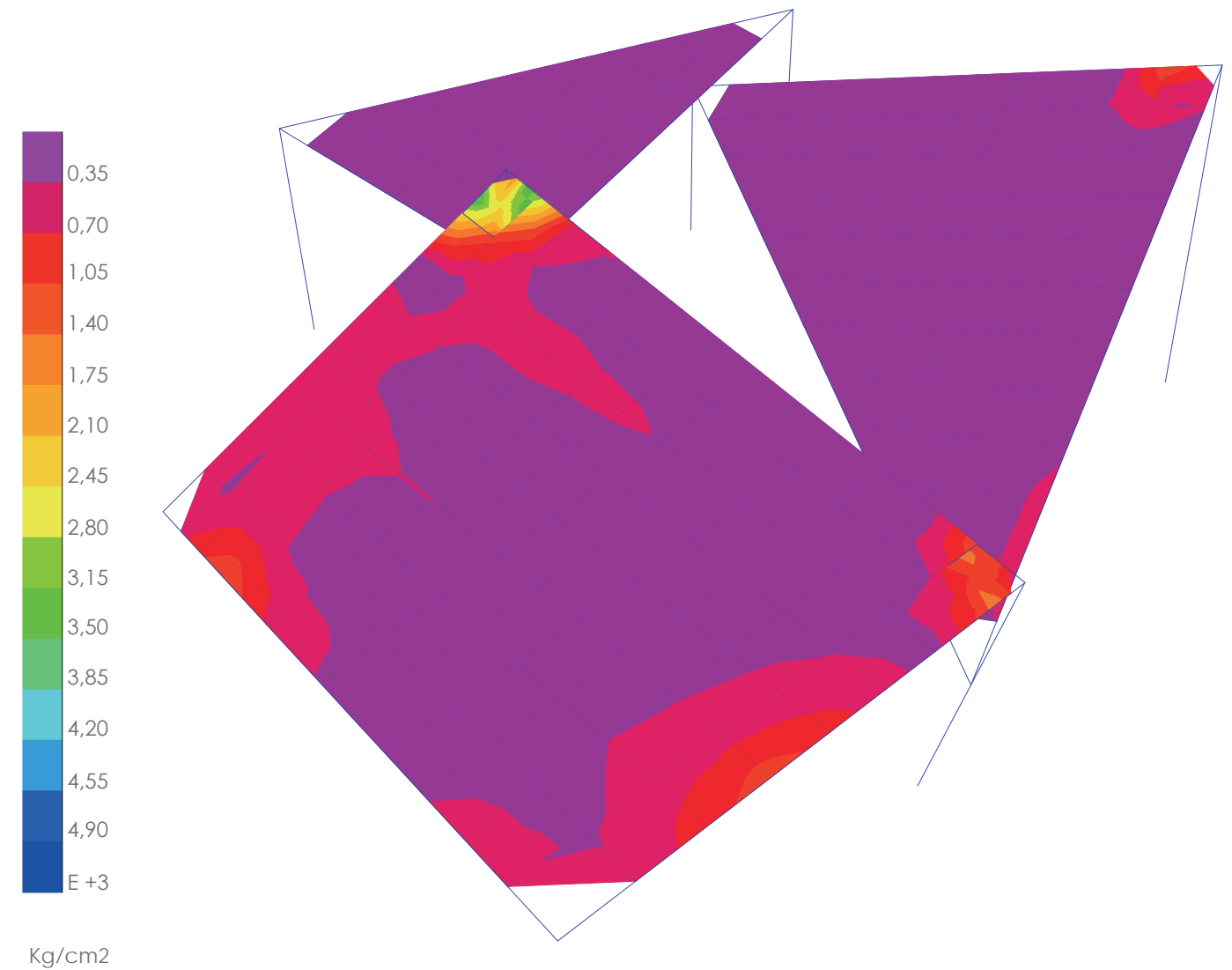
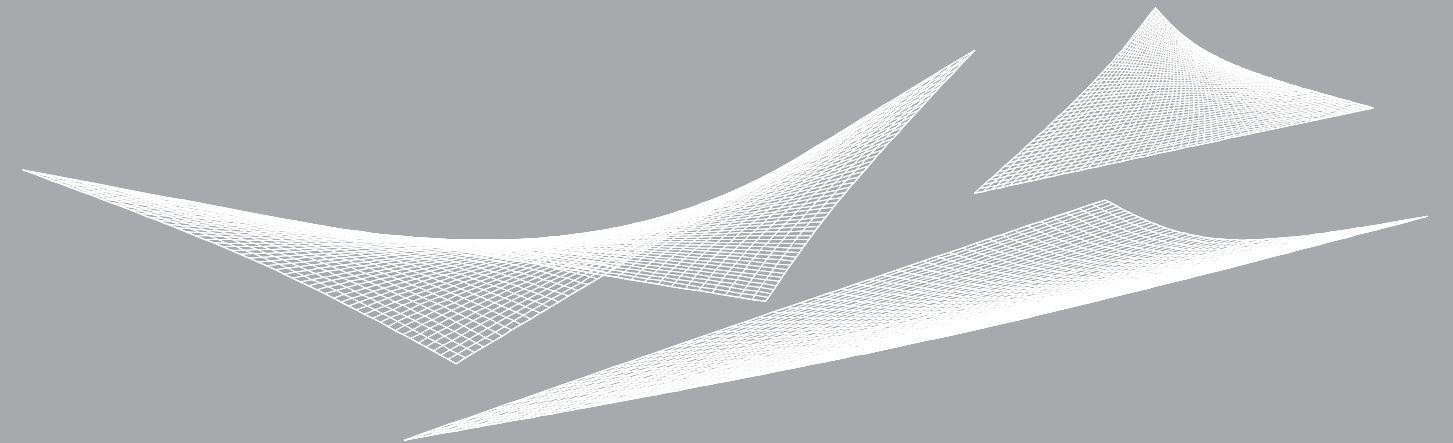


Figura 31. Acción de carga combinada en la membrana

Atendiendo a todos los resultados obtenidos a través del programa de cálculo SAP2000 y teniendo en cuenta todas las características introducidas de los materiales, la membrana utilizada para la ejecución de la cubierta de la estructura, cumple perfectamente las condiciones frente a los esfuerzos que debe soportar.

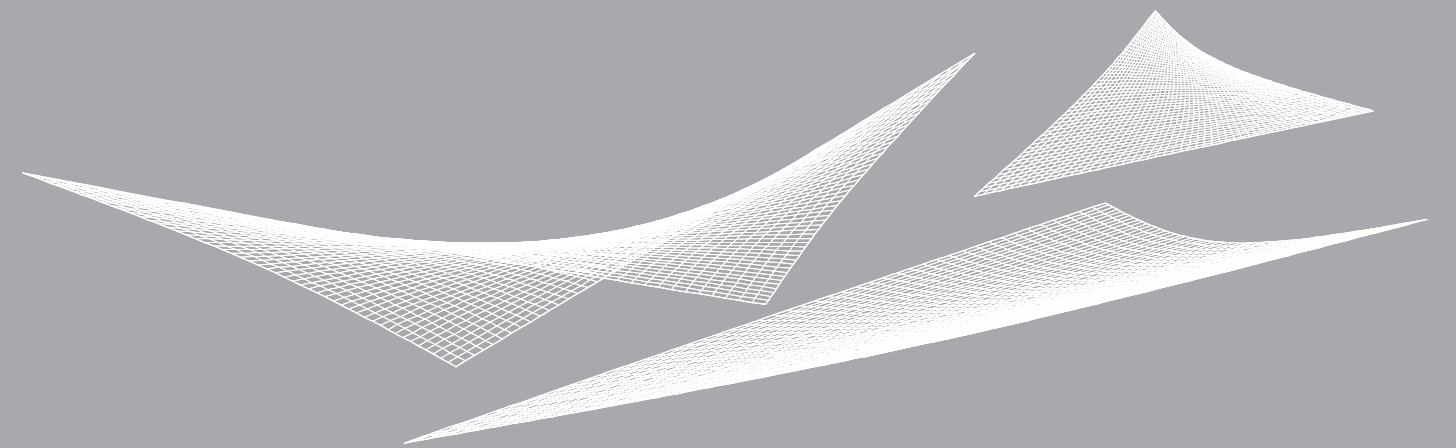
Además basándonos en un estudio de materiales para membranas de estructuras tensadas "Generación, manipulación y visualización de estructuras tensadas en tiempo real" realizada por el Dr. Javier Sánchez Sierra, en la tabla 2.3. de las propiedades mecánicas de materiales textiles, este tipo de membrana es capaz de soportar hasta 70kg por metro cuadrado, por lo tanto está capacitada para soportar los esfuerzos correspondientes de peso propio y de viento.

## 4. PROYECTO Y EJECUCIÓN DE ESTRUCTURA TENSADA



- 4.1. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL
- 4.2. ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES
- 4.3. LA ESTRUCTURA TENSADA
  - 4.3.1. INTRODUCCIÓN
  - 4.3.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA
  - 4.3.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO
  - 4.3.4. DETALLES CONSTRUCTIVOS
- 4.4. PRESUPUESTO

## 4. PROYECTO Y EJECUCIÓN DE ESTRUCTURA TENSADA



### 4.1. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL



IMAGEN 13. Universitat Politècnica de València.

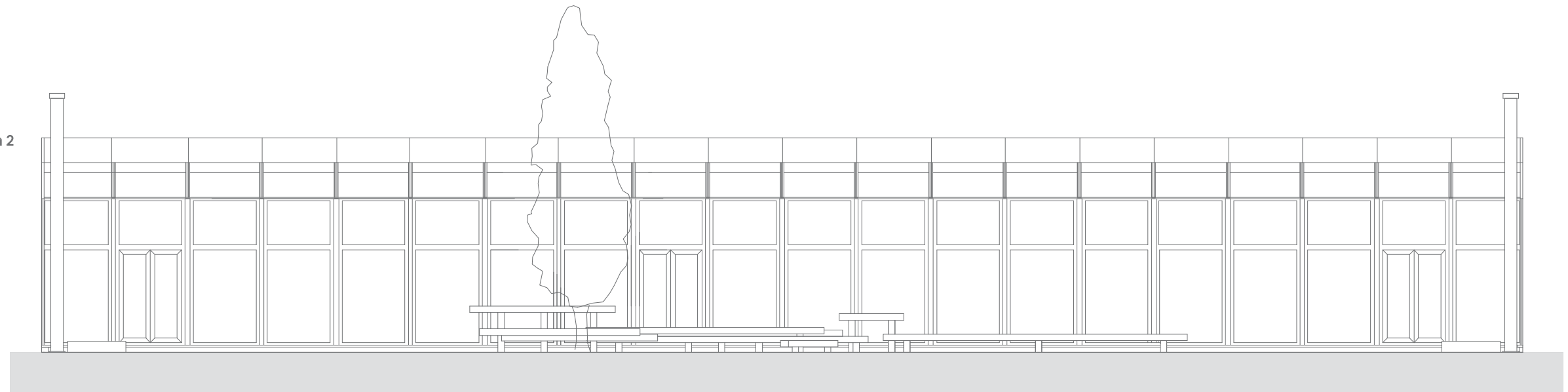
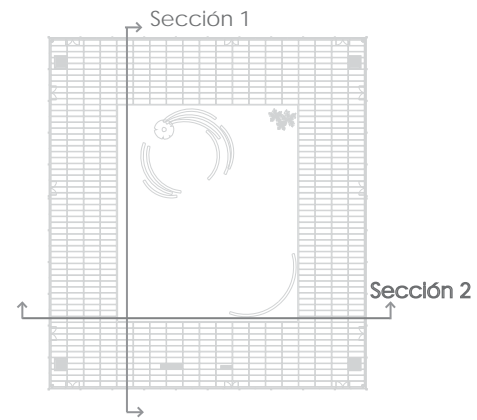
1º. En primer lugar, realizamos un análisis de todas las zonas de las que está compuesta nuestra escuela, que es el lugar donde se va a desarrollar el proyecto de ejecución de la estructura ligera.



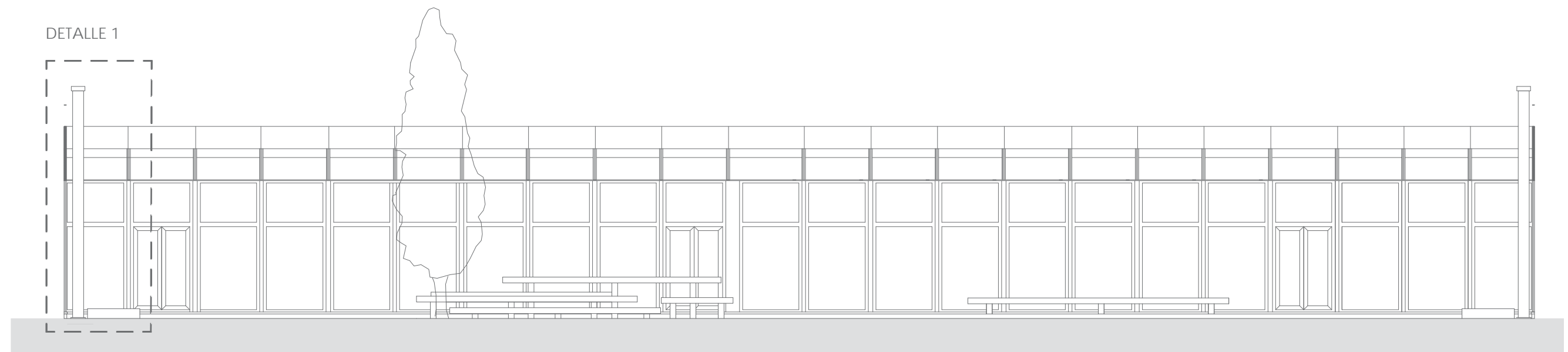
Figura 32. Distribución de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación.



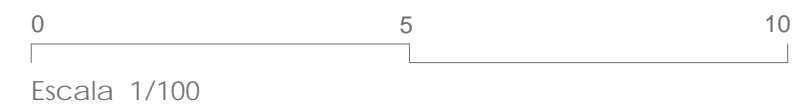
2º. Secciones realizadas desde distintos puntos de vista del patio donde se desarrolla el presente proyecto.



Sección 1



Sección 2



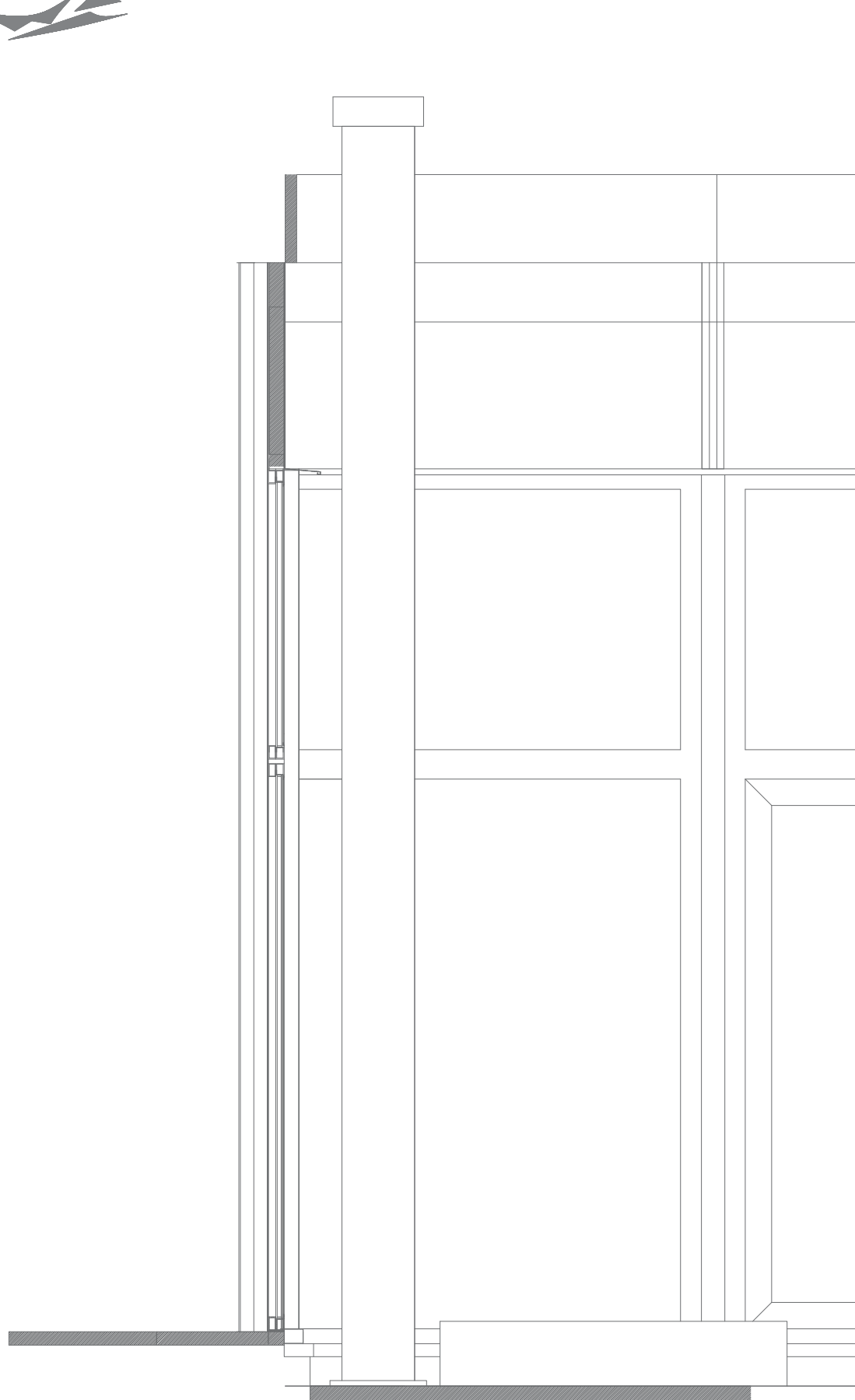


IMAGEN 14. Carpintería del patio interior de la ETSIE.



IMAGEN 15. Puerta de acceso al patio interior de la ETSIE.



IMAGEN 16. Pavimento de loseta de hormigón prefabricado.

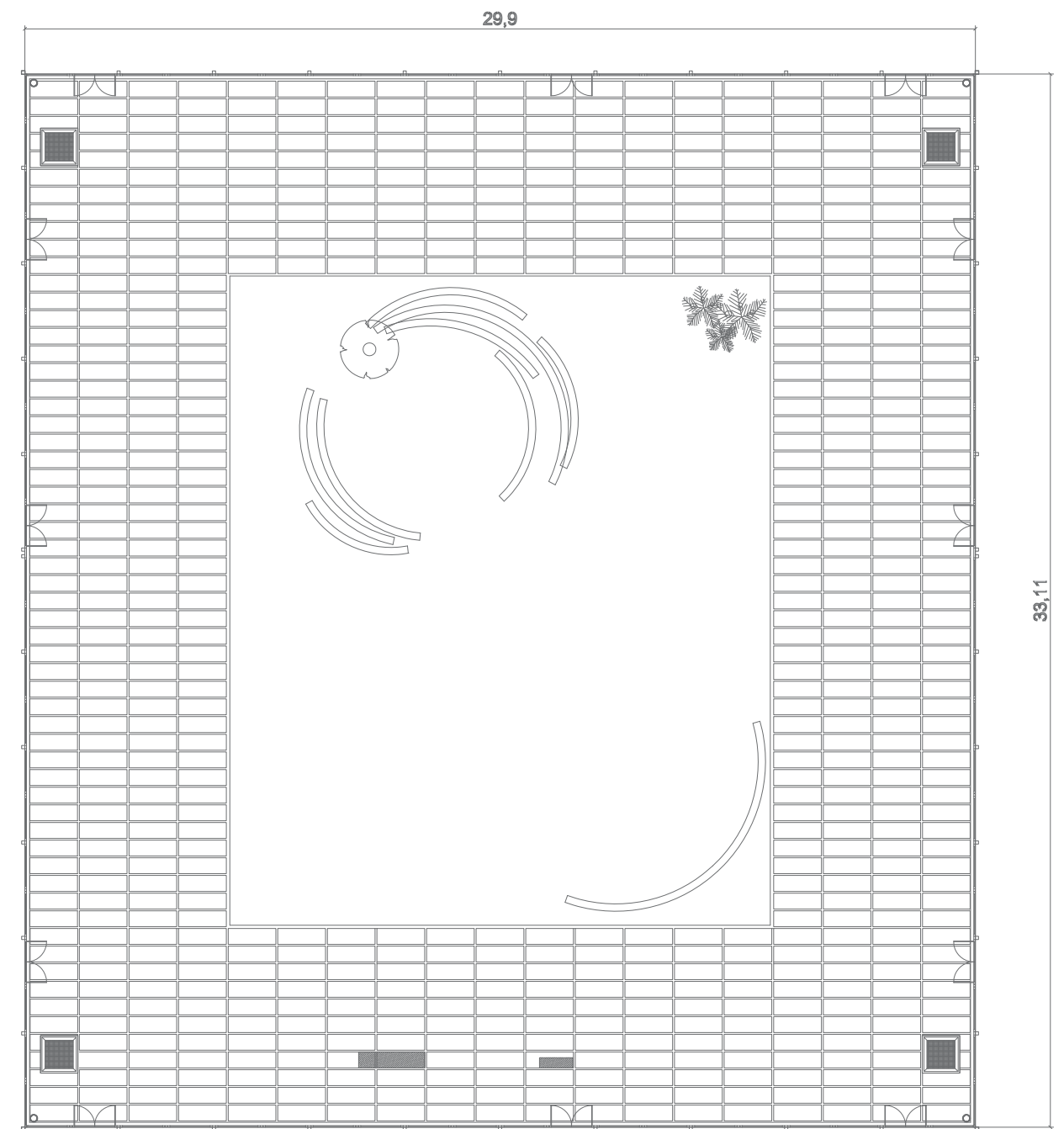
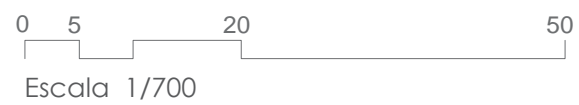
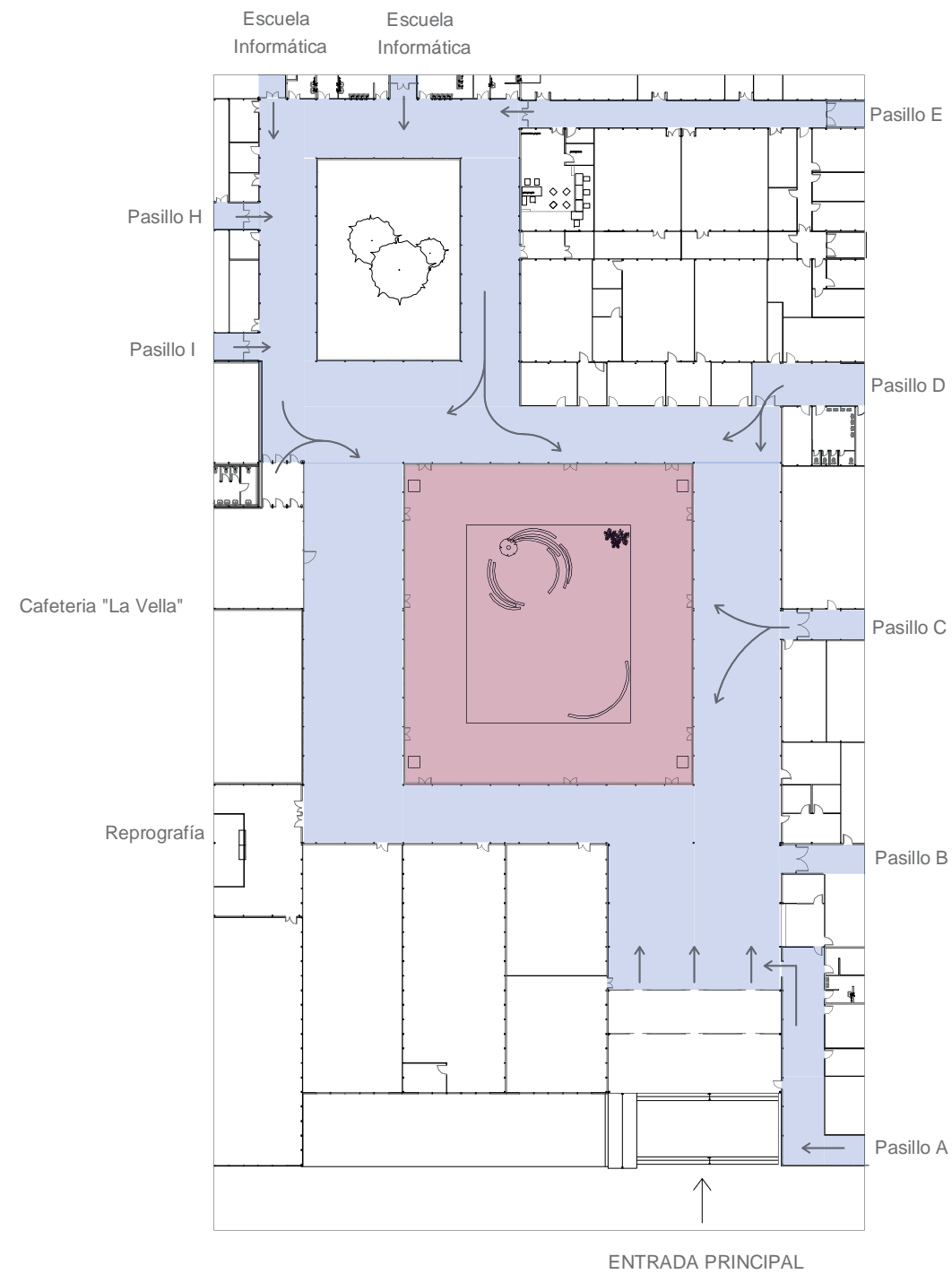
0 1 2  
Escala 1/20





3º. Recorrido y accesos al patio donde se ejecutará la estructura, desde el exterior de la escuela.

4º. Planta del patio objeto donde se desarrolla el proyecto, con los 12 accesos a éste desde el interior de la escuela. No todos estos accesos están habilitados para la entrada al patio hoy en día.



Planta

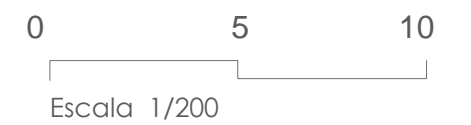




IMAGEN 17. Puerta de acceso al patio.



IMAGEN 18. Pavimento de baldosa hidráulica.



IMAGEN 19. Instalaciones.



IMAGEN 20. Zona de bancos a cubrir.



IMAGEN 21 Instalaciones.



IMAGEN 22. Restos existentes de talleres de construcción .



IMAGEN 23. Puerta de acceso al patio.

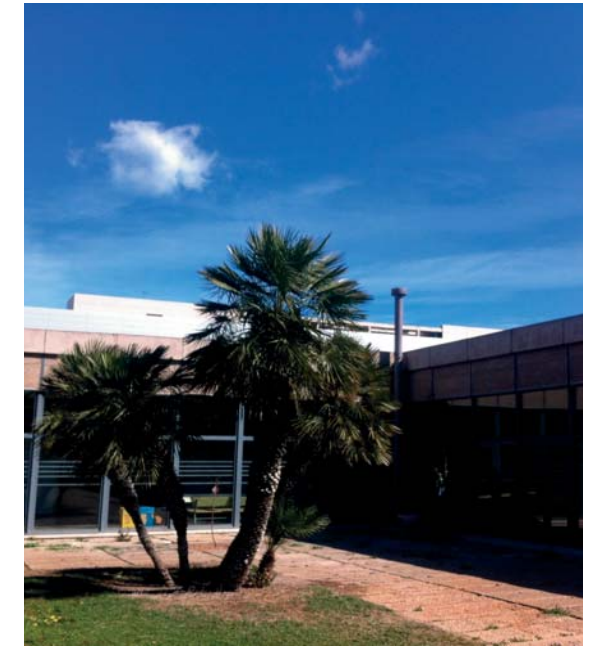
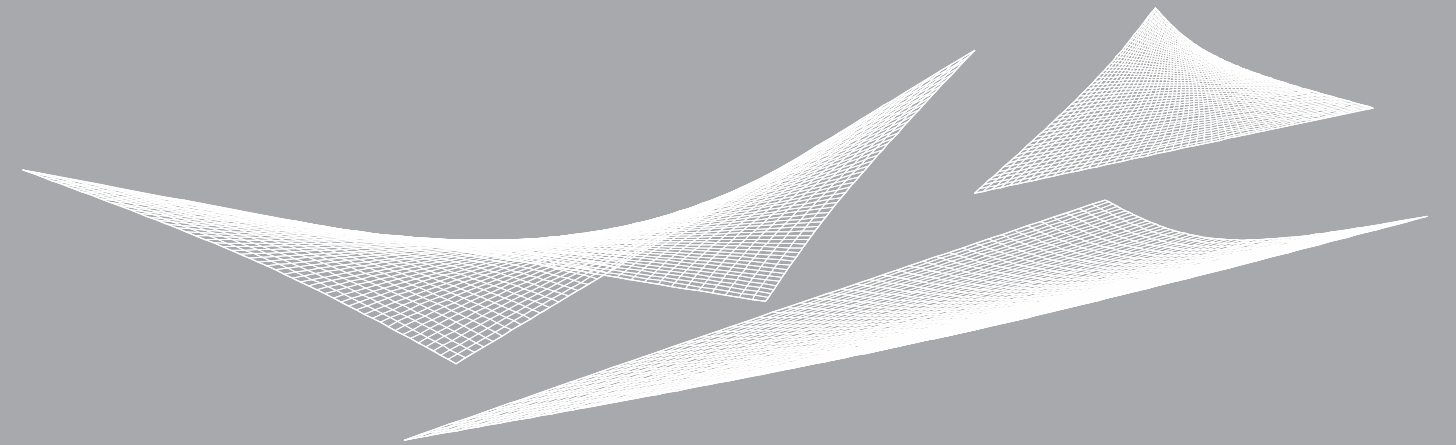


IMAGEN 24. Vegetación existente del patio.

## 4. PROYECTO Y EJECUCIÓN DE ESTRUCTURA TENSADA



### 4.2. ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES



IMAGEN 25. Puerta de acceso al patio.

### ACCESIBILIDAD

Sería necesario, realizar una de las entradas al patio, así como la adecuación de éste, para que fuera accesible a personas con movilidad reducida.

Estudiaremos las posibles soluciones a realizar, adecuándose en la mayor medida posible al estado actual de la carpintería y realizar los menores cambios posibles.

En total hay 12 puertas por las que se puede acceder al patio interior de la ETSIE, hemos decidido que no todas las puertas estarán disponibles para acceder a éste, serán dos de ellas por las que se podrá acceder, y una de ellas es la que será accesible a personas con movilidad reducida.



IMAGEN 26. Pavimento de baldosa hidráulica con acabado de canto rodado

### SUSTITUCIÓN/REHABILITACIÓN DE PAVIMENTO

Sería conveniente la sustitución / rehabilitación del pavimento. Si en el proyecto se plantea el hacer una puerta accesible a personas con movilidad reducida, el pavimento también debe de serlo.

Planteamos dos opciones de estudio:

1. Rehabilitar o sustituir el pavimento muy deteriorado y rellenar las juntas entre las baldosas que componen todo el pavimento.
2. Verter una capa de hormigón en masa autonivelante aproximadamente de 2cm de espesor por encima del pavimento existente.

### SUPERFICIE SINGULAR PARA CUBRIR LA ZONA DE BANCOS

Diseñar una estructura ligera para cubrir la zona de asientos del patio a partir de un diseño funcional y estético basado en las superficies singulares.



IMAGEN 27. Zona de bancos a cubrir con la superficie singular.

### HABILITAR OTRA ZONA DE DESCANSO/ESTUDIO/REUNIÓN

Adaptar otra zona de descanso con mobiliario que permita al alumnado descanso, reunión e incluso comida. Será objeto de estudio la colocación de este mobiliario en la zona cubierta por las lonas y en la zona verde no cubierta del patio.



IMAGEN 28. Zona donde habilitar mobiliario para descanso.



REHABILITACIÓN / SUSTITUCIÓN / REMODELACIÓN DEL PAVIMENTO

- Pavimento actual en el patio interior de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación: Baldosa hidráulica de hormigón prefabricado con acabado de canto rodado.



IMAGEN 29. Pavimento actual de baldosa hidráulica.



IMAGEN 30. Pavimento actual de baldosa hidráulica.

Proponemos dos opciones de estudio, teniendo en cuenta los objetivos de realizar un pavimento que sea accesible, abaratar costes y que mantenga la estética del patio.

**Propuesta 1:** Realizar una rehabilitación del pavimento actual. Se sustituirán todas las baldosas que estén deterioradas en la zona donde se va a ejecutar la estructura, por las baldosas del mismo modelo que estén situadas en el patio, pero en otra zona que no sea tan transitada, como por ejemplo de los bordes. Posteriormente se rellenarán las juntas entre éstas con un hormigón que tenga el mismo acabado, o lo más parecido posible para dar homogeneidad a todo el pavimento.

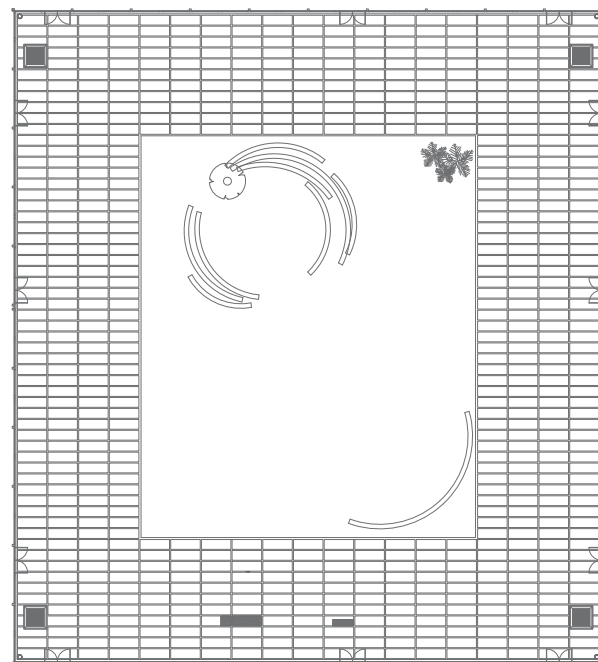


Figura 32. Pavimento con juntas rellenas de hormigón de árido visto

- Dimension de las juntas:  
Ancho: 0,055 m  
Profundo: 0,05 m
- Dimensiones del patio:  
29,80 x 33 m
- Número de juntas:  
horizontales 58  
verticales 18
- Total m2 de hormigón de árido visto para relleno de juntas:  
 $0,055 \times 18 \times 33 = 32,67 \text{ m}^2$   
 $0,055 \times 58 \times 29,80 = 95,1 \text{ m}^2$   
  
total: 128 m2

**Propuesta 2:** Realizar una capa de hormigón de árido visto para mantener la estética del patio, de 2-3 cm de espesor por encima del pavimento de baldosa hidráulica existente.

Características:

- Es un tipo de pavimento de hormigón con acabado rugoso debido a que está formado por hormigón y distintos tipos de áridos.
- Viene ya mezclado con el hormigón o se puede poner en la superficie hormigonada.
- El árido visto proporciona al pavimento un aspecto estético muy atractivo, integrándose en cualquier tipo de entorno.
- Un acabado de árido visto le da un aspecto espectacular con un menor coste.
- La superficie es duradera, antideslizante, y resistente a condiciones meteorológicas extremas.

**Diseño:** Cualquier diseño es posible, puesto que no hay límites, ya que los tipos de áridos son innumerables, además de disponer de plantillas, estampación y colores.

**Mantenimiento:** Debido a la durabilidad del árido visto y la resistencia al clima y el tráfico pesado, hay poco o ningún mantenimiento excepto un lavado de vez en cuando. Si se aplica un sellador de superficie transparente podemos alargar la vida útil del pavimento y ayudar a protegerlo de las condiciones más duras, tales como: el polvo, las manchas y la abrasión. Los selladores de superficie acentúan el color proporcionando más riqueza y profundidad al árido visto.



IMAGEN 31. Pavimento de hormigón de árido visto.



IMAGEN 32. Pavimento de hormigón de árido visto.

Hemos realizado todo el cálculo, teniendo en cuenta las juntas y toda la superficie del patio que está cubierta con el pavimento actual de baldosa hidráulica, y el total necesario para cubrir toda la superficie será de 635 metros cuadrados de hormigón de árido visto aproximadamente.



ACCESIBILIDAD / PUERTAS DE ACCESO AL PATIO

Para acceder al patio desde el interior de la facultad se dispone de 12 puertas abatibles con carpintería de (PVC/Aluminio).

No es necesario que todas las puertas de acceso estén disponibles para la entrada al patio del alumnado, por tanto, se dispondrá para la entrada a éste sólo de dos puertas de acceso, una que esté próxima a la entrada principal, y otra que esté próxima a la zona de la cafetería, que es una de las zonas más transitada por el personal que ocupa la escuela.

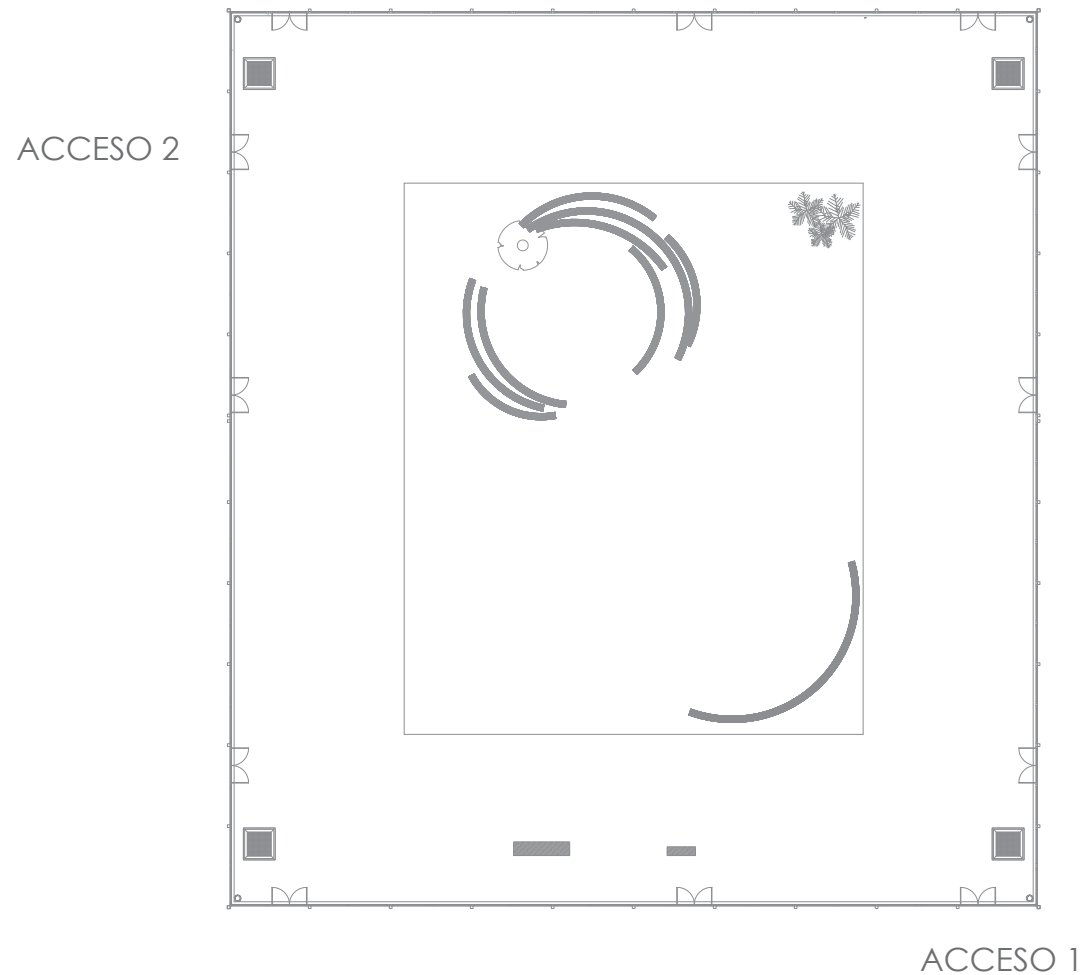


Figura 34

ACCESO 1: Acceso cercano a la entrada principal de la escuela.

ACCESO 2: Acceso cercano a la zona de la cafetería.

De los dos accesos de los que dispondríamos para acceder al patio, en uno de ellos, el ACCESO 2, se realizarán los cambios necesarios para hacerlo accesible a personas con movilidad reducida.

Llevaremos a cabo una serie de objetivos:

- Mantener el módulo de la carpintería del acceso actual.
- Que el nivel del pavimento interior de la escuela de acceso mediante una rampa, si fuera necesario, al pavimento del patio interior.

Para ello, planteamos dos opciones:

1. Colocación de una puerta de dos hojas descompensadas, de 0,45 y 1,10 de ancho cada una de ellas, con una altura de 2,10 m y un sensor de infrarrojo.
2. Colocación de una puerta acristalada, de dos hojas, corredera con sensor de infrarrojo de 180 grados, cada una de las hojas de 0,80m de ancho y 2,10 m de altura.

Estudio del presupuesto:

1. Presupuesto de la empresa, carpintería de aluminio Cetur.S.L. 1542 euros.
2. Presupuesto de la empresa Comercial Felman S.L. 3.200 euros.

Teniendo estas dos soluciones y los presupuestos, valoramos que el trabajo a realizar y la función de cada una de las opciones es la misma, optaremos por la opción más económica.



Se adaptará una zona de descanso, con un mobiliario con posibilidad de darle determinados usos, como por ejemplo, realizar actividades lúdicas, talleres, leer, estudiar, reunirse con los compañeros, etc. Este mobiliario es de la empresa Escofet, la cual ha suministrado en otras ocasiones material de este tipo a la Universidad Politécnica de Valencia. De hecho, gran parte de los jardines que componen la universidad Politécnica, contienen algún mobiliario de esta empresa.

- Islero

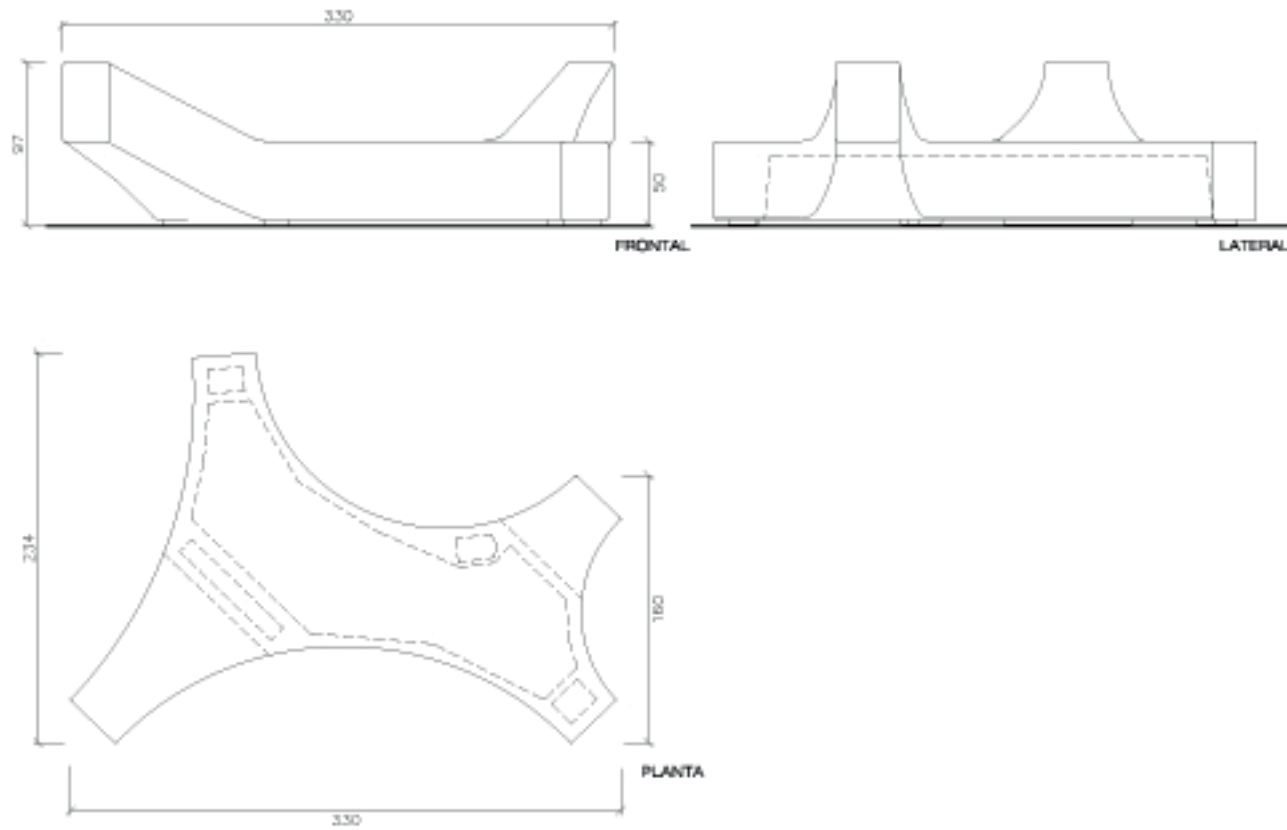
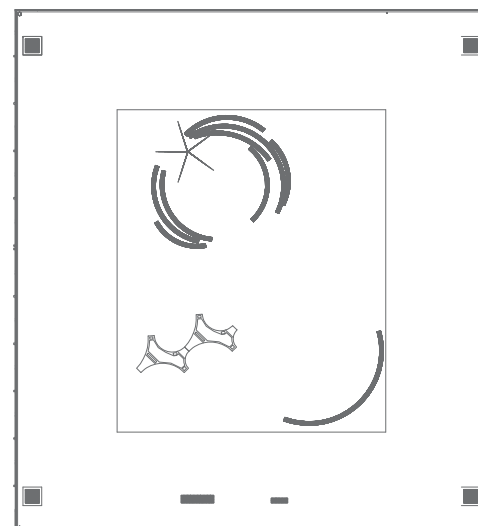


Figura 35



- Flor

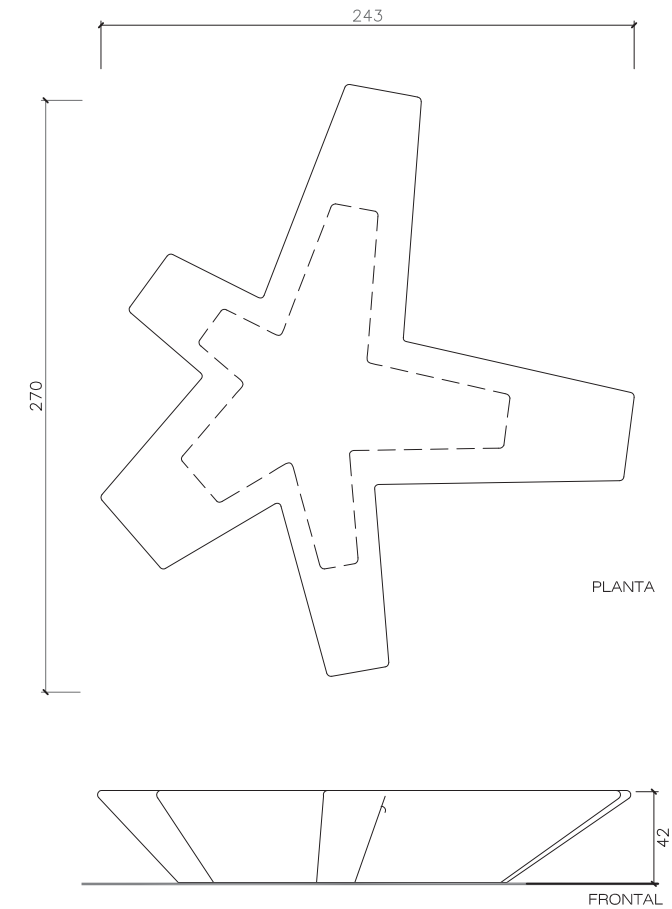
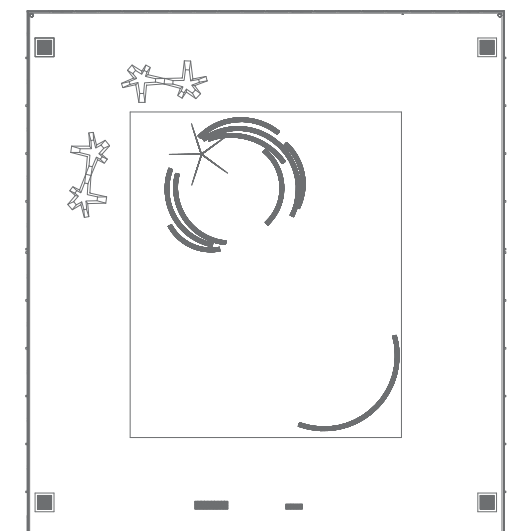
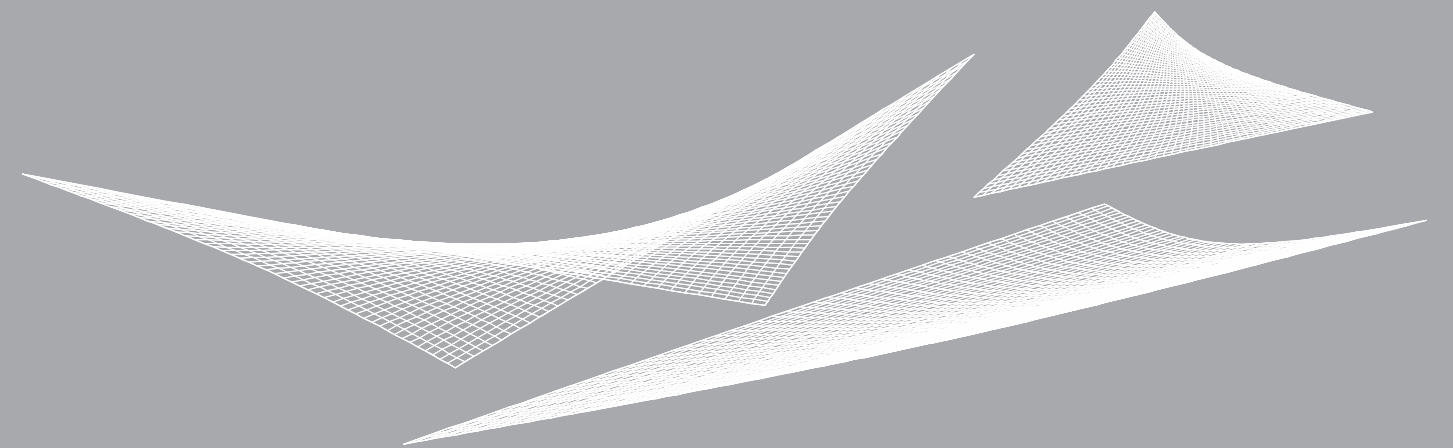


Figura 36



## 4. PROYECTO Y EJECUCIÓN DE ESTRUCTURA TENSADA



### 4.3.1. INTRODUCCIÓN





## 1. INTRODUCCIÓN A LAS ESTRUCTURAS TENSADAS.

Una tenso-estructura es una superficie delgada y flexible que soporta las cargas únicamente a través del desarrollo de esfuerzos de tracción. Las tenso-estructuras abarcan diversas categorías que van desde las membranas textiles, las redes de cables pretensados, cables en forma de celosías o vigas, estructuras neumáticas soportadas por aire y algunas membranas de concreto armado.

Estas han sido usadas de diversas formas como en cerramientos y techos, estructuras suspendidas (puentes), en elementos decorativos y otros, mostrando una eficiencia estructural y formas artísticamente estéticas.

La capacidad y facilidad a la hora de cubrir grandes espacios le da una característica adicional que contrasta inmediatamente con otros sistemas tradicionales. Esto permite desarrollar tenso-estructuras de gigantes dimensiones que cubren grandes estadios y pabellones de exhibición, hasta pequeñas cubiertas y marquesinas cuya función no va más allá de proteger del sol y la lluvia, que es lo que pretendemos con nuestra estructura.

Elas se componen principalmente por elementos totalmente flexibles, entre éstos tenemos la membrana textil y los cables. Además de ellos existen elementos rígidos como lo son el mástil y los puntos de anclaje que soportan y mantienen la tensión de los otros elementos. De esta manera se forma un sistema basado en la flexibilidad y la tensión.



IMAGEN 33. Estructura tensada en Politécnico Colombiano Jaime Isaza.



IMAGEN 34. Estructura tensada.

La observación de las formas que adoptan las estructuras tensadas hace que se empleen técnicas basadas en el ajuste de superficies paramétricas para la representación de las mismas. El hecho de que las estructuras tensadas adopten formas de equilibrio tiene, como ventaja, que las superficies no presentan discontinuidades en su curvatura, lo que las hace ideales para poder ser fácilmente representadas mediante superficies paramétricas.

De esta manera se pueden combinar aspectos geométricos con aspectos estructurales para llegar, así, a la forma de equilibrio deseada.

Una de las herramientas informáticas que puede y hemos utilizado, como hemos explicado anteriormente, es el programa SAP2000, utilizado para el cálculo de estructuras, teniendo en cuenta el tipo de materiales a emplear y todas las propiedades de cada uno de ellos, para la realización del cálculo de la estructura.

## 2. COMPORTAMIENTO.

La tensión o tracción es una fuerza usada para halar las estructuras moleculares de un material. Es la forma más eficiente de usar cualquier material debido a que se utiliza el eje de sección del material en su totalidad, en vez de las fuerzas que solo se producen en materiales rígidos donde se producen fuerzas más complejas de flexión debido a la compresión que también se genera.

Tomando como ejemplo una simple barra de cualquier material, éste se romperá bajo compresión o soportando fuerzas de corte y flexión mucho antes de que la tracción la estire.

La fuerza de tracción maximiza la capacidad de los materiales de soportar las cargas, o poniéndolo de otra manera, se requerirá menor uso del material. Las estructuras textiles tensadas son, entonces, aquellas en donde en todas sus partes trabajen a tracción. La regla fundamental para la estabilidad, es que estas estructuras adquieran curvaturas en direcciones opuestas, brindándole a las cubiertas su estabilidad dimensional.

En cuanto al funcionamiento, las cuerdas y cables son los elementos más simples que resisten cargas a tracción, y ésta gobierna su diseño. Los cables están sujetos en sus extremos en forma puntual o distribuidos a lo largo del borde.

## 3. ELEMENTOS Y MATERIALES.

Las estructuras tensadas se componen principalmente por una membrana textil y una red de cables altamente flexibles, por lo que sus elementos forman un sistema basado en la flexibilidad y la tensión.

Para lograr que este sistema funcione correctamente debe existir una jerarquía de elasticidad entre los elementos, la membrana debe ser más elástica que los cables, a su vez, éstos deben extenderse más que los elementos rígidos que los soportan.

Al cumplirse esta jerarquía la tenso-estructura será más fácil de construir y tendrá un comportamiento predecible y eficiente al someterse a las cargas.

- Cables.

Actúan como tensores, refuerzan la membrana textil y mantienen al mástil en su posición. Están hechos de acero muy resistente y se fabrican en diversas presentaciones según las tensiones y cargas que deben soportar.

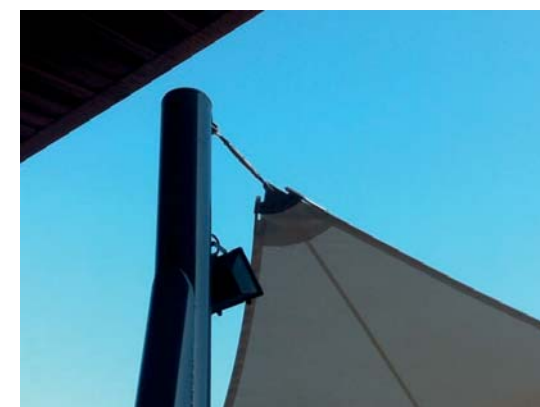


IMAGEN 35. Estructura tensada Centro Comercial Bonaire (Valencia)



IMAGEN 36. Estructura tensada Centro Comercial Bonaire (Valencia)



- Membrana textil.

Es el elemento que genera el recinto o espacio cubierto, es ligero y define la forma de la tenso-estructura, además brinda la posibilidad de cubrir grandes superficies. El material que la compone debe ser resistente a las condiciones externas, tales como el viento, el agua, y garantizar la durabilidad del mismo. En la mayoría de los casos también debe transmitir la luz del día y reflejar el calor.

El material del cual está compuesta nuestra membrana es de poliéster reforzado con fibra de vidrio. La tela como material industrial se suministra en bobinas de anchos que varían entre 1,2 m y 2,0 m como término medio. Por esta razón se requiere unir los diferentes fragmentos a través de juntas; entre las más utilizadas tenemos juntas cocidas, pegadas, soldadas, y practicables. De igual forma, el textil debe unirse a los elementos de anclaje y los bordes rígidos, éstos mantendrán la tensión que le da forma a la membrana.



IMAGEN 37. Membrana textil. Centro Comercial Bonaire (Valencia)



IMAGEN 38. Membrana textil Centro Comercial Bonaire (Valencia)

- Relingas.

Son los refuerzos que se emplean en los bordes de la membrana, ya que en este punto tienden a acumularse las tensiones que la membrana está soportando en todas las direcciones en cualquier punto de su superficie. Las relingas absorben las tensiones de tracción longitudinales que se concentran en los bordes y entre los puntos de fijación o anclajes.

Existen dos tipos de relinga: la flexible, que se ancla en dos puntos y entre ellos se de forma según las tensiones de la tela hasta equilibrarlas, y la relinga rígida, que se fija por puntos y está sometida principalmente a flexión, absorbiendo los esfuerzos de la tela que las une. Ambas pueden ser interiores o exteriores y pueden ser de fibra o cable metálico. En nuestra estructura utilizamos relinga interior de cable de acero S275JR.



IMAGEN 39. Relinga de borde interior.



IMAGEN 40. Relinga de borde interior.

- Mástil

El mástil es un poste vertical que genera la altura o punto más alto de la tenso-estructura, además sostiene y tensa la membrana manteniendo su forma. Las tenso-estructuras pueden requerir de un solo mástil que levante un solo punto (interno o externo) de la membrana o varios puntos componiendo un sistema más complejo y generando formas más diversas como sucede en nuestra estructura.

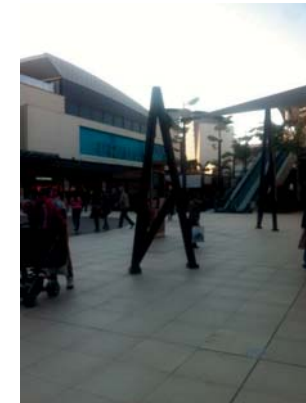


IMAGEN 41. Mástil de estructura tensada.

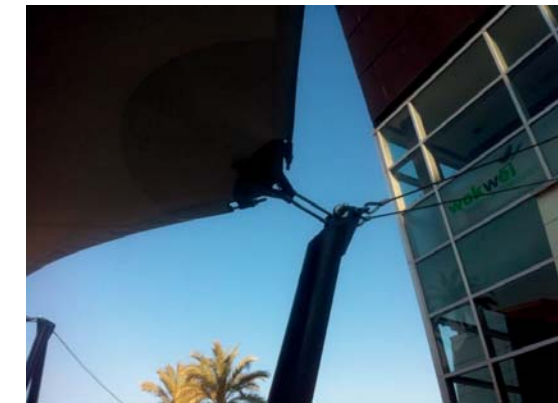


IMAGEN 42. Mástil de estructura tensada.

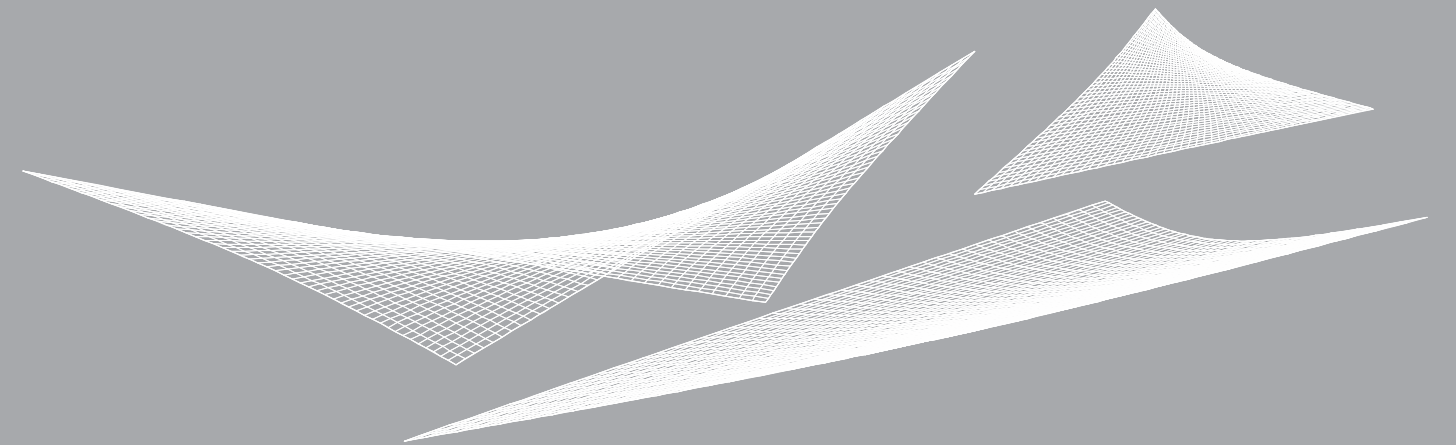
- Puntos de anclaje.

Los anclajes brindan estabilidad, introducen y mantienen las tensiones necesarias para fijar la membrana, para que la membrana textil esté tensada y logre su estabilidad, uno de éstos debe estar en un plano diferente a los otros para poder generar la curvatura y la forma deseada de la tenso-estructura.

Los cables forman parte esencial en el sistema de anclaje debido a que pueden distribuir las fuerzas de tracción en un solo eje y extenderse hasta los mástiles, barras o suelo.

Se pueden distinguir anclajes por el tipo de restricción a los esfuerzos que diseñar, puntos de anclajes fijos, otros que permiten la rotación, el giro, o ambos, dependiendo de los requerimientos estructurales de los vínculos que conforman el sistema.

## 4. PROYECTO Y EJECUCIÓN DE ESTRUCTURA TENSADA



### 4.3.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

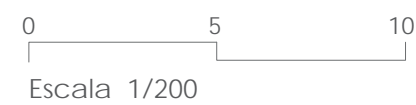
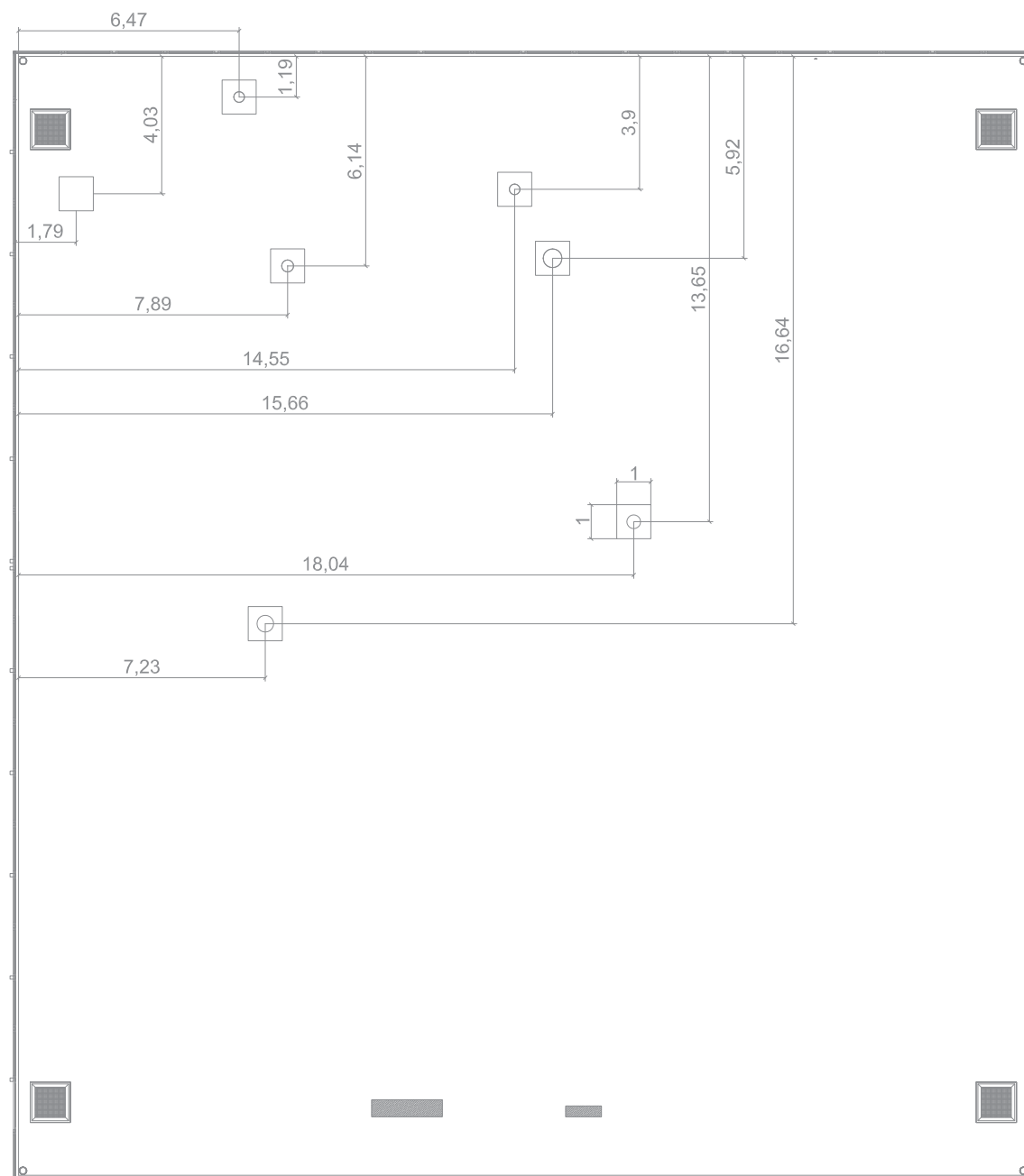


En este apartado vamos a definir el diseño de la estructura:

1. Cimentación
2. Soportes
3. Membrana

1. Cimentación.

Cimentación a base de zapatas aisladas de HA-25/B/20/Ila , de dimensiones 1 x 1 x 0,6 m , más 0,10 m de HL-150/B/20 , con armadura B500S de 16mm (especificado en el apartado de cálculos).



2. Soportes.

Los soportes que sustentan la estructura, son de acero S275JR, unidos a la cimentación mediante placas de anclaje. Las dimensiones de los soportes son:

	longitud	diámetro	espesor	soporte
SOPORTE 1	3,2	244,5	5	inclinado
SOPORTE 2	6	200	8	inclinado
SOPORTE 3	3,5	273	7	recto
SOPORTE 4	4,5	155	6	recto
SOPORTE 5	5,5	155	6	recto
SOPORTE 6	5	175	6	recto

Tabla 5. Características de los soportes.

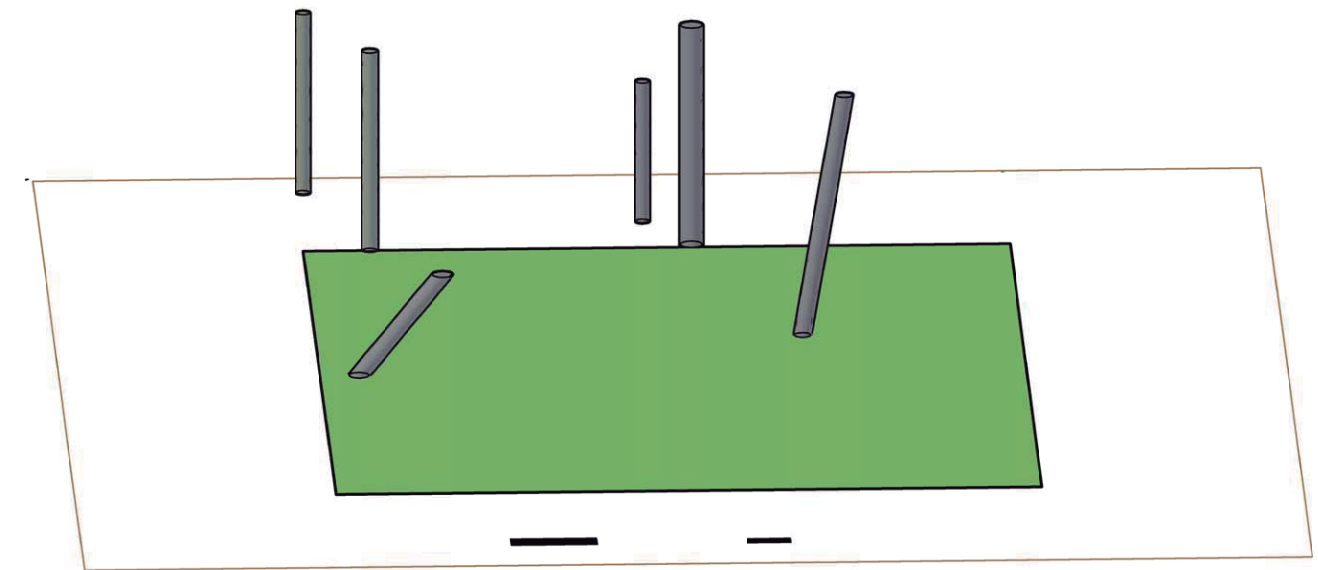


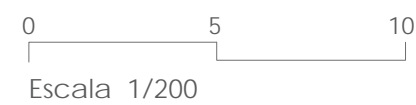
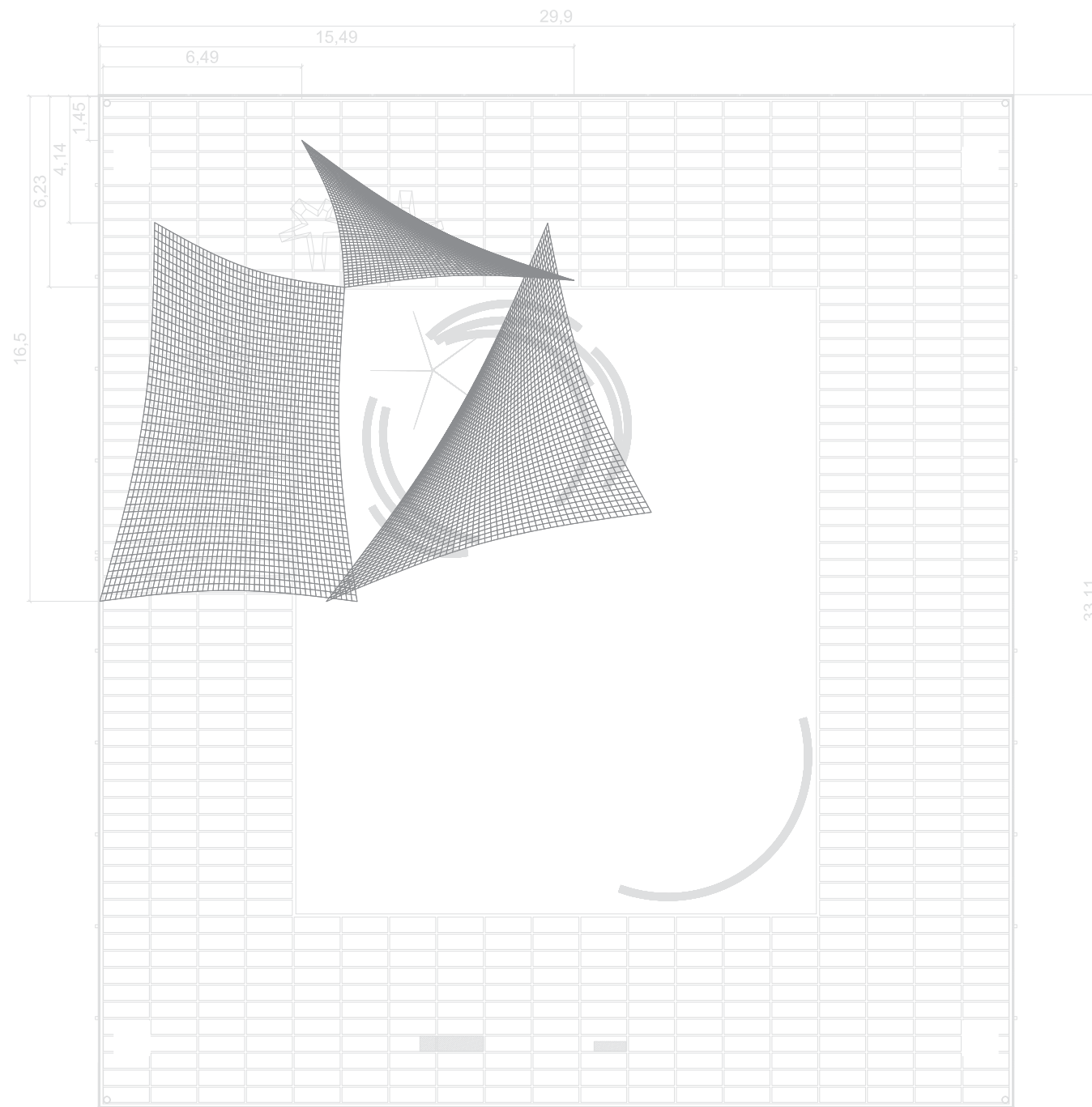
Figura 37. Detalle de soportes y colocación.



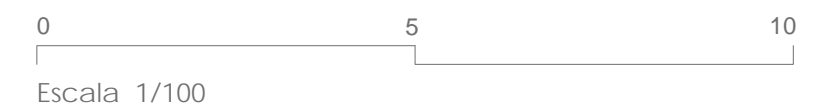
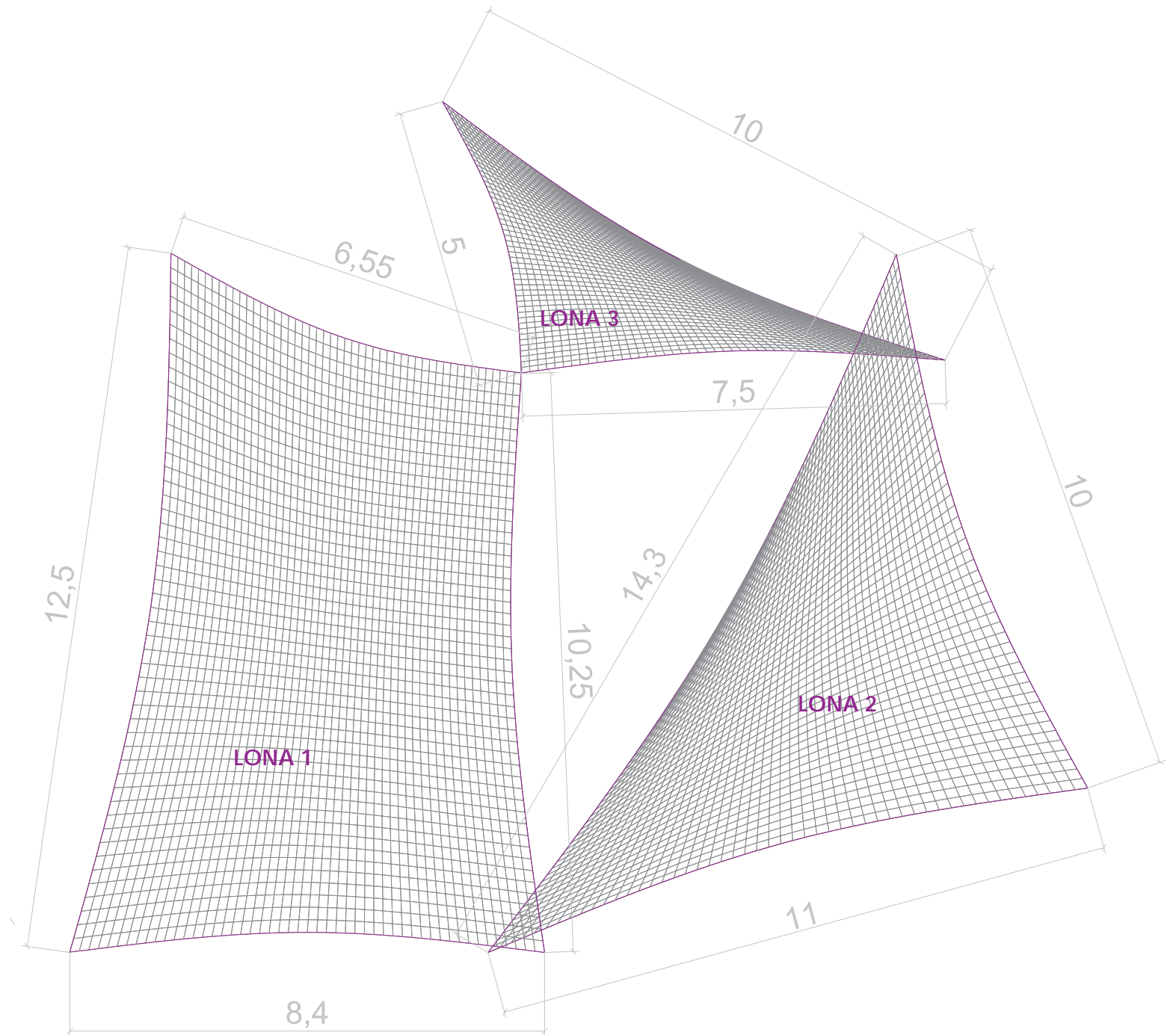
3. Diseño de la membrana.

La cubierta de la estructura está compuesta por una membrana de poliéster reforzada con fibra de vidrio de 3,6 mm de espesor aproximadamente.

- Posición de la cubierta en planta:

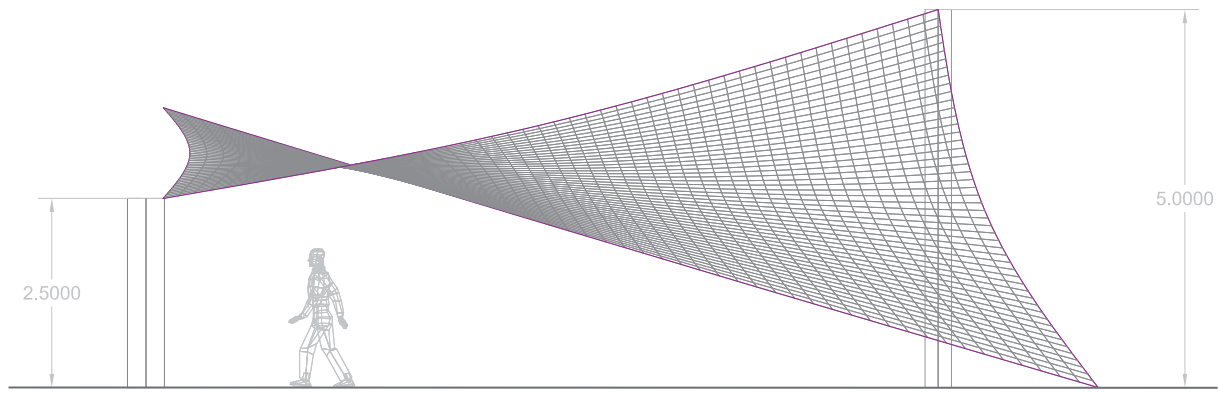


- Dimensiones de la cubierta:



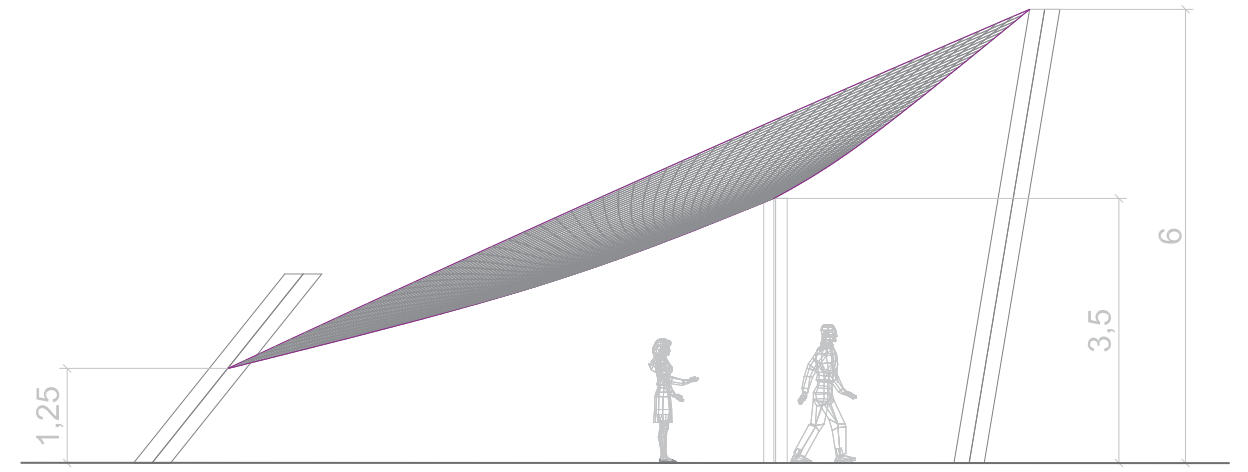


LONA 1

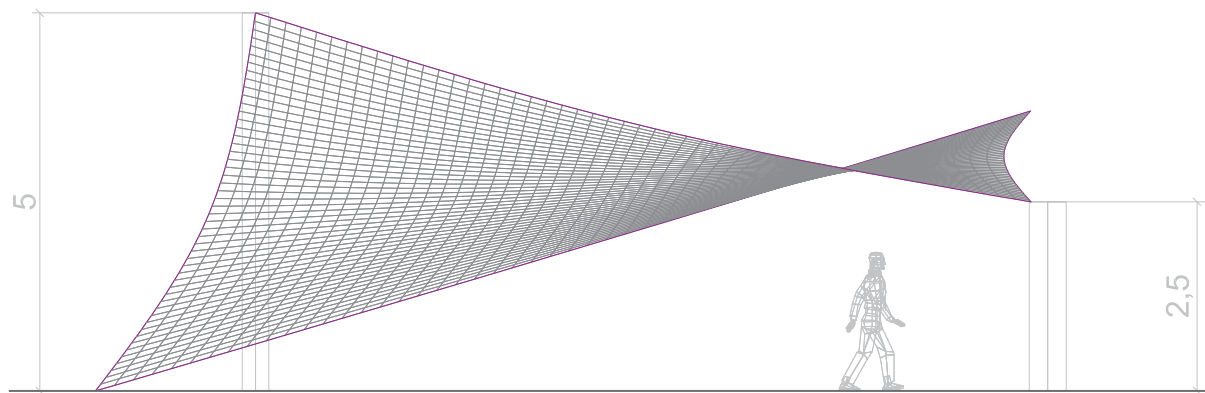


Alzado derecho

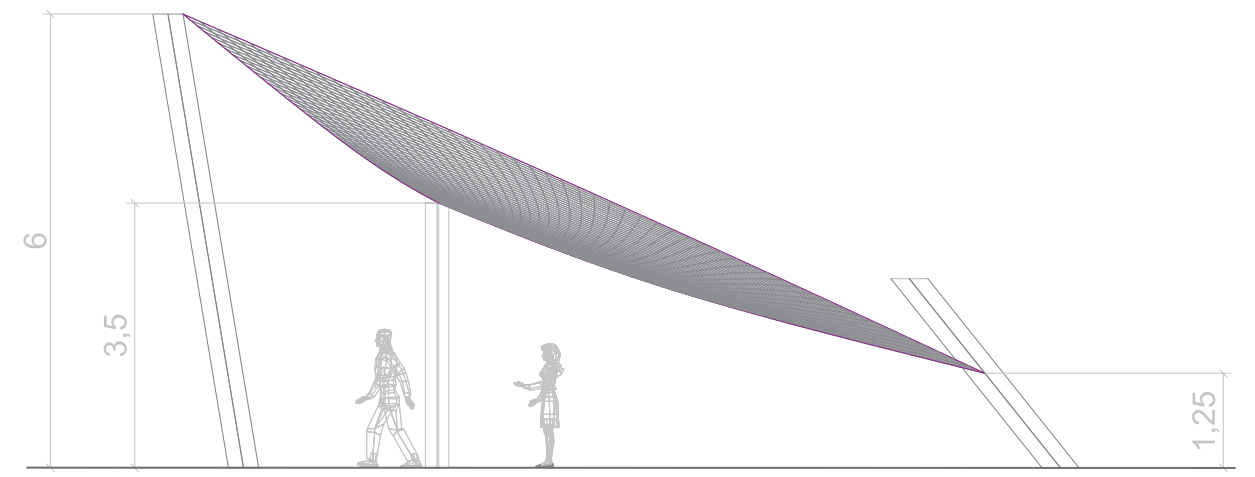
LONA 2



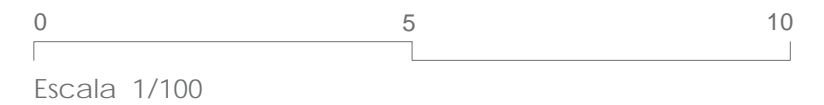
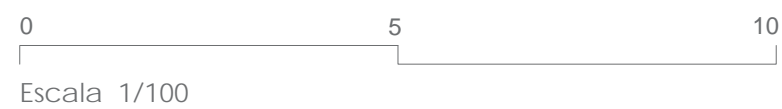
Alzado frontal



Alzado izquierdo

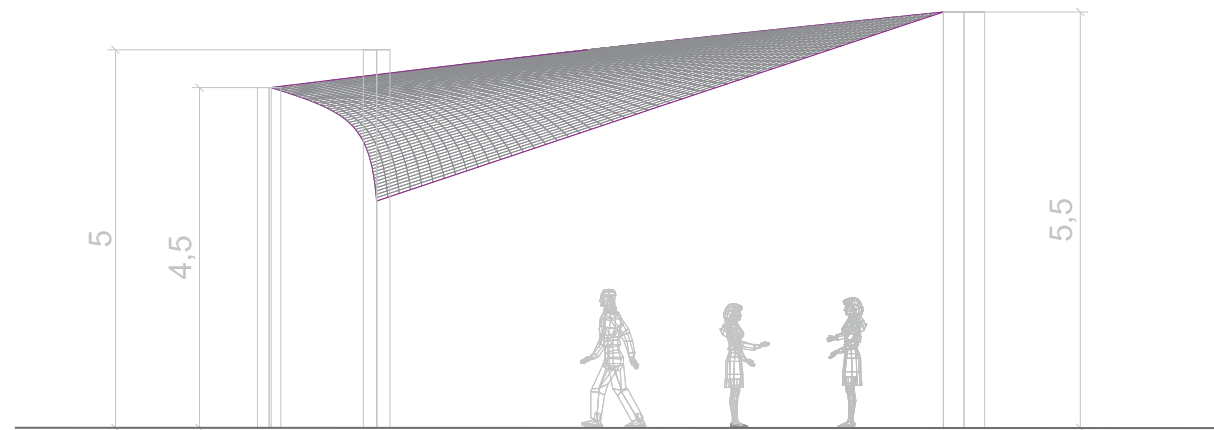


Alzado posterior

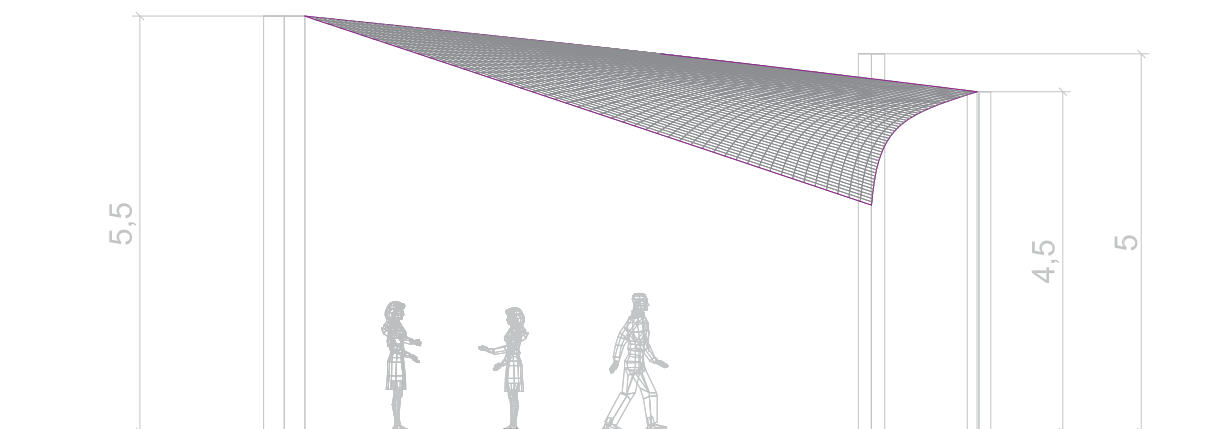




LONA 3



Alzado frontal



Alzado posterior

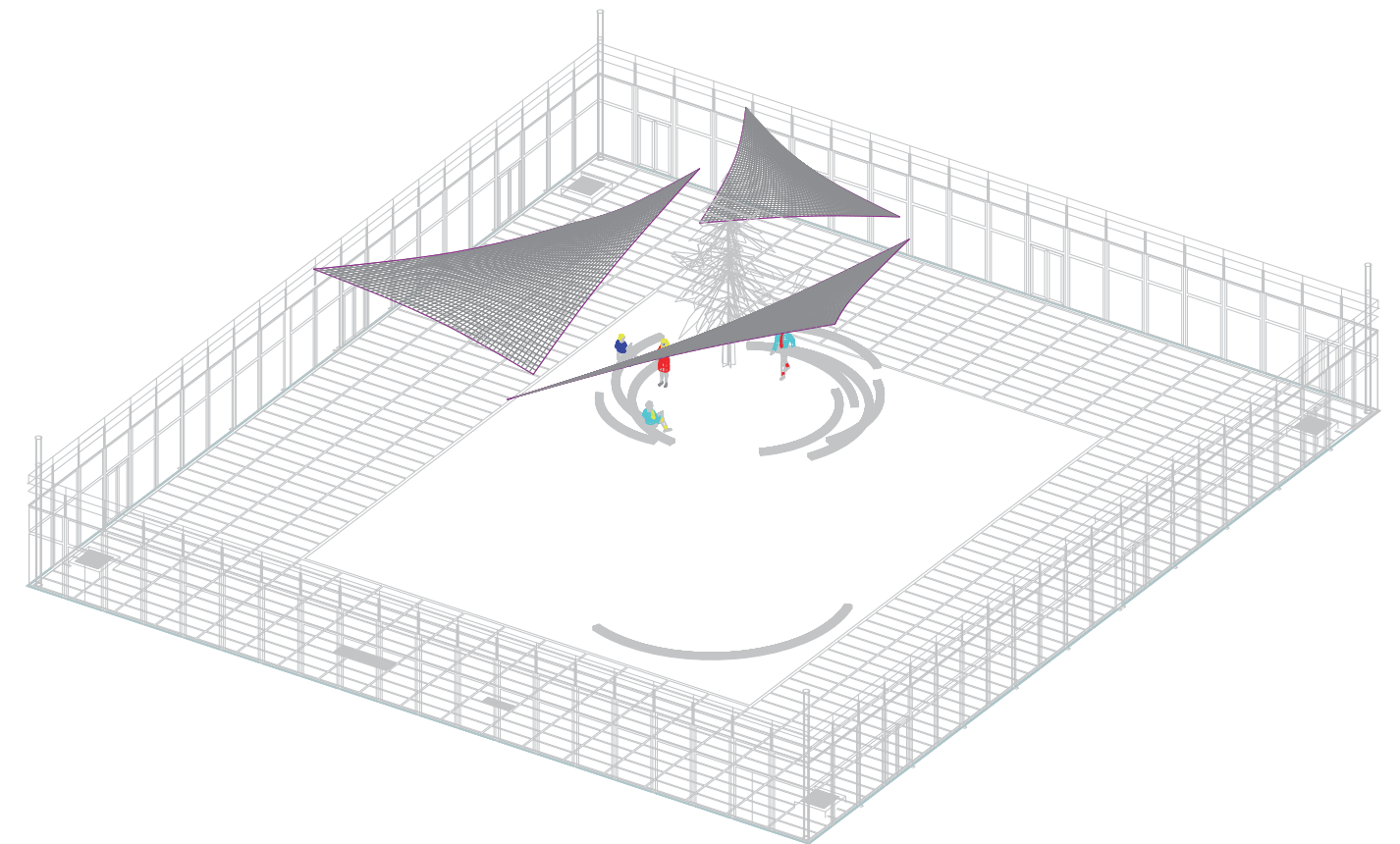
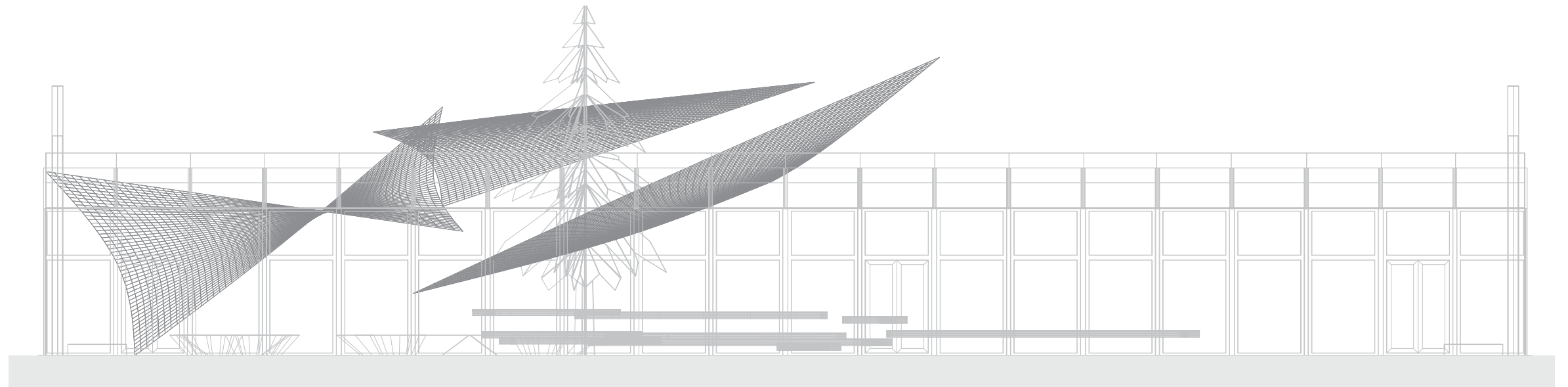
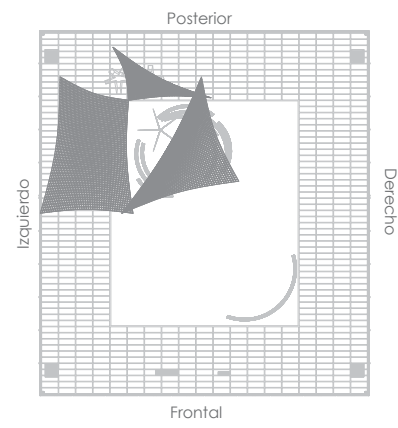


Figura 38. Vista 3D de la cubierta.

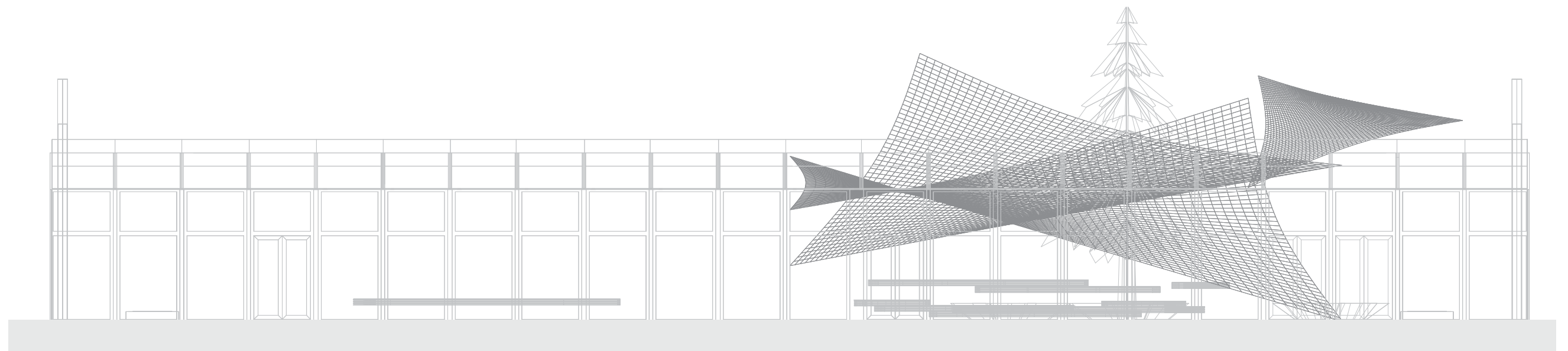




Vistas de los alzados de la cubierta:



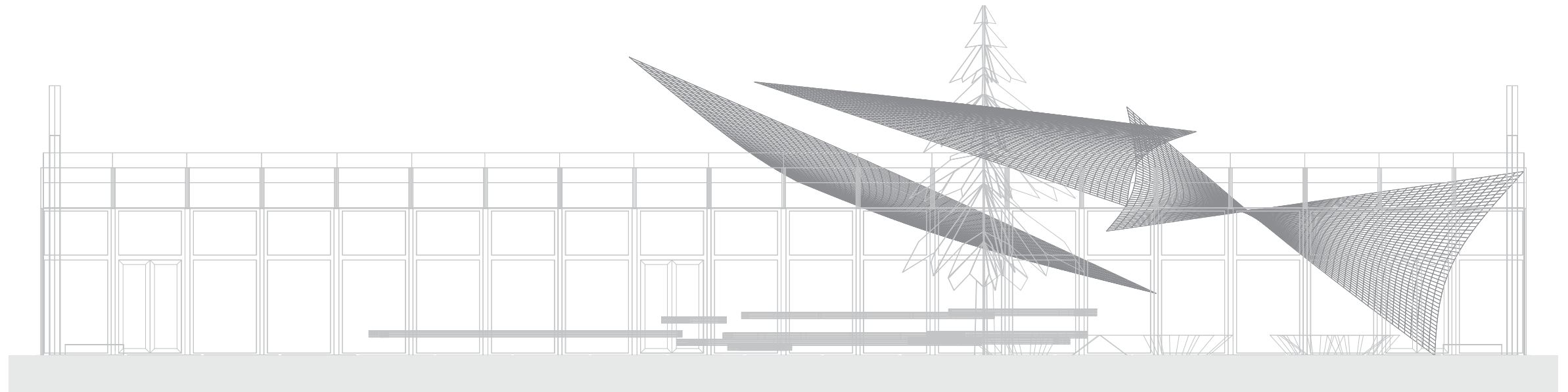
Alzado Frontal



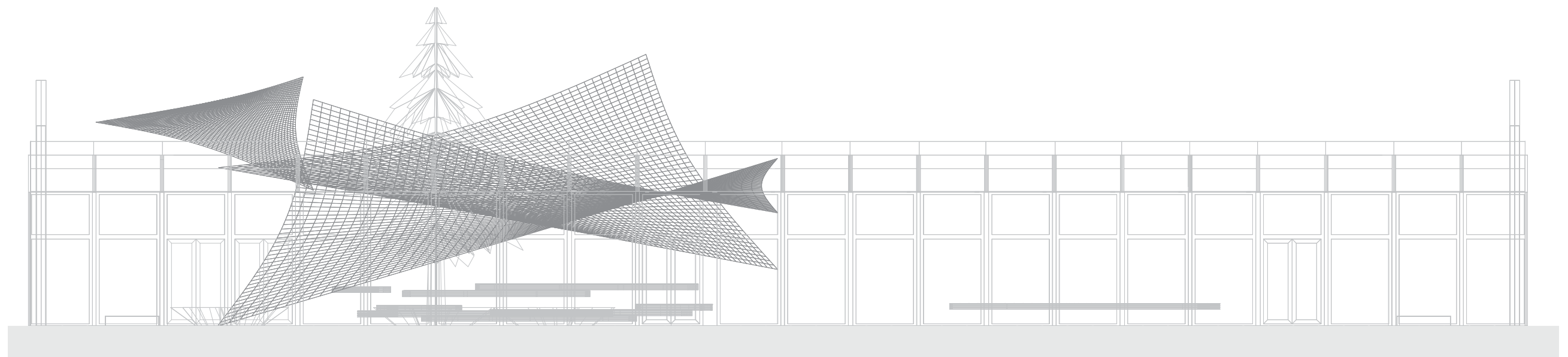
Alzado Derecho







Alzado Posterior



Alzado Izquierdo





Vistas de la cubierta desde los accesos que estarán disponibles al patio:

- ACCESO 1: Desde la Entrada principal de la escuela.
- ACCESO 2: Puerta más cercana a la cafetería y que da acceso inmediato a la cubierta.



Figura 39. Vista desde ACCESO 1

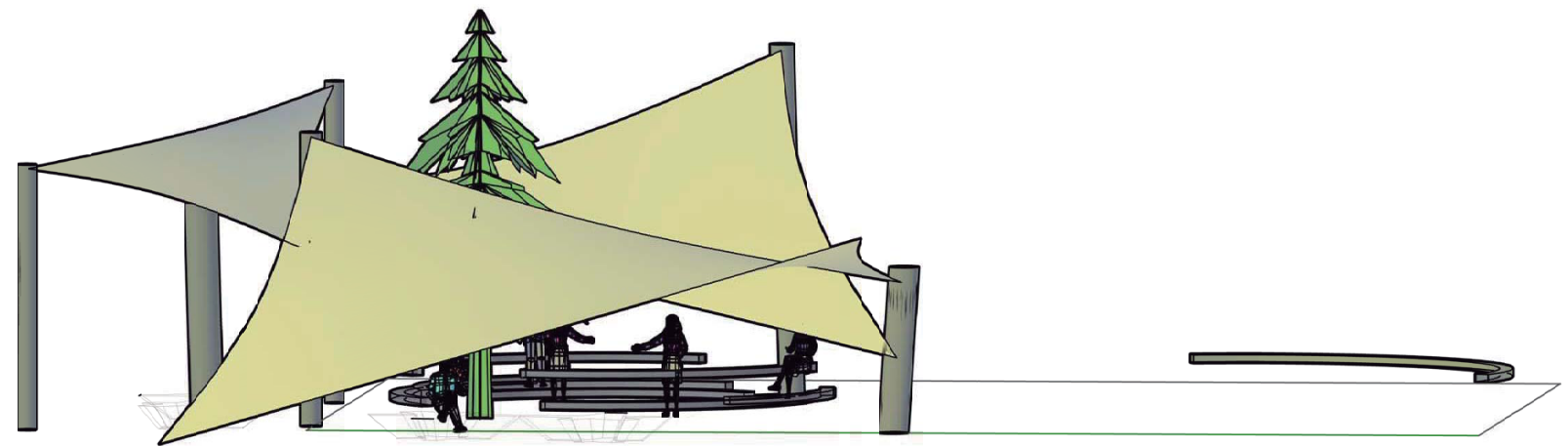


Figura 40. Vista desde el ACCESO 2.



Los perfiles a utilizar para el cálculo de la estructura, son perfiles de sección tubular. Una vez introducidos todos los materiales y sus características en el programa de cálculo SAP2000, obtenemos los siguientes datos con el análisis, teniendo en cuenta el siguiente esquema:

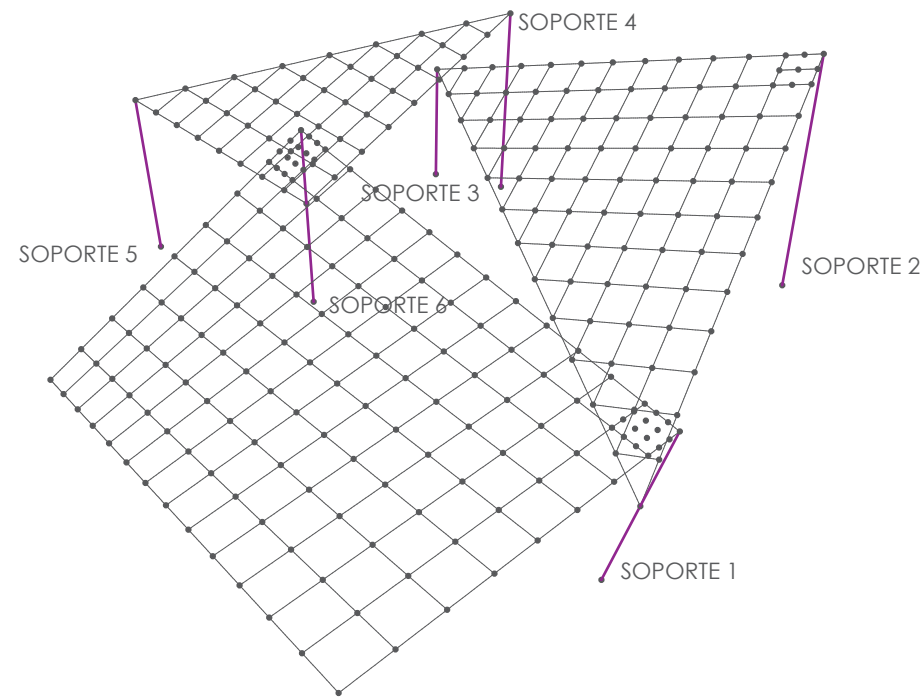


Figura 36. Esquema de la estructura tensada.

Tabla de Axiles y Momentos flectores de cada uno de los soportes de la estructura:

	N (Kg)	My (Kg.cm)	Mz (Kg.cm)
<b>Soporte 1</b>	2572,81	-245079,03	-700489,92
<b>Soporte 2</b>	3446,57	-337748,39	-130551,46
<b>Soporte 3</b>	-1431,58	-418099,56	759582,92
<b>Soporte 4</b>	250,23	-102169,32	124514,4
<b>Soporte 5</b>	406,53	-35208,89	208911,48
<b>Soporte 6</b>	-3007,78	-78785,09	283321,78

Tabla 4. Axiles y momentos obtenidos del SAP2000

A partir de los siguientes datos, pasamos a realizar el cálculo de cada uno de los soportes mediante el mismo procedimiento de cálculo para todos y cada uno de los soportes que conforman la estructura tensada.

Para realizar los cálculos, nos valdremos de una hoja de cálculo en Excel, hecha para tal efecto, con motivo de facilitar y agilizar los cálculos.

Explicaremos los diferentes procedimientos de cálculo para:

- Soportes
- Placas de Anclaje
- Zapatas de Cimentación.
- Cartelas /Rigidizar

De cada uno de estos procedimientos mostraremos los resultados obtenidos en tablas, para facilitar la comprensión.

**- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LOS SOPORTES.**

Mediante una hoja de cálculo Excel, hemos realizado los cálculos oportunos sobre la tensión que deben de soportar los perfiles, y hemos elegido la sección correspondiente de cada uno de los soportes.

A continuación realizaremos las comprobaciones de los diferentes elementos que componen la estructura, comprobaremos que los perfiles estimados sean los correctos, en caso contrario, realizaremos nuevas comprobaciones eligiendo otra sección mayor para que pueda soportar las cargas correspondientes.

*1. Comprobación que el perfil elegido cumple por resistencia.*

Obtenidos los siguientes datos del programa de cálculo:

- N<sub>k</sub> (Axil)
- M<sub>y</sub> ( Momento flector en el eje y)
- M<sub>z</sub> (Momento flector en el eje z)
- V<sub>z</sub> (Cortante en el eje z)

Comprobaremos que la tensión del perfil no sobrepasa la tensión admisible del acero, siendo esta 2600 Kg/cm<sup>2</sup>, quedando de esta forma:

$$\sigma = \left| \frac{N_k}{A} \right| + \left| \frac{M_R}{W} \right| \leq 2600 \text{ Kg/cm}^2$$

Siendo:

- N<sub>k</sub> ; Axil del soporte
- A ; Área de la sección del soporte
- W ; Valor del Módulo Resistente
- M<sub>R</sub> ; Momento Resultante de M<sub>y</sub>, M<sub>z</sub> :  $M_R = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}$

Tomamos en valor absoluto porque es la opción más desfavorable, de esta forma, aseguramos mejor los cálculos obtenidos.

Los demás datos necesarios para realizar los cálculos, han sido obtenidos del prontuario de acero para perfil hueco circular o calculados mediante las fórmulas necesarias a través de la hoja de cálculo de Excel.

**- Comprobación por cortante:**

- Siendo:
- V<sub>z</sub> Cortante en el eje z del soporte
  - A<sub>vz</sub> Área
  - A Área de la sección del soporte
  - σ Tensión calculada por resistencia
  - γ<sub>M</sub> Coeficiente de Seguridad del acero
  - f<sub>yd</sub> Resistencia de cálculo del acero

$$t_{xz} = \frac{V_z}{A_{vz}}$$

$$A_{vz} = 2 \cdot \frac{A}{\pi}$$

$$SVM = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot t_{xz}^2} \leq \frac{f_{yd}}{\gamma_M} = \frac{2750}{1,05}$$



Si no se cumplen las condiciones anteriormente citadas, elegiremos otro perfil de mayor sección y realizaremos de nuevo las comprobaciones.

Si se cumplen las condiciones, continuaremos con las comprobaciones.

2. Comprobación por pandeo.

Se deberá cumplir la siguiente expresión:

$$\frac{N_K}{X_y \cdot A \cdot f_{yd}} + \frac{M_R}{W_d \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Donde a continuación, calculamos todos los elementos que la componen:

- Compresión crítica por pandeo :

$$N_{CRT} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L \cdot \beta)^2}$$

Siendo:

- E ; Módulo de elasticidad del acero
- I ; Momento de Inercia del perfil
- L ; Longitud de pandeo
- $\beta$  ; Coeficiente de pandeo empotrado - libre = 2

- Cálculo de la esbeltez reducida:

$$\lambda_K = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yd}}{N_{CRT}}}$$

Siendo:

- A ; Área de la sección del perfil
- $N_{CRT}$  ; Compresión crítica por pandeo
- $f_{yd}$  ; Resistencia de cálculo del acero

- Coeficiente de reducción por pandeo:

$$X_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 \cdot \lambda_K^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda_k - 0,2) + (\lambda_k^2)]$$

$\alpha$  ; Coeficiente de imperfección elástica que adopta los valores de la tabla 6.3 del CTE - SE - A en función de la curva de pandeo (tabla 6.2). Para perfiles de sección circular hueca, de aceros laminados en caliente es 0,21.

Aplicando la fórmula inicial:

$$\frac{N_K}{X_y \cdot A \cdot f_{yd}} + \frac{M_R}{W_d \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\left| \frac{N_K}{N_d} \right| + \left| \frac{M_R}{M_d} \right| \leq 1 \quad \text{Siendo:} \quad \begin{array}{l} N_d = X_y \cdot A \cdot f_{yd} \\ M_d = W_d \cdot f_{yd} \end{array}$$

Si cumple esta condición el perfil será válido.

Si no cumple esta condición, no soportará el perfil a pandeo, por lo tanto escogemos un perfil mayor y realizamos de nuevo todos los cálculos.

ACLARACIÓN: En nuestro trabajo, al encontramos con el cálculo de perfiles circulares de sección hueca, la fórmula de Navier para el cálculo de la tensión, puede quedar reducida mediante el cálculo del Momento Resultante de los momentos en y,z (explicado anteriormnete en este mismo apartado) ya que al ser una sección circular, los ejes principales pueden ser cualesquiera.

Una vez explicado el procedimiento de cálculo de los soportes, pasamos a la definición de los resultados mediante una tabla realizada en un hoja de cálculo de Excel.



	DATOS OBTENIDOS DE SAP 2000						PRONTUARIO		
	PERFIL (mm)	L (cm)	N (Kg)	My (Kg.Cm)	Mz (Kg.Cm)	Vz (Kg)	A (cm2)	W (cm3)	I (cm4)
ANCLAJE 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ANCLAJE 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SOPORTE 1	244,5 x 5	320	2572,81	-245079,03	-700489,92	-4396,9	37,62	378,15	4622,84
SOPORTE 2	200 x 8	600	3446,57	-337748,39	-130551,46	551,81	48,23	222,63	2226,31
SOPORTE 3	273 x 7	350	-1431,58	-418099,56	759582,92	2170,13	58,496	379,29	5177,3
SOPORTE 4	155 x 6	550	250,23	-102169,32	124514,4	-185,76	28,072	100,68	780,28
SOPORTE 5	156 x 6	450	406,53	-35208,89	208911,48	-78,24	28,072	100,68	780,28
SOPORTE 6	175 x 6	500	-3007,78	-78785,09	283321,78	262,62	31,84	130,074	1138,15

Tabla 6. Valores obtenidos.

	CÁLCULOS											
	MR (Kg.cm)	$\sigma$ (Kg/cm2)	SVM (Kg)	Ncritico (Kg)	$\lambda$	$\alpha$	$\phi$	X < 1	Nd (Kg)	Md (Kg.cm)	pandeo < 1	
ANCLAJE 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ANCLAJE 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SOPORTE 1	742125,23	2030,9	2055,68	238532,34	0,658	0,21	0,765	0,788	81522,54	1039912,5	0,75	CUMPLE
SOPORTE 2	362101,72	1697,93	1698,22	32675,44	2,01	0,21	2,71	0,12	15915,9	612232,5	0,8	CUMPLE
SOPORTE 3	867046,95	2310,44	2312,64	223308,77	0,8487	0,21	0,93	0,7631	122771,26	1043047,5	0,84	CUMPLE
SOPORTE 4	161066,46	1608,7	1608,8	13628,98	2,38	0,21	3,56	0,083	6407,43	276870	0,62	CUMPLE
SOPORTE 5	211857,67	2118,75	2118,76	20359,35	1,94	0,21	2,56	0,132	10190,14	276870	0,8	CUMPLE
SOPORTE 6	294071,96	2355,27	2355,4	49090,98	1,34	0,21	1,52	0,28	24516,8	357703,5	0,94	CUMPLE

Tabla 7. Valores calculados a partir de las formulas del procedimiento general



- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LAS PLACAS BASE.

DATOS NECESARIOS:

- Axil característico (  $N_k$  )
- Momento característico (  $M_k$  )
- Perfil metálico

El cálculo de la placa no es inmediato, se necesitan hacer tanteos. Se comienza eligiendo unas dimensiones de la placa  $A \times B$ , que más tarde tendrán que comprobarse.

- *Cálculo de las dimensiones de la placa  $A \times B$*

La distancia del borde de la placa al borde del perfil, ha de ser por lo menos de 10cm.

$$A \geq a + 20 \text{ cm}$$

$$B \geq b + 20 \text{ cm}$$

- *Cálculo de los pernos*

Tracción de cálculo de los pernos. (  $T_d$  )

Se supone una distribución de tensiones tal que un cuarto de la placa se encuentre comprimido contra la zapata. De esta forma, los pernos opuestos están traccionados y se desprecia la contribución de los pernos comprimidos. Tomando momentos, respecto del punto P que es el centro del volumen de compresiones, tenemos:

$$T_d = 1,5 \cdot \frac{8 \cdot \frac{e}{B} - 3}{8 \cdot \frac{d}{B} - 1} \cdot N_k$$

Siendo:

$$e = \frac{M_k}{N_k}$$

- *Cálculo del área de los pernos:*

$$\Omega = \frac{T_d}{f_{yd}}$$

Siendo:

- $\Omega$  Suma del área de todos los pernos de un lado (cm<sup>2</sup>)
- $T_d$  Tracción de cálculo de los pernos
- $f_{yd}$  Límite elástico del acero utilizado para los pernos  $S275 = 2750 \text{ Kg/cm}^2$

- *Comprobación de las dimensiones de la placa*

Siendo:

- $\Omega$  Suma del área de todos los pernos de un lado (cm<sup>2</sup>)
- $T_d$  Tracción de cálculo de los pernos
- $f_{yd}$  Límite elástico del acero utilizado para los pernos  $S275 = 2750 \text{ Kg/cm}^2$

- *Comprobación de las dimensiones de la placa*

$$\frac{4(N_d + T_d)}{A \cdot B} \leq 0,85 \cdot f_{cd}$$

Siendo:

- $N_d$  Axil mayorado
- $A, B$  Dimensiones de la placa de anclaje

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma} ; f_{ck} \text{ es la resistencia característica del hormigón}$$

Si la tensión de contacto es mayor de  $0,85 \cdot f_{cd}$  habrá que repetir el proceso, aumentando las dimensiones de  $A, B$ .

- *Espesor de la placa.*

Una vez conocidas las dimensiones de la placa, calculamos el espesor:

$$e = \frac{v}{2,5}$$

Si el espesor sale muy grande, recurriremos a la colocación de cartelas.



	PLACA		DATOS				PERNOS						
	A	B	N (Kg)	Nk	Mr*	Mr	d	e	Td	$\Omega$	Nº pernos	$\phi$ min	$\phi$
ANCLAJE 1	30,00	30,00	2390,94	1593,96	0,00	0,00	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	16mm
ANCLAJE 2	30,00	30,00	2691,65	1794,43	0,00	0,00	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	16mm
SOPORTE 1	44,50	57,00	2572,81	1715,21	742125,23	494750,15	49,00	288,45	16409,11	5,97	3,73	1,60	16mm
SOPORTE 2	40,00	52,00	3446,57	2297,71	362101,72	241401,15	44,00	105,06	7863,83	2,86	1,79	1,60	16mm
SOPORTE 3	50,00	55,00	-1431,58	-954,39	867046,95	578031,30	47,00	-605,66	22344,51	8,13	5,08	1,60	16mm
SOPORTE 4	35,50	47,50	250,23	166,82	161066,46	107377,64	39,50	643,67	4666,20	1,70	1,06	1,60	16mm
SOPORTE 5	35,50	47,50	406,53	271,02	211857,67	141238,45	39,50	521,14	6096,58	2,22	1,39	1,60	16mm
SOPORTE 6	19,50	49,50	-3007,78	-2005,19	294071,96	196047,97	41,50	-97,77	9908,78	3,60	2,25	1,60	16mm

Tabla 8. Tabla de valores para el cálculo de las placas base.

	Nd	Td	A	B	fcd	Comprob1	Comprob2	Com1<Com2
ANCLAJE 1	2390,94	1138,86	20,00	20,00	217,39	35,30	184,78	CUMPLE
ANCLAJE 2	2691,65	1282,10	20,00	20,00	217,39	39,74	184,78	CUMPLE
SOPORTE 1	2572,81	15312,12	44,50	57,00	217,39	28,20	184,78	CUMPLE
SOPORTE 2	3446,57	7281,32	40,00	52,00	217,39	20,63	184,78	CUMPLE
SOPORTE 3	-1431,58	20790,11	50,00	55,00	217,39	28,16	184,78	CUMPLE
SOPORTE 4	250,23	4283,33	35,50	47,50	217,39	10,75	184,78	CUMPLE
SOPORTE 5	406,53	5596,34	35,50	47,50	217,39	14,24	184,78	CUMPLE
SOPORTE 6	-3007,78	9132,89	19,50	49,50	217,39	25,38	184,78	CUMPLE

Tabla 9. Tabla de valores para la comprobación del cumplimiento de las placas base



PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN.

Datos necesarios:

Nk Axil característico

l ; Escuadría del pilar (dato entre 0,4 - 0,5)

- Cálculo del área de la zapata

$$A = \alpha^2 = \frac{N_k}{\sigma_{adm}}$$

- cálculo del canto de la zapata

$$C = \frac{a - l}{4}$$

- Armadura de la zapata (As)

Momento de cálculo por metro lineal (Md)

$$M_d = 1,6 \cdot \sigma_{adm} \cdot \frac{a^2}{8}$$

Armadura por metro lineal (As)

$$A_s = \frac{M_d}{0,8 \cdot h \cdot f_{yd}}$$

La armadura se dispondrá en el paramento inferior en ambas direcciones.

No es necesario disponer de armadura en el paramento superior.

Se recomienda disponer patilla y comprobar la armadura mínima.

	Nd	L	Y	Nk	σadm
Apoyo 1	2390,94	0,45	1,50	1593,96	1,50
Apoyo2	2691,65	0,45	1,50	1794,43	1,50
Soporte 1	2572,81	0,45	1,50	1715,21	1,50
Soporte 2	3446,57	0,45	1,50	2297,71	1,50
Soporte 3	1431,58	0,45	1,50	954,39	1,50
Soporte 4	250,23	0,45	1,50	166,82	1,50
Soporte 5	406,53	0,45	1,50	271,02	1,50
Soporte 6	3007,78	0,45	1,50	2005,19	1,50

Tabla 10. Tabla con los datos necesarios para el cálculo de la cimentación.

	A (cm2)	a (cm)	α2	c	Md	As
Apoyo 1	1062,64	32,60	1062,64	8,04	318,79	0,02
Apoyo2	1196,29	34,59	1196,29	8,53	358,89	0,02
Soporte 1	1143,47	33,82	1143,47	8,34	343,04	0,02
Soporte 2	1531,81	39,14	1531,81	9,67	459,54	0,02
Soporte 3	636,26	25,22	636,26	6,19	190,88	0,02
Soporte 4	111,21	10,55	111,21	2,52	33,36	0,01
Soporte 5	180,68	13,44	180,68	3,25	54,20	0,01
Soporte 6	1336,79	36,56	1336,79	9,03	401,04	0,02

Tabla 11. Datos obtenidos del cálculo de la cimentación.





PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LAS CARTELAS

A partir del cálculo del espesor de la placa de anclaje, se comprende, incluso con vuelos no muy grandes (mínimo 10 cm) que el espesor de la placa sería ya de un valor de 4cm, por lo que empieza a ser interesante la disposición de cartelas.

- Dimensiones de las cartelas (e2, H)

Las cartelas se dimensionan para que resistan la flexión del vuelo.

$$M_{total} = M_{resistente}$$

$$M_{total} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot B$$

$$v = \max(v_1, v_2)$$

$$M_{resistente} = 2 \cdot \frac{e_2 \cdot H^2}{6} \cdot \sigma_e$$

Existen varias combinaciones e2 , H que permiten resistir este momento:

Condiciones:

$$\frac{B}{30} < e_2 < e$$

- Espesor (e )

Al disponer cartelas, la flexión del vuelo disminuye dejando de ser dimensionante. El momento máximo ahora se produce entre cartelas, en el interior del perfil, y vale:

$$M_d = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot \frac{h^2}{12}$$

$$h = \max(h_1, h_2) = \text{distancia entre cartelas}$$

$$M_{resistente} = \sigma_e \cdot W = \sigma_e \cdot \frac{e^2}{6}$$

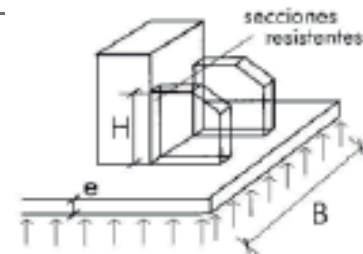
Igualando ambos momentos, obtenemos:

$$e = \frac{h}{6}$$

- Espesor de la soldadura ( es )

$$e_s < 0,7 \cdot e_{min}$$

$e_{min}$  : espesor más pequeño de las placas a unir



	Nd	A (cm)	B(cm)	h (cm)	e	B/30 < e2 < e	v (cm)	fcd
Apoyo 1	2390,94	44,50	57,00	-	-	-	-	-
Apoyo2	2691,65	44,50	57,00	-	-	-	-	-
Soporte 1	2572,81	44,50	57,00	24,45	4,08	1,9 < e2 < 4,08	16,275	217,39
Soporte 2	3446,57	40,00	52,00	20	3,33	1,7 < e2 < 3,33	16	217,39
Soporte 3	1431,58	50,00	55,00	27,3	4,55	1,8 < e2 < 4,55	13,85	217,39
Soporte 4	250,23	35,50	47,50	15,5	2,58	1,6 < e2 < 2,58	16	217,39
Soporte 5	406,53	35,50	47,50	15,5	2,58	1,6 < e2 < 2,58	16	217,39
Soporte 6	3007,78	37,50	49,50	17,5	2,92	1,65 < e2 < 2,92	16	217,39

Tabla 12. Datos obtenidos de las fórmulas de cálculo.

	Mtotal (Kg.cm)	e2	e2	(e2=1,5)	(e2=2)	H (e2=1,5)	H(e2=2)	H total
Apoyo 1	-	-	-	-	-	-	-	-
Apoyo2	-	-	-	-	-	-	-	-
Soporte 1	1089013,10	1,50	2,00	1300	1733,33	28,94	25,07	26,00
Soporte 2	946086,96	1,50	2,00	1300	1733,33	26,98	23,36	24,00
Soporte 3	886136,55	1,50	2,00	1300	1733,33	26,11	22,61	23,00
Soporte 4	839652,17	1,50	2,00	1300	1733,33	25,41	22,01	23,00
Soporte 5	839652,17	1,50	2,00	1300	1733,33	25,41	22,01	23,00
Soporte 6	886956,52	1,50	2,00	1300	1733,33	26,12	22,62	23,00

Tabla 13. Datos obtenidos del las fórmulas de cálculo.

	e placa	e soldadura(mm) perfil-cartela	e soldadura(mm) cartela-placa	Lb (10Ø )	
Apoyo 1	15 mm	-	-	200 mm	CUMPLE
Apoyo2	15 mm	-	-	200 mm	CUMPLE
Soporte 1	15 mm	3,50	3,50	200 mm	CUMPLE
Soporte 2	15 mm	5,60	5,60	200 mm	CUMPLE
Soporte 3	15 mm	4,90	4,90	200 mm	CUMPLE
Soporte 4	15 mm	4,20	4,20	200 mm	CUMPLE
Soporte 5	15 mm	4,20	4,20	200 mm	CUMPLE
Soporte 6	15 mm	4,20	4,20	200 mm	CUMPLE

Tabla 14. Datos obtenidos del las fórmulas de cálculo.



JUSTIFICACIÓN DE LOS CÁLCULOS

Teniendo en cuenta que la normativa en la que nos hemos basado para los cálculos ha sido el CTE y la EHE-08:

Se establecen las exigencias mínimas que deben cumplir los edificios, por tanto debemos de tener en cuenta, que nuestro proyecto no se trata de un edificio, sino de una estructura tensada, y que por tanto, los resultados serán mucho menores que los mínimos exigidos por estas normativas.

De esta manera, nos atenderemos a que la estructura cumpla las exigencias mínimas, que serán suficientes para que la estructura pueda soportar los esfuerzos correspondientes.

- Zapata aislada.

Atendiendo a la instrucción EHE-08, distingue dos tipos de zapatas aisladas, que son las zapatas rígidas y las flexibles.

Nosotros, en nuestro proyecto nos encontramos ante el cálculo para zapatas rígidas, donde se deberá de cumplir:

$$v_{m\acute{a}x} \leq 2xc$$

Siendo:

$v_{m\acute{a}x}$  el vuelo de la zapata  
 $c$  el canto de la zapata

Realizando una tabla en una hoja de cálculo excel, adoptamos una zapata de 100x100cm y un canto de 60cm, obtenemos:

	∅ perfil	a(cm)	v (cm)	c (cm)	v < 2xc
ANCLAJE 1	-	100	50	60	CUMPLE
ANCLAJE 2	-	100	50	60	CUMPLE
SOPORTE 1	24,45	100	37,775	60	CUMPLE
SOPORTE 2	20	100	40	60	CUMPLE
SOPORTE 3	27,3	100	36,35	60	CUMPLE
SOPORTE 4	15,5	100	42,25	60	CUMPLE
SOPORTE 5	15,5	100	42,25	60	CUMPLE
SOPORTE 6	17,5	100	41,25	60	CUMPLE

Por tanto, teniendo en cuenta que estas dimensiones de zapata, cumplen para todos los perfiles y anclajes de la estructura, será la adoptada para la ejecución de las mismas.

- Pernos de anclaje.

En el apartado anterior del cálculo de la placa de anclaje, se ha calculado el área total necesaria de pernos para anclaje de la placa. Atendiendo a estos cálculos, colocaremos 6 pernos de anclaje soldados (ver detalles constructivos) en cada una de las placas de diámetro 16mm, de esta forma, se cumple con las necesidades exigidas.

Atendiendo a las dimensiones de las placas, definidas anteriormente cada una de ellas, el perno se colocará a 8 cm del borde de la placa, para evitar que una distancia mayor pueda provocar flexión en los bordes de ésta.

La longitud mínima de anclaje de los pernos será de 15cm o 10 veces el diámetro de los pernos, con lo cual, tendremos una longitud de anclaje de 16cm como mínimo.

- Armadura mínima de la zapata.

Se debe de cumplir que:

$$A_s > 2\% \cdot A_c$$

Donde:

$A_s$  es la armadura mínima que debe de contener la zapata  
 $A_c$  es el área del canto, lado de la zapata por el canto de la zapata

Realizando estos cálculos, tenemos:

$$A_s > 2\% \cdot 100 \cdot 60 = 12 \text{ cm}^2/\text{m}$$

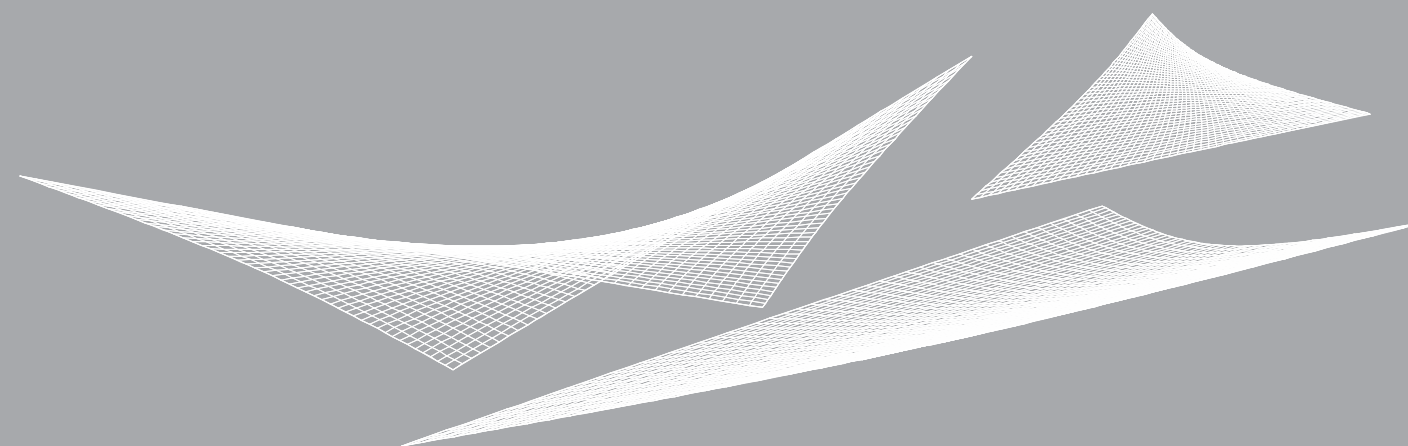
Colocando armadura de diámetro 16mm, cuya área de cada una de ellas ocupa 2,01 cm<sup>2</sup>, tendremos que colocar, al menos, 6 barras de diámetro 16mm cuya área total por metro sería:

$$6 \text{ barras} \cdot 2,01 \text{ cm}^2 = 12,06 \text{ cm}^2/\text{m} > 12 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Por lo tanto colocaremos 6 barras de diámetro 16mm cada 15 cm, teniendo en cuenta un recubrimiento en la zapata de 5cm.

$$6\phi 16 / 0,15$$

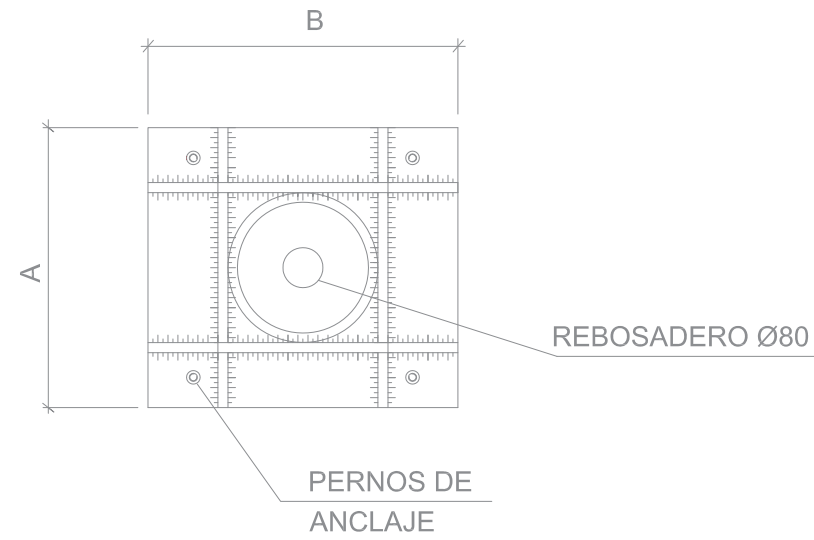
## 4. PROYECTO Y EJECUCIÓN DE ESTRUCTURA TENSADA



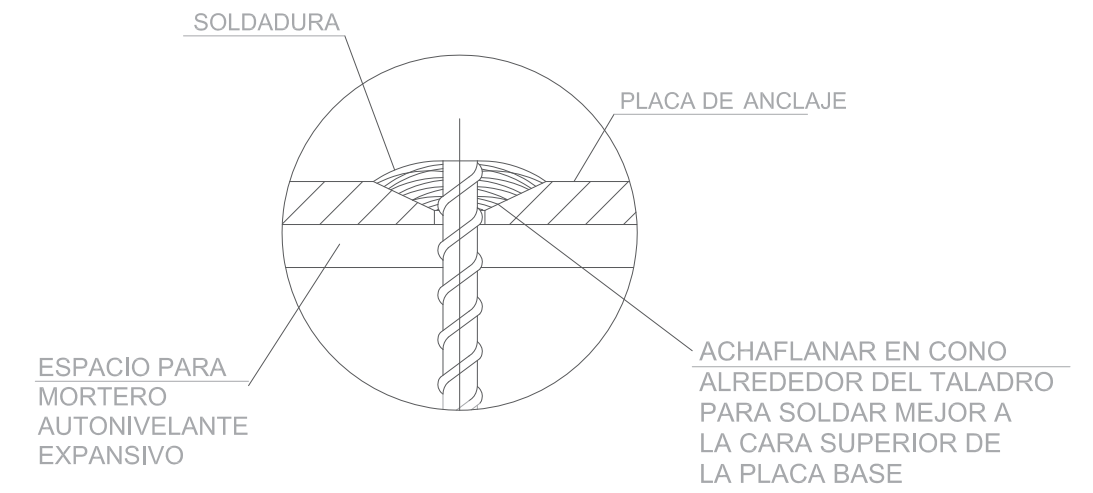
### 4.3.4. DETALLES CONSTRUCTIVOS



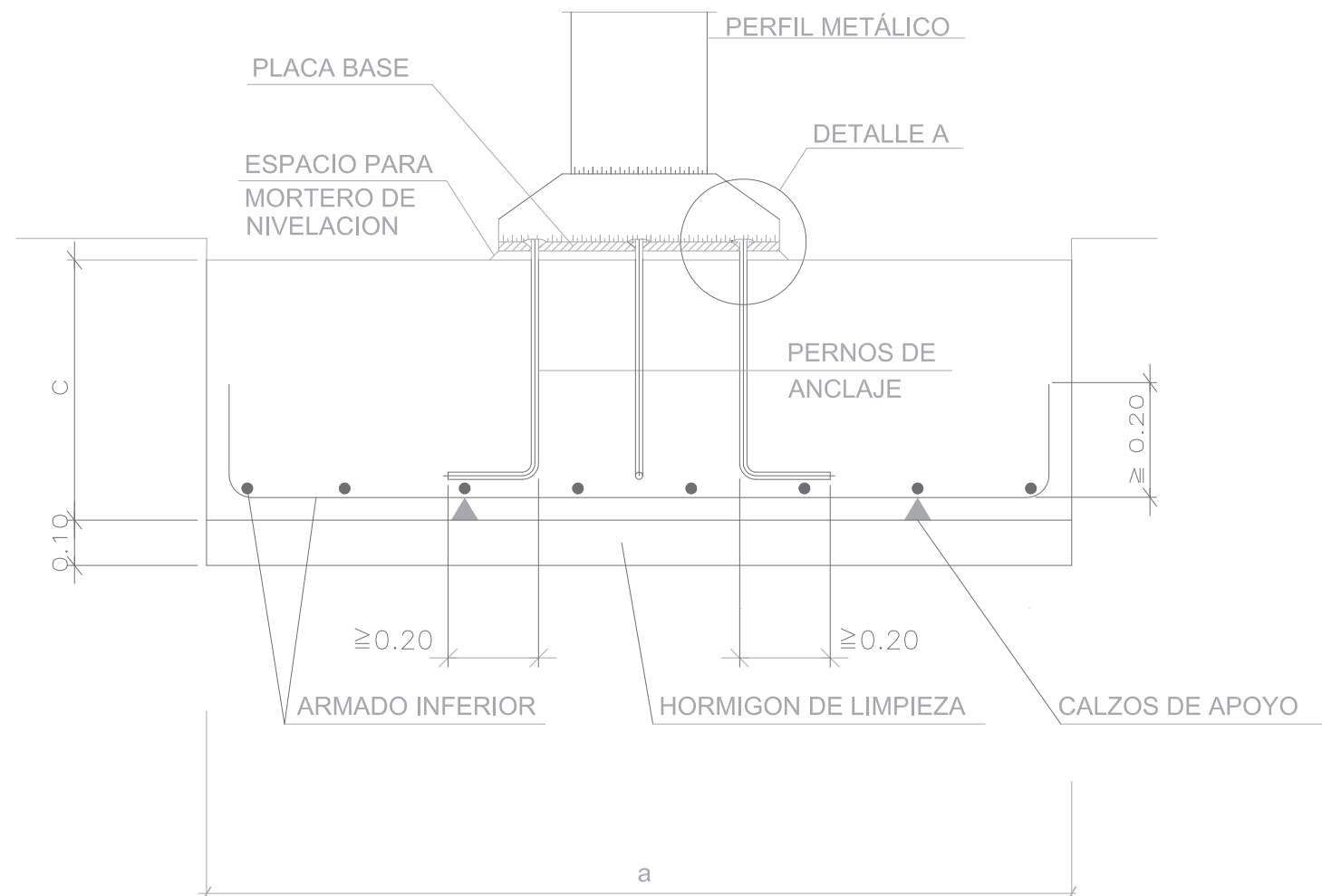
DETALLE DE PLANTA DE PERFIL METÁLICO CON PLACA BASE DE ANCLAJE



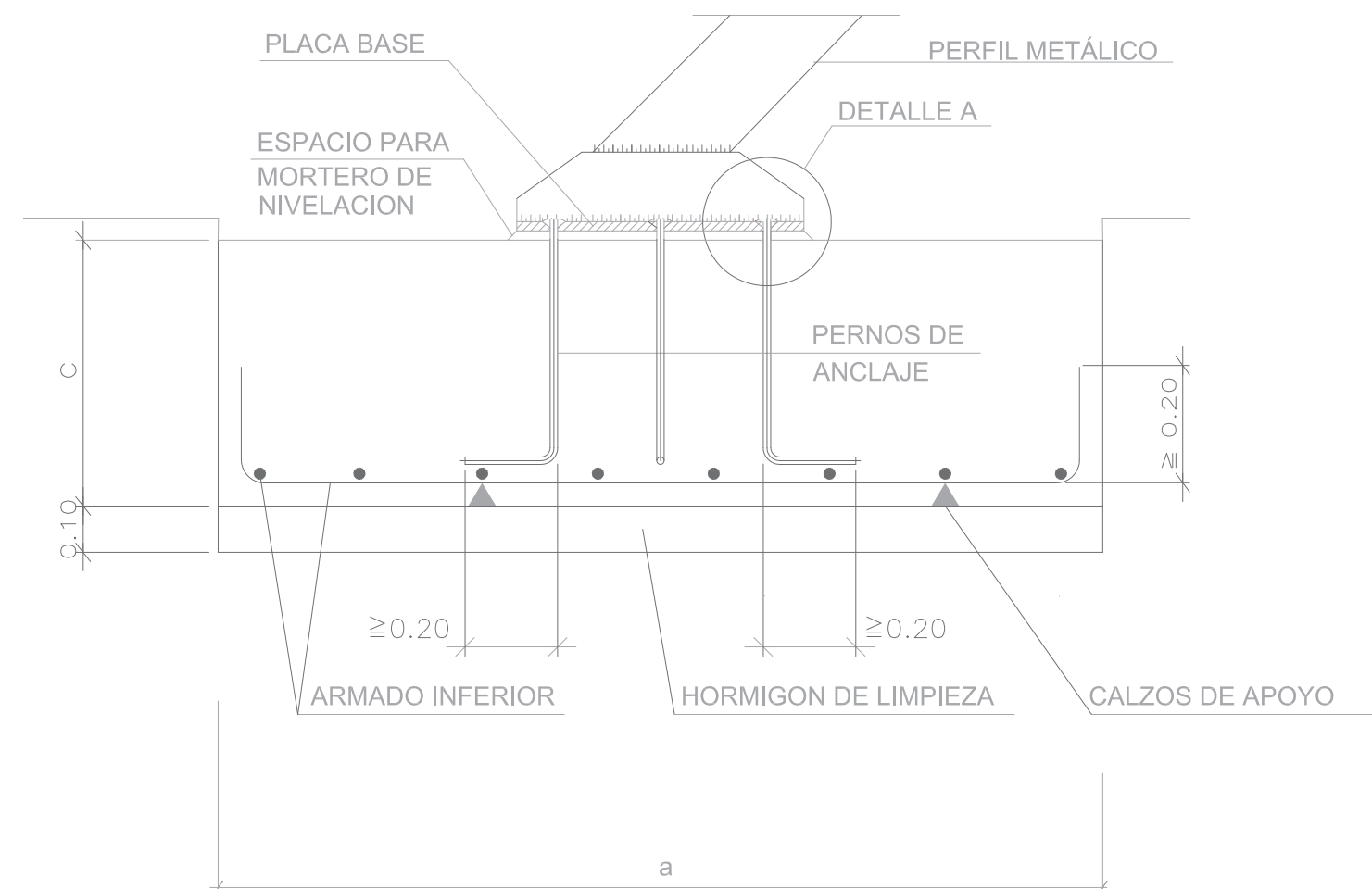
DETALLE DE LA SOLDADURA DEL PERNO A LA PLACA



DETALLE DE SECCIÓN DE ZAPATA DE CIMENTACIÓN CON SOPORTE RECTO

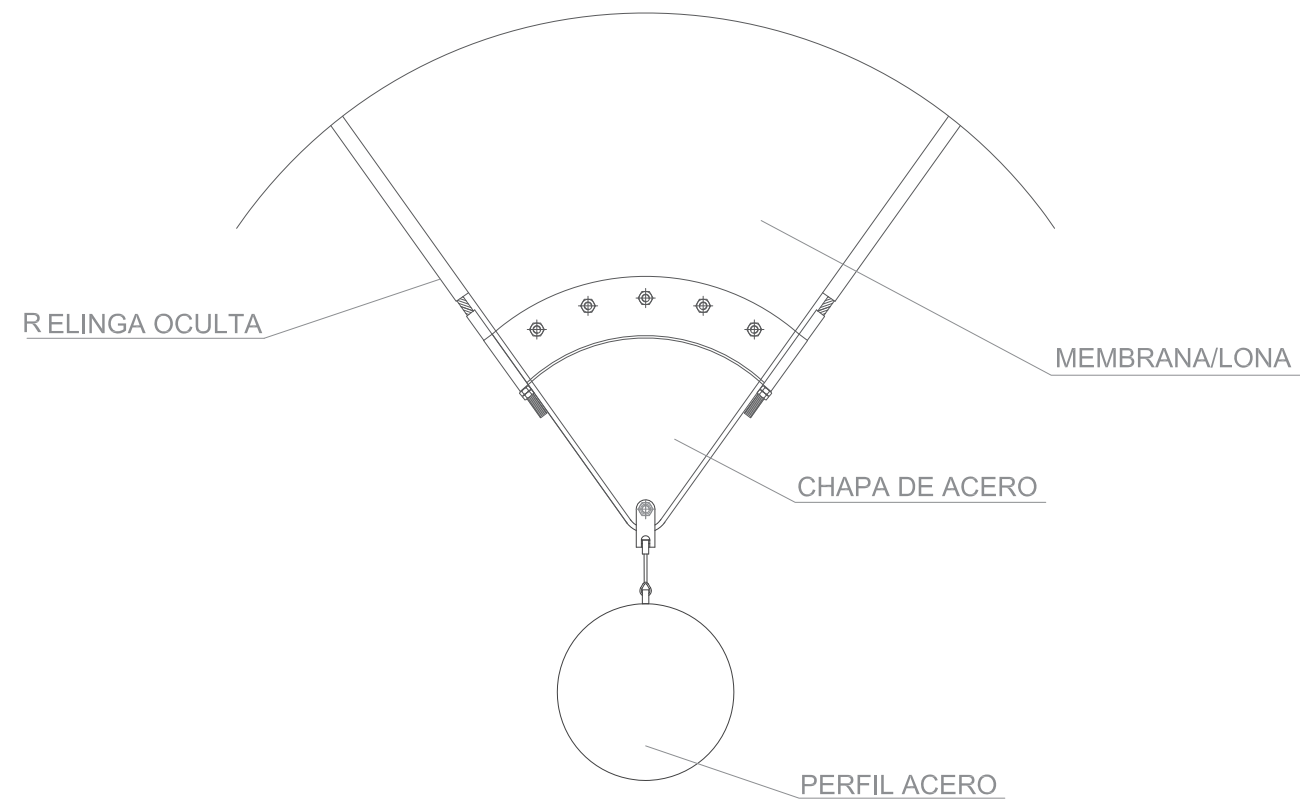


DETALLE DE SECCIÓN DE ZAPATA DE CIMENTACIÓN CON SOPORTE OBLICUO

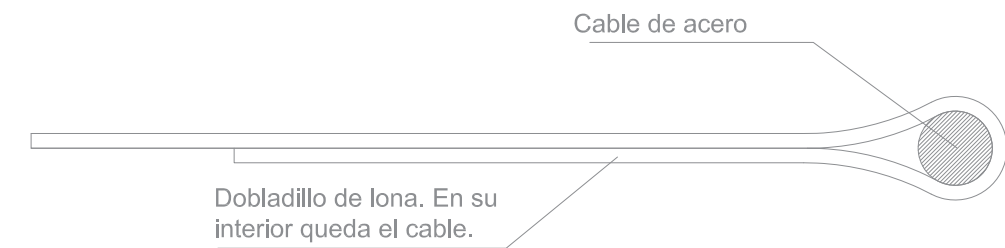




DETALLE DE UNIÓN DE MEMBRANA CON MÁSTIL



DETALLE DE BORDE DE LONA CON CABLE INTERIOR. RELINGA OCULTA



DETALLE EN VOLUMEN DE RELINGA OCULTA

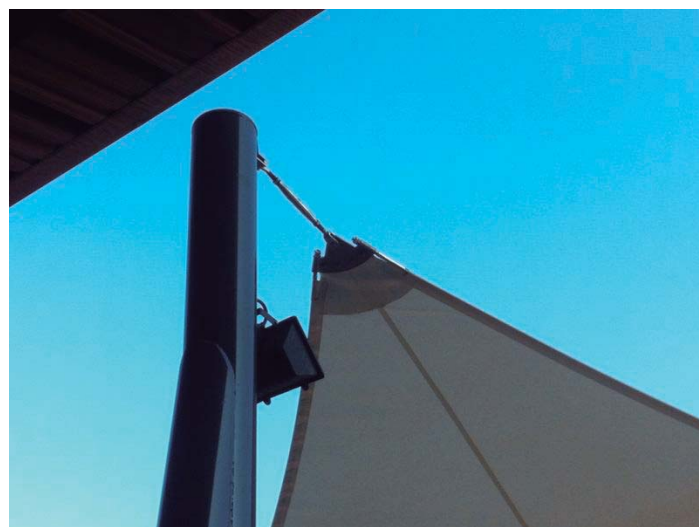
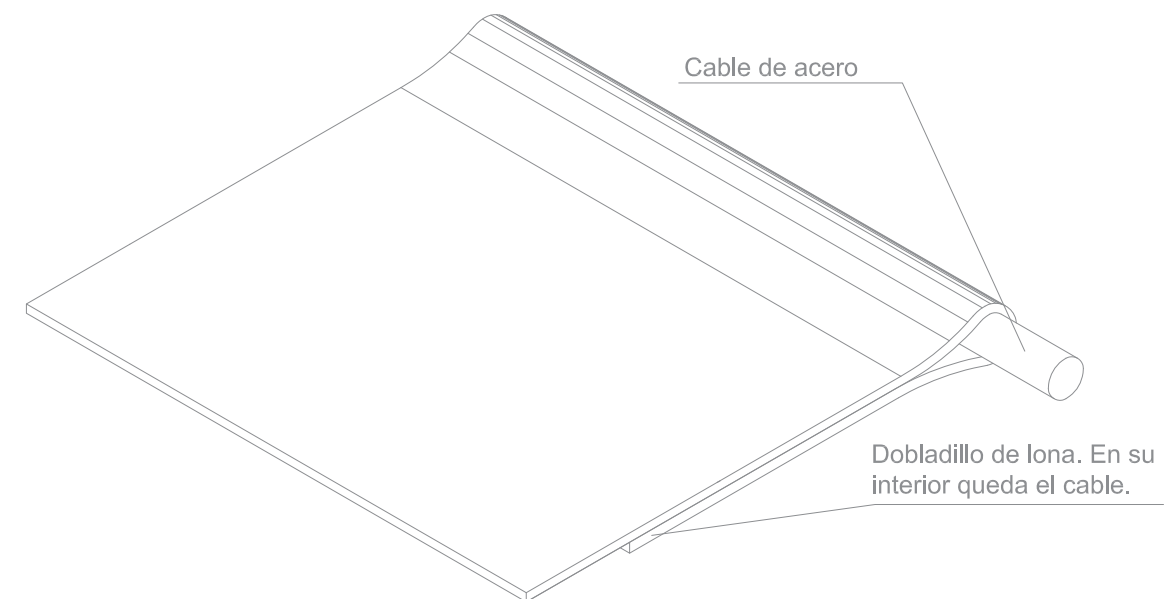


IMAGEN 43. Anclaje de la lona al mástil.



Los detalles constructivos, se han realizado de una manera genérica, ya que, todos los elementos que componen la estructura son iguales, diferenciando cada uno de ellos su tamaño. Por lo tanto he realizado una tabla, con todos los datos necesarios de cada uno de los elementos, que coincidirán con el término nombrado en cada uno de los detalles.

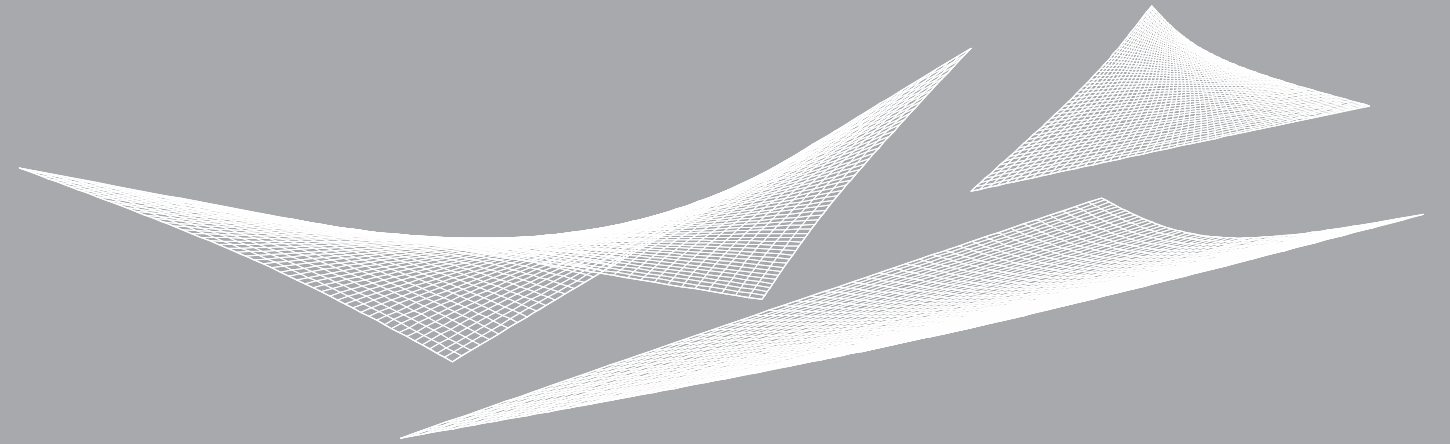
	PERFIL			DIMENSIONES PLACA		CARTELAS	
	Ømm	emm	L (m)	Acm	Bcm	e2 cm	H cm
ANCLAJE 1	-	-	-	30,00	30,00	-	-
ANCLAJE 2	-	-	-	30,00	30,00	-	-
SOPORTE 1	244,5	5	3,2	44,50	57,00	2	26
SOPORTE 2	200	8	6	40,00	52,00	2	24
SOPORTE 3	273	7	3,5	50,00	55,00	2	23
SOPORTE 4	155	6	5,5	35,50	47,50	2	23
SOPORTE 5	155	6	4,5	35,50	47,50	2	23
SOPORTE 6	175	6	5	19,50	49,50	2	23

Tabla 15. Datos de los elementos constructivos

	PERNOS			ZAPATA AISLADA			
	ACERO	Ø mm	Lb (cm)	a (cm)	c (cm)	As minima (cm2/m)	Ø Armadura
ANCLAJE 1	S275JR	16	20	100	60	12	16mm
ANCLAJE 2	S275JR	16	20	100	60	12	16mm
SOPORTE 1	S275JR	16	20	100	60	12	16mm
SOPORTE 2	S275JR	16	20	100	60	12	16mm
SOPORTE 3	S275JR	16	20	100	60	12	16mm
SOPORTE 4	S275JR	16	20	100	60	12	16mm
SOPORTE 5	S275JR	16	20	100	60	12	16mm
SOPORTE 6	S275JR	16	20	100	60	12	16mm

Tabla 16. Datos de los elementos constructivos.

## 4. PROYECTO Y EJECUCIÓN DE ESTRUCTURA TENSADA



### 4.4. PRESUPUESTO



PRESUPUESTO ESTRUCTURA TENSADA

**Presupuesto parcial nº 1 Acondicionamiento del terreno**

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
1.1	ADE010	m³	Excavación de tierras a cielo abierto para formación de pozos para cimentaciones hasta una profundidad de 0,70 m, en suelo de arena suelta, con medios manuales, hasta alcanzar la cota de profundidad indicada en el Proyecto.	4.900	15.15	74.24
<b>Total presupuesto parcial nº 1 Acondicionamiento del terreno :</b>						<b>74.24</b>

**Presupuesto parcial nº 2 Cimentaciones**

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
2.1	CRL010	m²	Formación de capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 10 cm de espesor, mediante el vertido con cubilote de hormigón HL-150/B/20 fabricado en central, en el fondo de la excavación previamente realizada.	0.700	8.76	6.13
2.2	CSZ010	m³	Formación de zapata de cimentación de hormigón armado HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, con una cuantía aproximada de acero UNE-EN 10080 B 500 S de 50 kg/m³. Incluso p/p de armaduras de espera del soporte.	4.200	142.58	598.84
<b>Total presupuesto parcial nº 2 Cimentaciones :</b>						<b>604.97</b>

**Presupuesto parcial nº 3 Estructuras**

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
3.1	EAS005	Ud	Suministro y montaje de placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, de 400x400 mm y espesor 20 mm, con 6 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 16 mm de diámetro y 50 cm de longitud total. Trabajado y montado en taller.	8.000	61.84	494.72
3.2	EAS010	kg	Suministro y montaje de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, de sección circular, para soportes, mediante uniones soldadas. Trabajado y montado en taller, con preparación de superficies en grado SA21/2 según UNE-EN ISO 8501-1 y aplicación posterior de dos manos de imprimación con un espesor mínimo de película seca de 30 micras por mano, excepto en la zona en que deban realizarse soldaduras en obra, en una distancia de 100 mm desde el borde de la soldadura.	910.000	1.95	1774.50
<b>Total presupuesto parcial nº 3 Estructuras :</b>						<b>2269.22</b>

**Presupuesto parcial nº 4 Pavimentos**

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
4.1	RSN020	m²	Formación de juntas de pavimento continuo de hormigón en masa HM-25/B/20/I fabricado en central y vertido con cubilote, de 5 cm de espesor, realizado sobre capa base existente (no incluida en este precio); y capa de mortero de rodadura, color Gris Natural, compuesto de cemento, áridos seleccionados de cuarzo, pigmentos orgánicos y aditivos, con un rendimiento aproximado de 5 kg/m², espolvoreado manualmente sobre el hormigón aún fresco.	120.000	16.07	1928.40
<b>Total presupuesto parcial nº 4 Pavimentos :</b>						<b>1928.40</b>

**Presupuesto parcial nº 5 Cubierta**

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
5.1	CB01	m2	Membrana de poliéster reforzada con fibra de vidrio, formada por tres capas unidas entre sí con un peso cada una de 100gr y un espesor de 1,2mm, adoptando de esta forma un espesor total de 3,6 mm de espesor. Realizado eel borde de la membrana mediante relinga oculta formada con cables de acero S275JR enrosados entre sí. Incluso colocación y enganchado de la lona a los mástiles.	160.000	70.00	11200.00
<b>Total presupuesto parcial nº 5 Cubierta :</b>						<b>11200.00</b>

**Presupuesto parcial nº 6 Carpintería**

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
6.1	CARP01		Puerta de dos hojas descompensadas de medidas 1600x2200 y 450x2200 con sensor de presencia de infrarrojo con cristal: camara 3+3 acust + c 3+3 acust.	1.000	1542.00	1542.00
6.2	CARP02	m2	Desmontaje de Puerta Abatible existente de dos hojas de dimensiones 60x60x1,90	2,300	7,42	17,07
6.3	CARP03	m2	Demolición de piezas de mármol para colocación de carpintería exterior, incluso limpieza de restos y retirada, nivelación de pavimento interior y pavimento exterior y	3,500	15,80	55,30
<b>Total presupuesto parcial nº 6 Carpintería :</b>						<b>1.614,37</b>





PRESUPUESTO ESTRUCTURA TENSADA  
Presupuesto parcial nº 7 Mobiliario

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
7.1	MOB1	UD	Islero para descanso de hormigón armado con esferas de vidrio, suave decapado e hidrofugado. Con un peso de 2500 Kg, Altura total de 97cm y anchura frontal de 330 cm, apto para zona de descanso de 4 personas, permite varias posiciones corporales y la práctica de actividades lúdicas y de trabajo.	2.000	2137.25	4274.50
7.2	MOB2	UD	Banco de Hormigón armado tipo flor grande para zona de descanso decapado e hidrofugado, con una altura de 42 cm y una anchura de 270 cm. Permite descansar, actividades lúdicas, de trabajo y reunión. Con un peso de 1747 Kg.	4.000	1359.60	5438.40
<b>Total presupuesto parcial nº 7 Mobiliario :</b>						<b>9712.90</b>

Presupuesto parcial nº 8 Control de Calidad

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
8.1	CC01		Partida al alza en materia de Control de Calidad.	1.000	822.15	822.15
<b>Total presupuesto parcial nº 8 Control de Calidad :</b>						<b>822.15</b>

Presupuesto parcial nº 9 Seguridad y Salud

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
9.1	SS01		Partida al alza en materia de Seguridad y Salud.	1.000	2740.50	2740.50
<b>Total presupuesto parcial nº 9 Seguridad y Salud :</b>						<b>2740.50</b>

Presupuesto parcial nº 10 Gestión de Residuos

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
10.1	GR01		Partida al alza en materia de Gestión de Residuos.	1.000	412.00	412.00
<b>Total presupuesto parcial nº 10 Gestión de Residuos :</b>						<b>412.00</b>

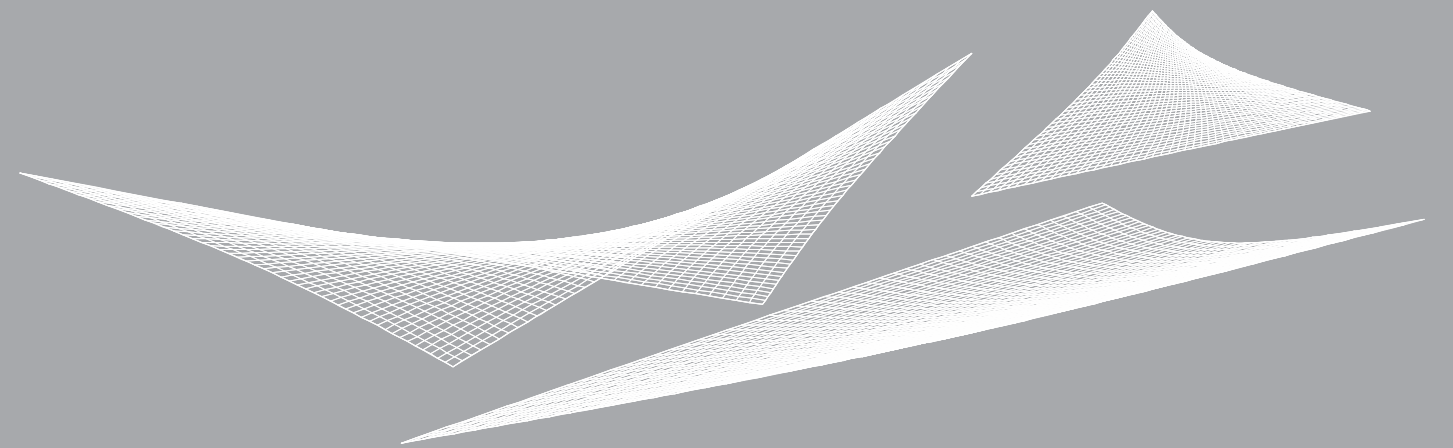
PRESUPUESTO ESTRUCTURA TENSADA  
Presupuesto de ejecución material

Página 11

	Importe (€)
1. ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO.....	74,24
2. CIMENTACIONES.....	604,97
3. ESTRUCTURAS.....	2.269,22
4. PAVIMENTOS.....	1.928,40
5. CUBIERTAS.....	11.200,00
6. CARPINTERÍA.....	1.614,37
7. MOBILIARIO.....	9.712,90
8. CONTROL DE CALIDAD.....	822,15
9. SEGURIDAD Y SALUD.....	2.740,50
10. CONTROL DE RESIDUOS.....	412,00
<b>Total .....</b>	<b>31.378,75</b>

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de TREINTA Y UN MIL TRESCIENTOS SETENTA Y OCHO EUROS CON SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

## 5. CONCLUSIONES



## METODOLOGÍA

Es necesaria una metodología de trabajo, una organización, para que el proceso constructivo y el desarrollo del proyecto nos sea lo más fácil posible. Organizarnos, paso a paso, cada una de las fases de nuestro proyecto.

## PROGRAMA DE CÁLCULO

Para la obtención de los principales esfuerzos de nuestra estructura, hemos utilizado, y he aprendido a utilizar, en cierta medida, el programa de cálculo SAP2000. Es un programa sencillo, con la posibilidad de ser aplicado a un diseño particular y con la capacidad de analizar estructuras con la combinación de cargas correspondientes.

Pero también es y era necesario, aplicar conocimientos que hemos aprendido a lo largo de nuestra carrera, de esta manera, hemos seguido un procedimiento de cálculo a partir del Código Técnico de Edificación y la Instrucción de Hormigón Estructural, normativas que vamos a utilizar a partir de este momento.

## FORMA GEOMÉTRICA

La forma está relacionada con la realización constructiva -materiales y detalles- y la geometría de la estructura - aspectos cuantitativos de la forma-.



IMAGEN 44. Maqueta. Geometría de la estructura.

## FUNCIONALIDAD

Los tejidos, mallas y lonas, ya no porque sea evidente, sino porque hemos podido comprobarlo con la realización de las maquetas, ofrecen posibilidades ilimitadas de formas tridimensionales.

Gracias al uso de esta estructura, se puede conseguir una gran superficie útil de libre uso para todo el personal que ocupa la escuela.

## PRESUPUESTO

Al realizar una estimación del presupuesto de la estructura, hemos observado que son de bajo coste, teniendo en cuenta las dimensiones, el proceso constructivo a seguir y los materiales que se utilizan. Este tipo de estructura requiere la utilización de poca variedad de materiales, por tanto es un menor coste de ejecución.

## APLICABILIDAD

Después de haber leído e investigado en diversos estudios realizados, en tesis doctorales y en artículos, las telas tienen una resistencia a tracción muy elevada por metro lineal y están confeccionadas para exteriores y para soportar durante años las condiciones externas, especialmente la tela que hemos utilizado, ya que se utiliza para la fabricación de velas de barco, poliéster reforzado con fibra de vidrio.

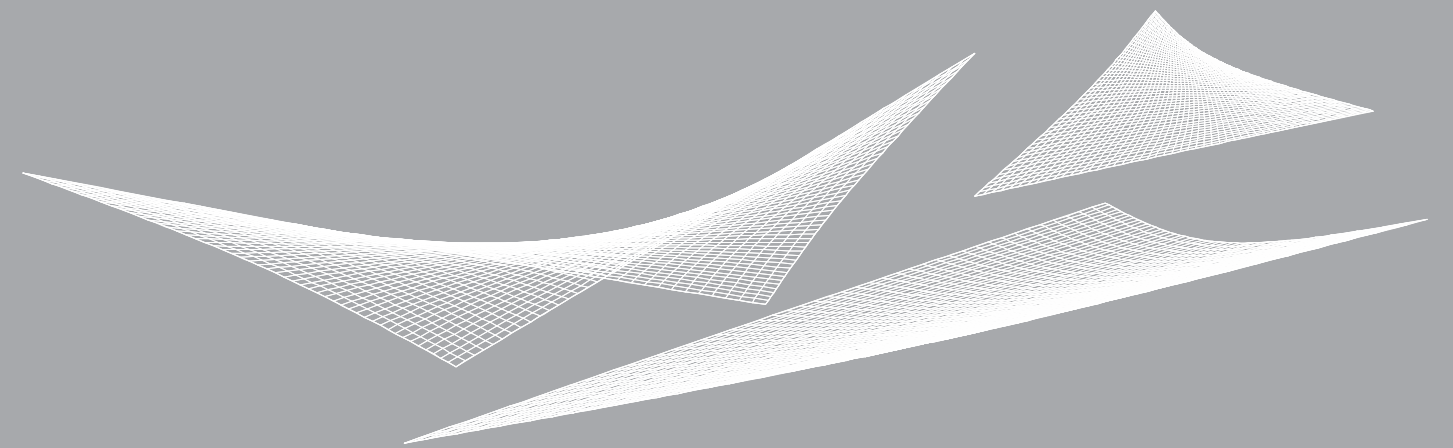
Una vez realizado este proyecto, creo que las estructuras tensadas están clasificadas como algo extra opcional, pero son estructuras que requieren de un gran estudio y de unos cálculos importantes, por tanto creo que deberían incluirse como un proceso de diseño en las etapas conceptuales y funcionales de una edificación.

De este modo, se concluye que el empleo de esta estructura otorga unas características geométricas, que contribuyen a un aumento de la superficie útil, a un buen comportamiento estructural, ya que son pocos los esfuerzos que debe de soportar debido a la forma que adopta, se adapta completamente al entorno respetando todos los condicionantes que nos encontremos y sobre todo, tienen la posibilidad de adoptar las soluciones constructivas necesarias para el proceso de ejecución de la misma.



IMAGEN 45. Maqueta. Envoltente.

## 6. BIBLIOGRAFÍA, ÍNDICE DE FIGURAS E ÍNDICE DE IMÁGENES



- 6.1. BIBLIOGRAFÍA
- 6.2. ÍNDICE DE IMÁGENES
- 6.3. ÍNDICE DE FIGURAS

## BIBLIOGRAFÍA

**Código Técnico de la Edificación - CTE**  
Documento Básico DB-SE-AE  
Año 2008

**Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08**  
Año 2008

**Generación, Manipulación y Visualización de Estructuras Tensadas en Tiempo Real**  
Tesis Doctoral: Javier Sánchez Sierra  
Grado de Doctor Ingeniero Industrial  
San Sebastián, Abril 2006

**Tenso-Estructuras desde Uruguay**  
Arquitecto: Roberto Santomauro

**Sistemas de Estructuras**  
Heino Engel  
Año 2001

**Estructuras para Arquitectos**  
Mario Salvadori y Robert Heller  
Año 2005

**La Geometría de las Superficies Arquitectónicas**  
D.Francisco Javier Sanchís Sampedro  
Año 2013

IMAGEN	FUENTE	PÁGINA
IMAGEN 1	Google Maps	1
IMAGEN 2	Google Maps	1
IMAGEN 3	Google Maps	1
IMAGEN 4	Fundación Laboral de la construcción/CV	1
IMAGEN 5	Propia	1
IMAGEN 6	Propia	3
IMAGEN 7	Propia	4
IMAGEN 8	Propia	4
IMAGEN 9	Propia	4
IMAGEN 10	Propia	4
IMAGEN 11	Propia	4
IMAGEN 12	Propia	4
IMAGEN 13	Google Maps	12
IMAGEN 14	Propia	14
IMAGEN 15	Propia	14
IMAGEN 16	Propia	14
IMAGEN 17	Propia	16
IMAGEN 18	Propia	16
IMAGEN 19	Propia	16
IMAGEN 20	Propia	16
IMAGEN 21	Propia	16
IMAGEN 22	Propia	16
IMAGEN 23	Propia	16
IMAGEN 24	Propia	16
IMAGEN 25	Propia	17
IMAGEN 26	Propia	17
IMAGEN 27	Propia	17
IMAGEN 28	Propia	17
IMAGEN 29	Propia	18
IMAGEN 30	Propia	18
IMAGEN 31	<a href="http://www.hormitec.info">www.hormitec.info</a>	18
IMAGEN 32	<a href="http://www.aplicahormigon.blogspot.com">www.aplicahormigon.blogspot.com</a>	18
IMAGEN 33	Propia	21
IMAGEN 34	Propia	21
IMAGEN 35	<a href="http://www.tectum.es">www.tectum.es</a>	21
IMAGEN 36	<a href="http://www.tectum.es">www.tectum.es</a>	21
IMAGEN 37	Propia	22
IMAGEN 38	Propia	22
IMAGEN 39	Propia	22
IMAGEN 40	Propia	22
IMAGEN 41	Propia	22
IMAGEN 42	Propia	22
IMAGEN 43	Propia	39
IMAGEN 44	Propia	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>FUENTE</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 1	Propia	2
Figura 2	Propia	2
Figura 3	Propia	2
Figura 4	Propia	2
Figura 5	Propia	3
Figura 6	Propia	3
Figura 7	Propia	5
Figura 8	Propia	5
Figura 9	Propia	5
Figura 10	Propia	5
Figura 11	Propia	5
Figura 12	Propia	5
Figura 13	Propia	5
Figura 14	Propia	5
Figura 15	Propia	5
Figura 16	Propia	6
Figura 17	Propia	6
Figura 18	Propia	6
Figura 19	Propia	6
Figura 20	Propia	6
Figura 21	Propia	6
Figura 22	Propia	6
Figura 23	Propia	6
Figura 24	Propia	6
Figura 25	Propia	8
Figura 26	Propia	8
Figura 27	Propia	9
Figura 28	Propia	9
Figura 29	Propia	9
Figura 30	Propia	11
Figura 31	Propia	11
Figura 32	Propia	12
Figura 33	Propia	18
Figura 34	Propia	19
Figura 35	Propia	20
Figura 36	Propia	20
Figura 37	Propia	23