



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

## Diseño y modelado gráfico de una estructura modular polivalente con inspiración biomimética

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

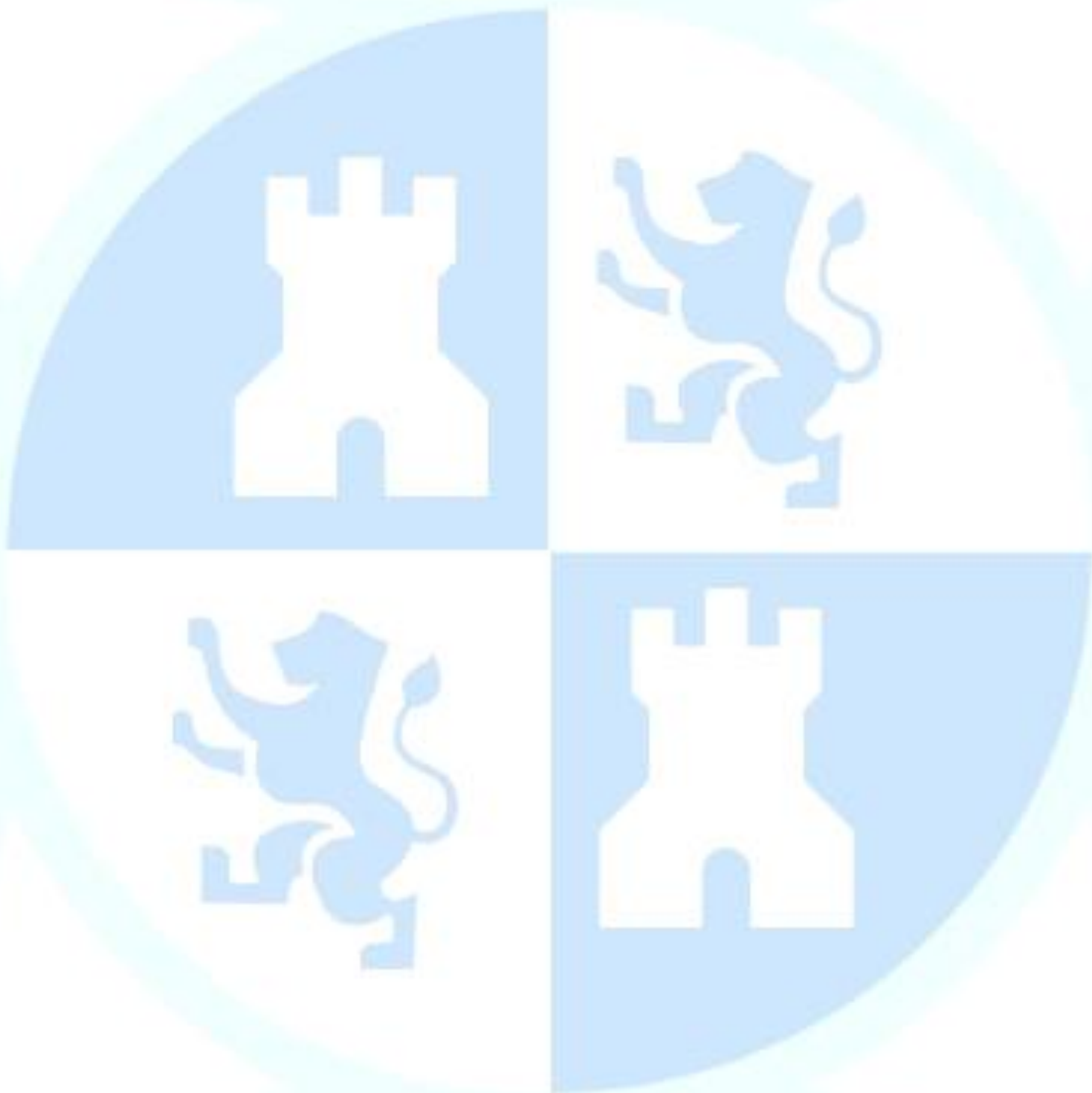
**Autor:** Manuel Soler Escudero  
**Director:** Dolores Parras Burgos



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Estado del arte .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Modularidad .....</b>	<b>5</b>
2.2.1. Teselaciones .....	6
2.2.2. Diseño modular.....	7
<b>2.3. Desarrollo sostenible.....</b>	<b>9</b>
<b>2.4. Biomimética .....</b>	<b>9</b>
2.4.1. Ejemplos biomimética .....	10
<b>3. Panel modular estructural.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Antecedentes .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2. Diseño y detalles .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3. Montaje .....</b>	<b>16</b>
<b>3.4. Ejemplos aplicación .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5. Materiales.....</b>	<b>23</b>
<b>3.6. Cálculos.....</b>	<b>25</b>
<b>3.7. Presupuesto .....</b>	<b>30</b>
<b>3.8. Conclusión.....</b>	<b>31</b>
<b>4. Panel modular flotante.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1. Antecedentes .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2. Diseño y detalles .....</b>	<b>34</b>
<b>4.3. Montaje .....</b>	<b>36</b>
<b>4.4. Ejemplos de aplicación .....</b>	<b>38</b>
<b>4.5. Materiales.....</b>	<b>39</b>
<b>4.6. Cálculos.....</b>	<b>42</b>
<b>4.7. Presupuesto .....</b>	<b>45</b>
<b>4.8. Conclusión.....</b>	<b>46</b>
<b>5. Bibliografía .....</b>	<b>46</b>
<b>6. Anexos .....</b>	<b>48</b>
<b>6.1. Planos para Fabricación .....</b>	<b>48</b>
6.1.1. Modelo 1.....	48
6.1.2. Modelo 2.....	57
<b>7. Índice de ilustraciones.....</b>	<b>63</b>



## **1. Introducción**

Con el presente proyecto buscamos el desarrollo de elementos mecánicos basados en la biomimética, los cuales satisfagan la necesidad de poder crear estructuras simples para uso en varias aplicaciones como: mercadillos, pérgolas, exposiciones, chiringuitos, aislamientos, plataformas flotantes.

La necesidad de poder montar y desmontar estructuras mecánicas para distintos eventos y aplicaciones hace que surja la idea del proyecto. Además se busca facilitar dicho montaje y desmontaje ahorrando tiempo de ejecución y agilizando el proceso.

En los distintos puntos que comprenden la memoria se pretende definir los criterios a seguir para la fabricación y el montaje final de los modelos propuestos, así como los cálculos y factores que nos llevan a la creación de dichos criterios.

## **2. Estado del arte**

Se pretende aplicar al proyecto cohesión de los conceptos de modularidad, biomimética y desarrollo sostenible.

### **2.1. Modularidad**

Durante las décadas de los años 60 y 70, las estrategias competitivas de las empresas industriales estaban orientadas a la fabricación en masa, con el ánimo de lograr mejoras sustanciales y diferenciación en costes. [9]

Actualmente crece la tendencia a concebir y diseñar los productos según una pauta modular. Los productos siempre se forman a partir de componentes y partes que después se integran en conjuntos más complejos. Sin embargo, cuando se observa la evolución de los productos a lo largo de las últimas décadas, se percibe un cambio de filosofía en su estructuración. Este cambio de filosofía es consecuencia de la toma en consideración del concepto de ciclo de vida y de la necesidad de las empresas de establecer una gama coherente y racional de los productos que fabrican. Los productos modulares son aquellos que están organizados según una estructura de varios bloques constructivos orientados a ordenar e implantar las distintas funciones y a facilitar las operaciones de composición del producto con el mínimo de interfaces posibles. Los bloques constructivos toman el nombre de módulos y su organización toma el nombre de estructura modular. [2]

## 2.2.1. Teselaciones

Es de interés introducir el concepto de **teselación**. Un teselado es un patrón repetitivo de figuras geométricas, por ejemplo polígono, que encajan y cubren el plano sin superponerse y sin dejar huecos [3]. Existen varios tipos [4]:

- **Teselados regulares:** se llaman así los teselados que están formados por polígonos regulares (aquellos polígonos que tienen todos los ángulos y todos los lados iguales), para ello es necesario que la unión de todos los vértices sumen  $360^\circ$ . Los únicos polígonos regulares que cumplen esta condición son el triángulo, el cuadrado y el hexágono.

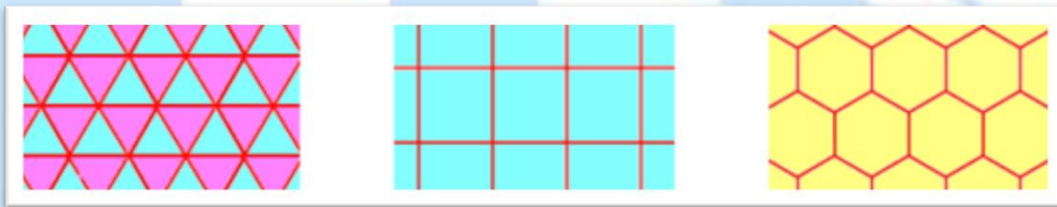


Ilustración 1: ejemplo de teselados regulares.

- **Teselados semi-regulares:** Este tipo de teselado está formado por dos o más polígonos regulares, de tal forma que en cada vértice tienen que confluír el mismo número de polígonos y de idéntica manera. Solo existen 8 tipos de teselados de esta forma:

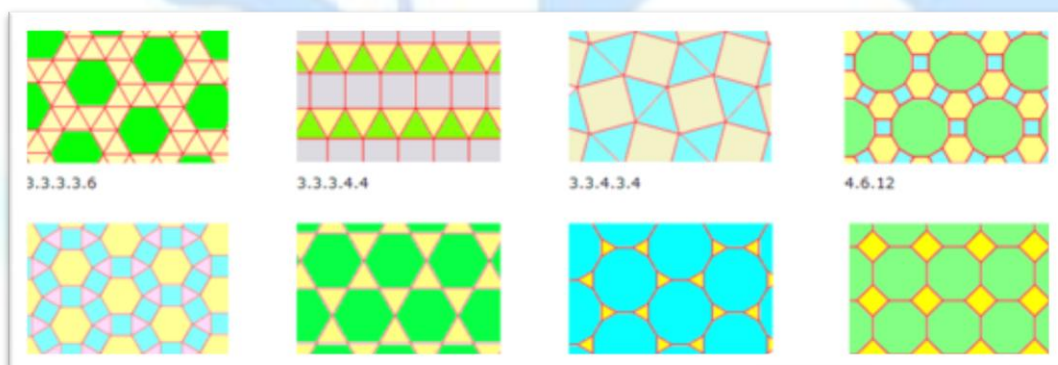


Ilustración 2: ejemplo de teselados semi-regulares.

- **Teselados no regulares:** Como su nombre indica, en este caso son teselados que



están formados por polígonos no regulares. Se cumple con cuadriláteros, triángulos (por ejemplo el escaleno) y hexágonos (como el famoso teselado de El Cairo).

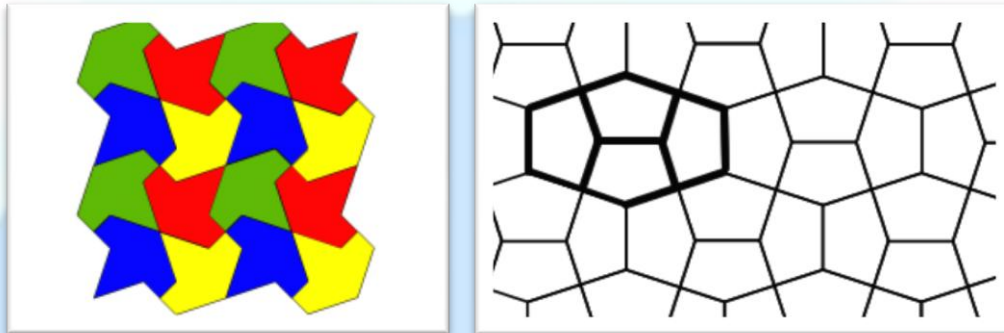


Ilustración 3: teselado de polígonos no regulares (izquierda), teselado de El Cairo (derecha)

### Ejemplos de teselaciones en la naturaleza

Si se mira un panel de abejas, se observa que está hecho a base de hexágonos regulares. Supongamos que la razón es que las abejas son animales muy organizados y que, por tanto, les gustan las teselaciones regulares por polígonos regulares. Entonces igualmente podrían haber utilizado triángulos o cuadrados. Pero es que las abejas son, además de organizadas, muy ahorradoras. No les gusta usar más cera de la necesaria para fabricar sus celdillas, y la teselación hexagonal resulta ser la más económica. [6]

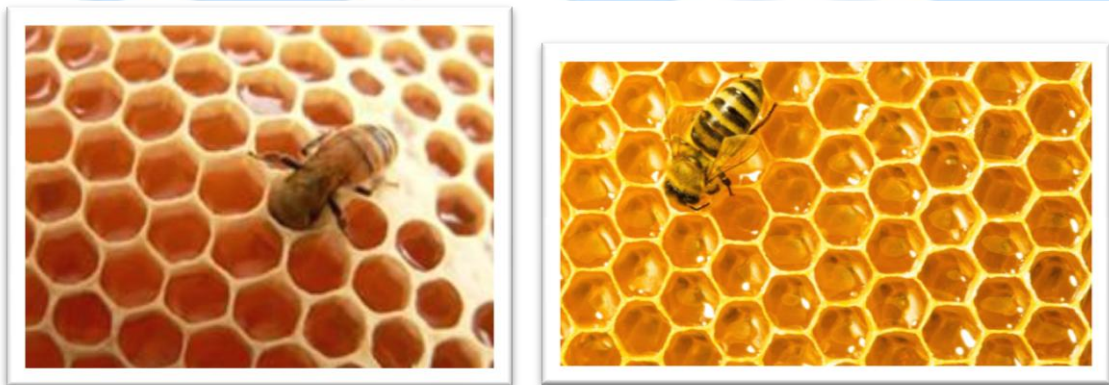


Ilustración 4: panel de abejas (izquierda), teselaciones en un panel de abejas (derecha)

### 2.2.2. Diseño modular

El diseño modular o la modularidad en la construcción es el diseño basado en la modulación reticular de espacios que permitan optimizar el tiempo de construcción y

debido a que son transportables, desarmables y reorganizables permiten impulsar múltiples funcionalidades y su reutilización al generar un nuevo uso diferente al que fueron fabricados.

Este tipo de diseño se puede ver en algunos edificios, especialmente edificios modulares. Los edificios modulares (y también casas modulares) generalmente consisten en piezas universales (o módulos) que son fabricados en una planta y luego se envían a un sitio de construcción donde se ensamblan en una variedad de disposiciones.

Los edificios modulares se pueden aumentar o reducir de tamaño por la adición o eliminación de ciertos componentes. Esto se puede hacer sin alterar las porciones más grandes de la construcción. Los edificios modulares pueden también experimentar cambios en la funcionalidad utilizando el mismo proceso de agregar o quitar componentes modulares.

### **Ventajas del diseño modular**

#### **Más ecológica**

- El proceso controlado de producción genera menos residuos, crea menos disturbios a la hora del montaje y permite una construcción más ajustada.

#### **Mayor flexibilidad y reutilización**

- Las estructuras modulares pueden ser desmontados y los módulos recolocados o renovados para nuevo uso, reduciendo la demanda de materia prima y minimizando la cantidad de energía empleada en crear un edificio para conocer las nuevas necesidades.

#### **Menos derroche de material**

- Cuando se construye en una fábrica, los residuos son eliminados reciclando materiales, controlando el inventario y protegiendo los materiales de producción.

#### **Calidad del aire mejorada**

- Los potenciales altos niveles de humedad que atrapa una nueva construcción son eliminados, ya que la estructura modular está sustancialmente terminada en una fábrica controlada que utiliza materiales secos.

#### **Más rápida**

- La construcción de edificios modulares se produce simultáneamente en el mismo lugar de trabajo, permitiendo que los proyectos se completen en la mitad de tiempo que las construcciones tradicionales.



## 2.3. Desarrollo sostenible

Según se define en el informe de la comisión Brundtlandt: “se llama desarrollo sostenible a aquél desarrollo que es capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones”.

Otras definiciones como las que proponen: D. Pearce, A. Markandya y E.B. Barbier, en la cual se establece que en una sociedad sostenible no debe haber.

- Un declive no razonable de cualquier recurso.
- Un daño significativo a los sistemas naturales.
- Un daño significativo a los sistemas naturales.

## 2.4. Biomimética

Biomimesis (de bio, vida y mimesis, imitar), también conocida como biomimética o biomimetismo, es la ciencia que estudia a la naturaleza como fuente de inspiración para resolver aquellos problemas humanos que la naturaleza ya ha resuelto.

A través de la evolución, la naturaleza ha experimentado varias soluciones a sus desafíos y ha mejorado las más exitosas de ellas. Específicamente, la naturaleza experimenta con los principios de la física, química, mecánica, ciencia de materiales, movilidad, control, sensores y muchos otros campos que nosotros reconocemos como ciencia e ingeniería. Los procesos de la naturaleza también involucran el escalamiento de lo nano y micro a lo macro y mega. Los sistemas vivos acumulan información codificando esta en los genes de las especies y pasando la información de una generación a otra a través de su propia replica.

Partiendo como base de que la naturaleza por necesidad ya ha resuelto muchos problemas que han surgido a lo largo de los años con un visible éxito. Los seres vivos han conseguido adaptarse y sobrevivir. A medida que nuestro mundo se parezca y funcione como el mundo natural, mayor es nuestra probabilidad de sobrevivir en él.

La Biomimética como concepto no es nuevo. Antiguamente diversas creaciones humanas tenían una clara inspiración natural. Leonardo da Vinci desarrollo varios modelos de maquinas voladoras y barcos con un fuerte referencia biológica. Más recientemente, Percy Shaw creó en 1935 los reflectores de ojo de gato tras descubrir que estos felinos poseen un sistema de células que reflejan el más mínimo rayo de luz. Otro ejemplo es el de George de Maestral que invento en 1948 el velcro tras observar como los ganchos de las semillas se agarraban al pelo de su perro.

En los tiempos actuales la población y nuestros hábitos no son sustentables, se ha llegado a un límite de tolerancia de la naturaleza. La sustentabilidad se define como la habilidad de las actuales generaciones para satisfacer sus necesidades sin perjudicar a las futuras generaciones. Por lo tanto la biomimética no es solamente una técnica si no también una filosofía de equilibrio con la naturaleza, esta funciona con luz solar, utiliza solo la energía que necesita, lo recicla todo, frena los excesos en su interior. Los seres vivos que viven en la naturaleza tienen la capacidad de adaptarse al medio y aprender de él. [1]

### 2.4.1. Ejemplos biomimética

- La empresa **Pax científico**, líder global en tecnología de sistemas activos de mezcla para tanques de almacenamiento en el sector industrial, petrolero, farmacéutico e industrias de bebidas, diseñó una Tecnología rotativa para el mezclado, basándose en la biomimética y consiguiendo reducir la energía usada, el tiempo de mezclado y por lo tanto aumentar la producción.



Ilustración 5: número áureo en una planta (izquierda), número áureo en el caparazón de un caracol (derecha)

Su innovador diseño permite mezclar tanques de hasta 75,700 m<sup>3</sup>. Capacidad de mezcla de 3,400 m<sup>3</sup>/hora.

Con solo 1/3 caballo de fuerza, puede mezclar tanques de hasta 26,500 m<sup>3</sup> (2,300 m<sup>3</sup>/hora), lo que demuestra la eficacia energética y cinética de la tecnología, garantizando: residuales estables, optimización de uso de agentes químicos, diferencial de temperatura de menos de 1°C en todo el depósito.

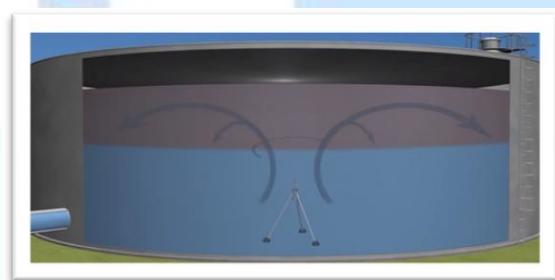


Ilustración 6: mezclado en tanques.

- El traje de baño de la marca “Speedo” modelo Fastskin FSII, imita la piel de tiburón.

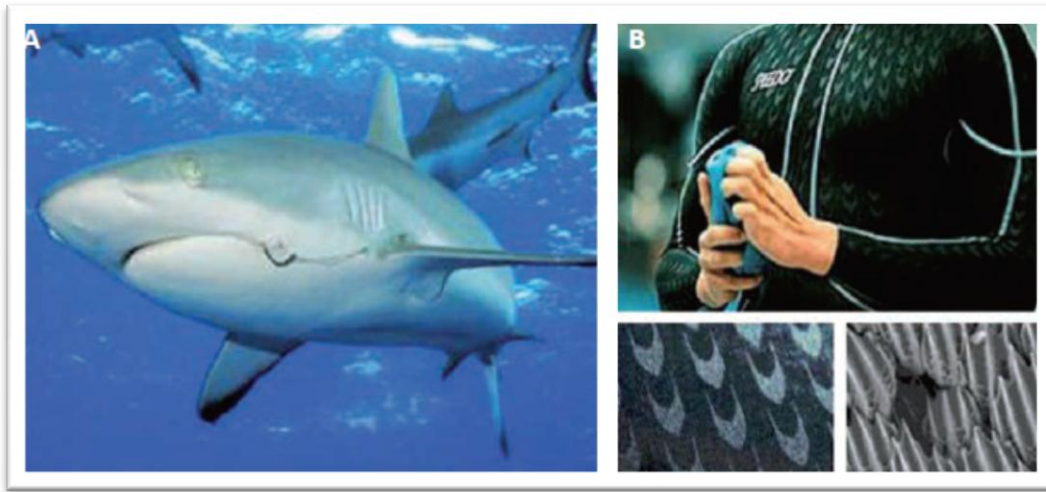


Ilustración 7: traje de baño basado en la piel de un tiburón.

El tiburón destaca por su velocidad en el agua, pero no es hidrodinámico por naturaleza. Esta velocidad se da gracias a una piel con escamas en forma de V denominadas dentículos, que reducen la resistencia y las turbulencias alrededor de su cuerpo, permitiendo que el agua deslice alrededor del cuerpo del tiburón con mayor eficacia.

La forma y el tacto de los dentículos del tiburón varían a lo largo del cuerpo, optimizando así el deslizamiento del agua. Debido a la resistencia que se produce cuando un objeto viaja por el agua, Fastskin está fabricando con aristas que emulan las escamas del tiburón, con unas partes más rugosas y otras más suaves que se van combinando. El modelo reduce la turbulencia y ayuda al nadador a desplazarse con más soltura porque corta la resistencia del agua. [1]

Algunas de las mayores aplicaciones de la Biomimética se dan en el campo de los biomateriales, ya que se involucra la síntesis o reproducción de materiales naturales y su posterior aplicación en diseños prácticos.

- La tela de araña es uno de los biomateriales más admirables por su alta resistencia y bajo peso. Este material, es producido por una glándula especial que tienen las arañas en su cuerpo, con la ventaja como ya se dijo que es ligero y flexible, y si se comparará en cuanto a peso sería tres veces más resistente que el acero.

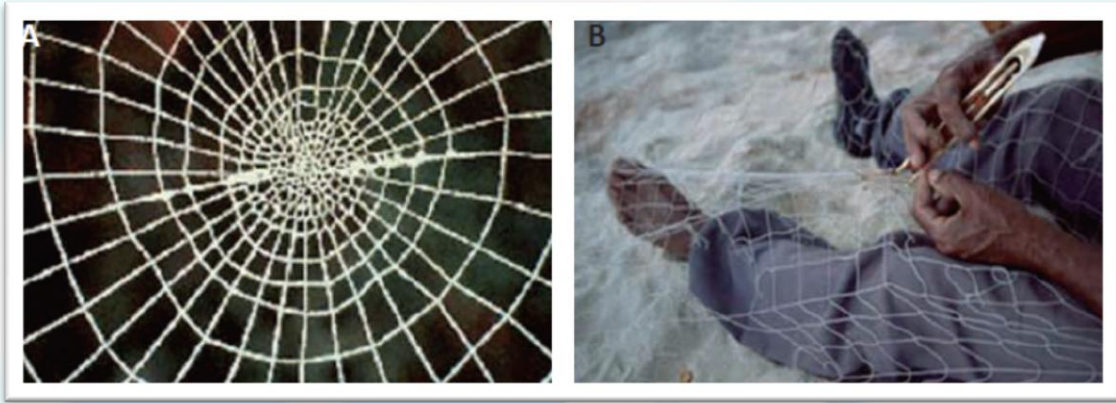


Ilustración 8: tela de araña.

Una firma dedicada a la biotecnología en Québec llamada Nexia, Biotechnologies, ha obtenido exitosamente los genes de la seda de dos diferentes tipos de araña copiándolos en leche transgénica de cabra, en vistas a que en un futuro no lejano poder fabricar seda de araña en cantidades suficientes para poder ser empleada en el levantamiento de algunas estructuras, de manera tal que se pudiera sustituir al acero (material que se corroe fácilmente) y al kevlar (material polimérico muy costoso, obtenido mediante procesos fuertemente contaminantes y cuyo reciclaje hoy en día es bastante complicado). [1]

- El tren bala Shinkansen de la empresa ferroviaria japonesa West Japan Railway Company es el tren más rápido del mundo, llegando a viajar a 200 millas por hora (unos 320 kilómetros por hora). ¿El problema? el ruido. Los cambios en la presión atmosférica producían grandes estruendos cada vez que el tren salía de un túnel, haciendo que los residentes de un radio alrededor de hasta 4000 metros se quejasen.



Ilustración 9: tren bala basado en el morro del Martín pescador.



Eiji Nakatsu, jefe ingeniero del tren y ávido observador de aves, se preguntó, si había algo en la naturaleza que se desplace de manera rápida y suave entre dos medios. Modelizando el morro del tren como el pico del Martín pescador, que se zambulle desde el aire al agua con muy poco chapoteo para capturar sus peces, resultó no sólo en un tren más silencioso, sino también en un ahorro del 15% en el uso de electricidad, incluso cuando el tren viaja un 10% más rápido. [1] [5]

Con estos ejemplos podemos ver que la Biomimética es una herramienta útil en el descubrimiento de nuevas soluciones que se adapten al entorno y sean respetuosas con la biósfera.

### 3. Panel modular estructural

Como primer modelo se propone y explica un panel modulable de uso polivalente que pueda ser ensamblado tanto vertical como horizontalmente, con vistas a poder ensamblarse para poder formar estructuras que sirvan para distintos usos, tales como: exposiciones, mercadillos, pérgolas...).

A lo largo del proyecto se explicará el funcionamiento de dicho panel y de las partes que lo componen.

#### 3.1. Antecedentes

Se ha hecho una búsqueda de productos similares, en la cual no se ha encontrado nada estrictamente parecido, pero si paneles modulares que se utilizan para fachadas de construcciones industriales.

En la ilustración 10 se puede observar un panel de hormigón prefabricado para el cerramiento de una nave industrial, el cual se apoya en vigas perimetrales de cimentación, anclándose a la estructura principal del edificio.



Ilustración 10 fachada de hormigón prefabricado (izquierda), paneles de hormigón prefabricado (derecha)



### 3.2. Diseño y detalles

El panel se fabricará con una estructura tipo sándwich explicada más adelante, lo cual quiere decir que el panel tiene un vaciado con un grosor de 2 mm y esta relleno de polietileno expandido para darle resistencia y ligereza.

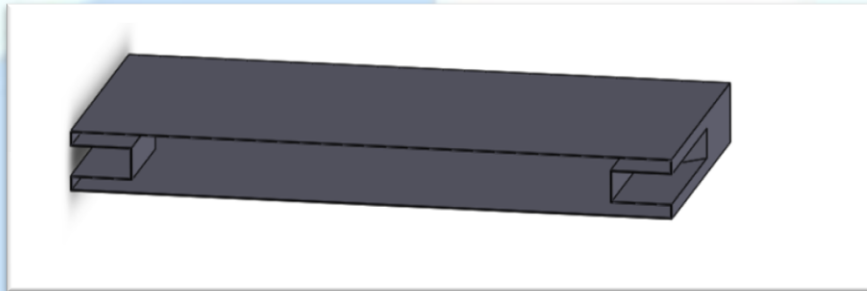


Ilustración 11: sección panel vacío solo con la chapa de aluminio de 2mm

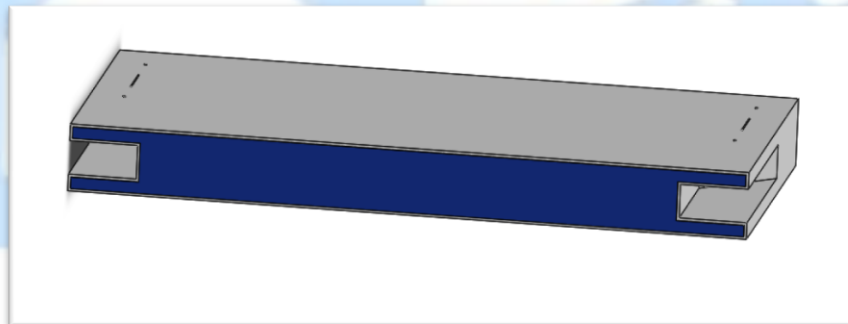


Ilustración 12: sección panel relleno de polietileno expandido de baja densidad

Esta estructura es compatible con las operaciones de mecanizado, para poder darle la forma deseada que se desarrollara a lo largo de este apartado y quedará totalmente definida en los planos.

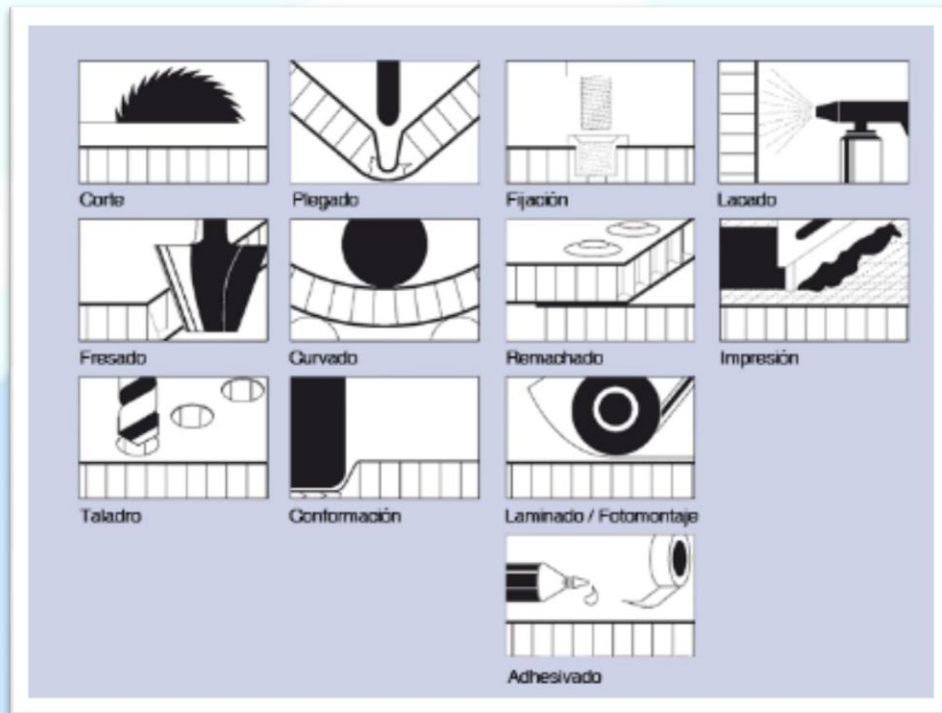


Ilustración 13: operaciones de mecanizado compatibles con el panel

En las ilustraciones siguientes (14-16) se introduce la primera visión del panel.

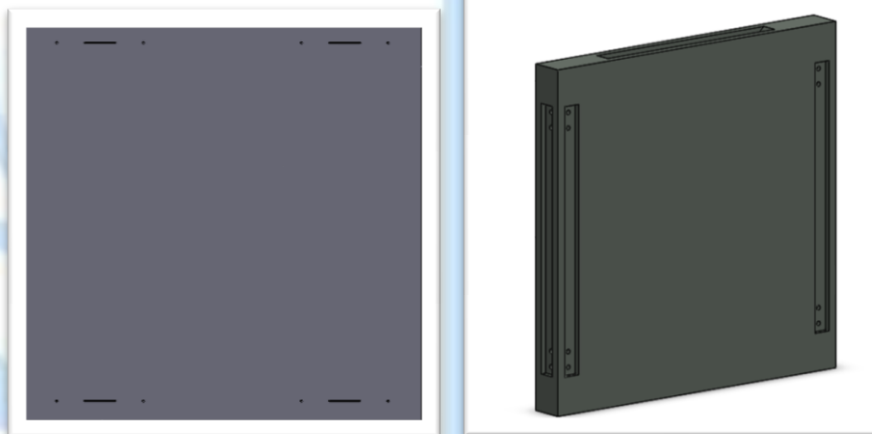


Ilustración 14: vistas del panel



Ilustración 15: vistas del panel

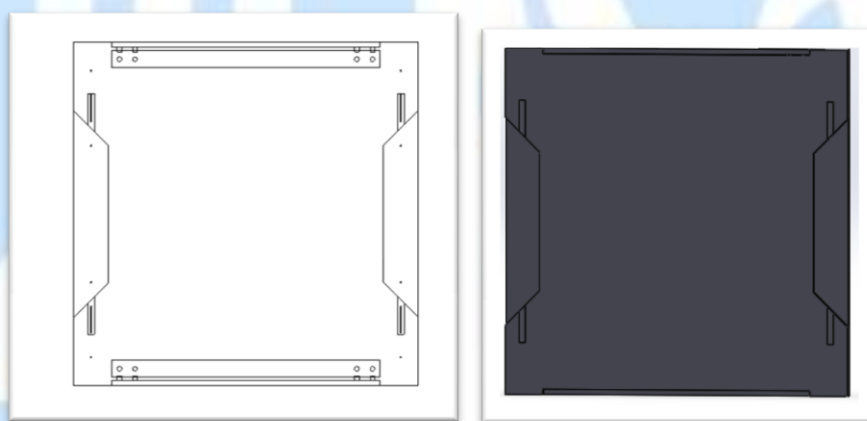


Ilustración 16: panel transparentado (izquierda), sección del panel (derecha)

### 3.3. Montaje

Para el enganche de los paneles se atornillarán unos machos, mostrados en la ilustración 17, los huecos que aparecen en dichas ilustraciones, una vez atornillados se ensamblará como se muestra en las ilustraciones 18,19 y 20 quedando los dos paneles ensamblados como se muestra.

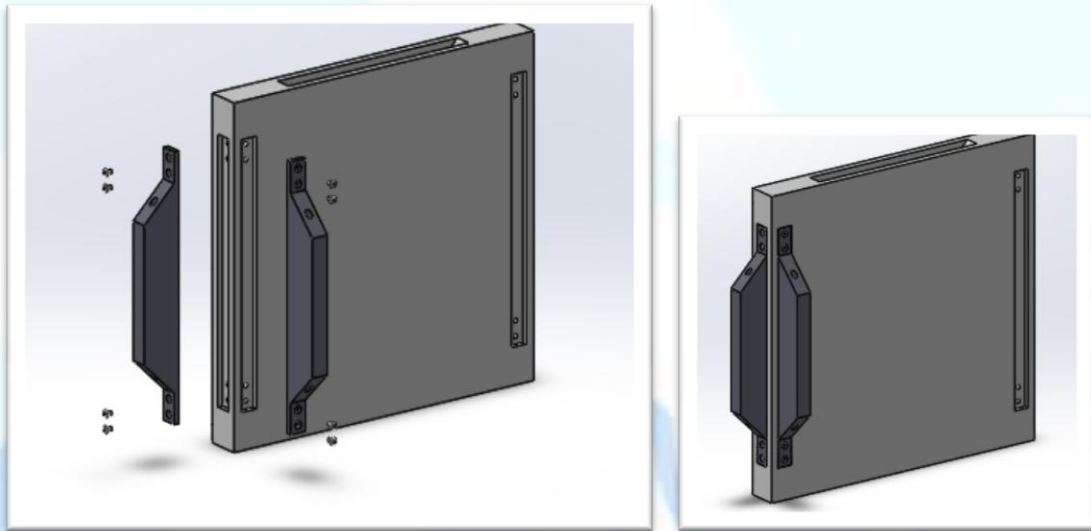


Ilustración 17: explosionado panel con machos (izquierda), panel con machos (derecha)

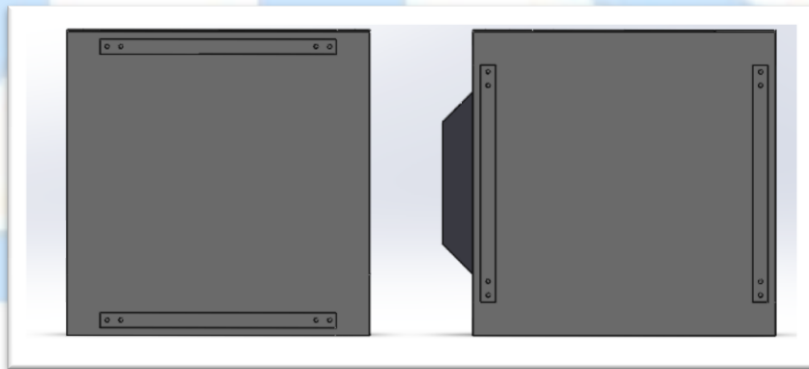


Ilustración 18: ensamblaje horizontal explosionado

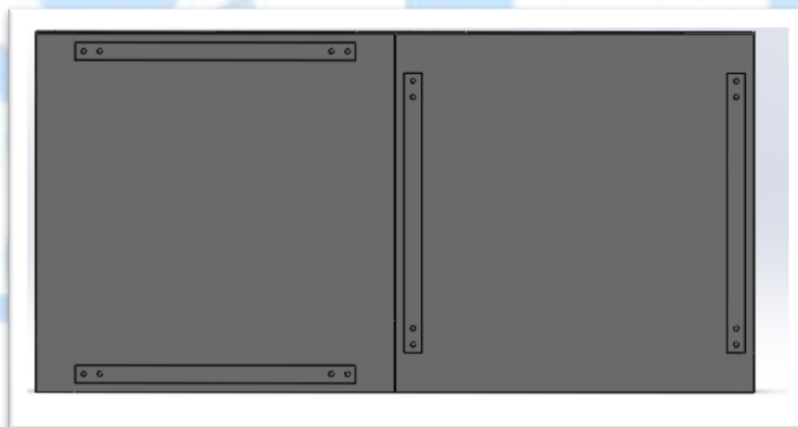


Ilustración 19: ensamblaje horizontal

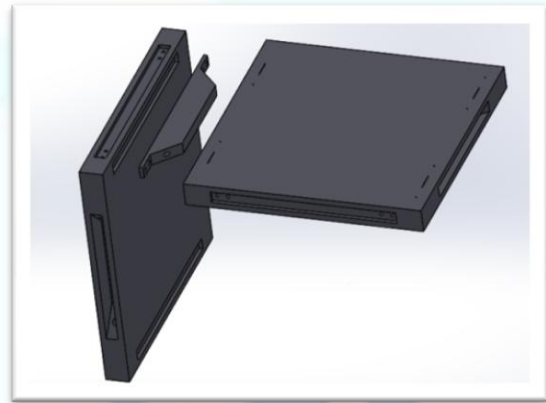
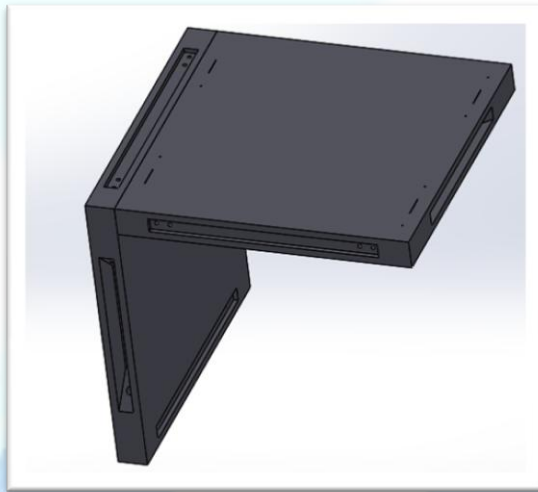


Ilustración 20: ensamblaje en ángulo (izquierda), ensamblaje en ángulo explosionado (derecha)

El mecanismo de enganche se compone de un actuador colocado en el hueco hembra del panel (ilustración 21), el cual se mueve mediante una varilla para empujar al pasador que se sitúa en el macho (ilustración 22) y va tensionado por un muelle (ilustración 24) el cual lo hará entrar en la hembra, para sacarlo se moverá la varilla presionando el actuador contra el pasador, venciendo la fuerza del muelle (ilustraciones 23 y 24).

Las posiciones del actuador azul se quedan definidas con los puntos salientes que se ven en la ilustración 26 en los cuales se queda anclada la chapa blanca que también tiene esos puntos en forma de huecos.



Ilustración 21: elementos del panel

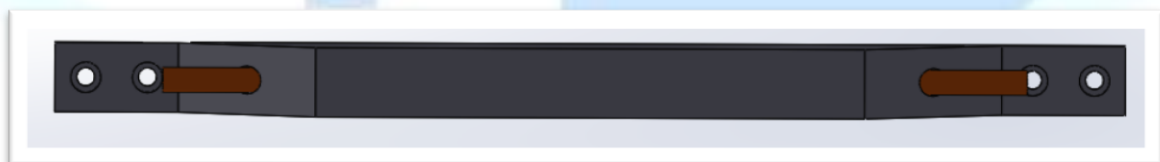


Ilustración 22: elementos del macho de unión





Ilustración 23: posición de ensamblaje



Ilustración 24: posición de desensamblaje

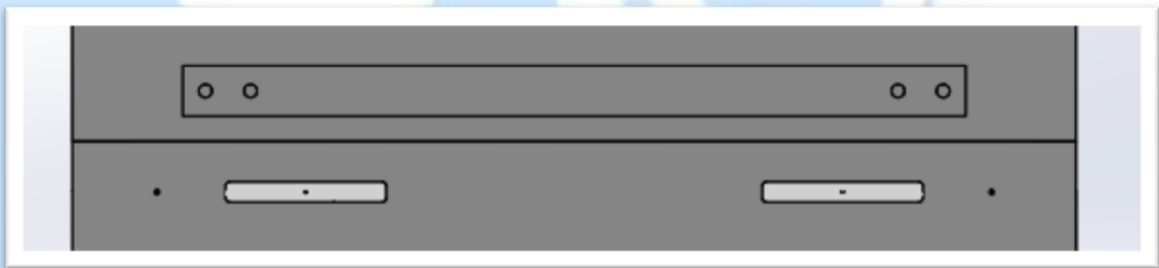


Ilustración 25: vista final del enganche

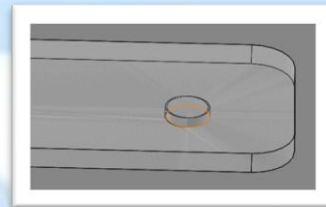
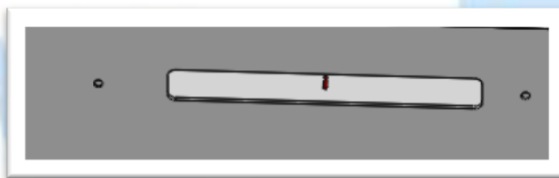


Ilustración 26: detalle de los puntos que definen las posiciones (izquierda), unión del punto con la chapa del enganche (derecha)

Para apoyar los paneles estructuralmente se pondrán a agregar elementos auxiliares como el que se muestra a modo de ejemplo para poder ensamblar un pilar.

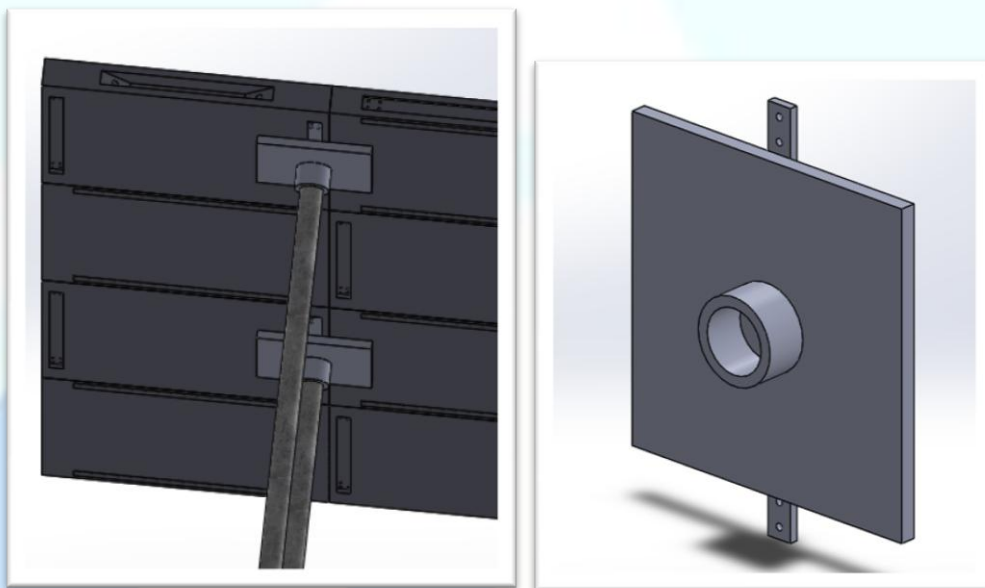


Ilustración 27: ensamblaje con elementos auxiliares (izquierda), elemento auxiliar (derecha)

Las dos formas en las que se pueden ensamblar los paneles permiten tanto un ensamblaje vertical como horizontal (ilustración 28)

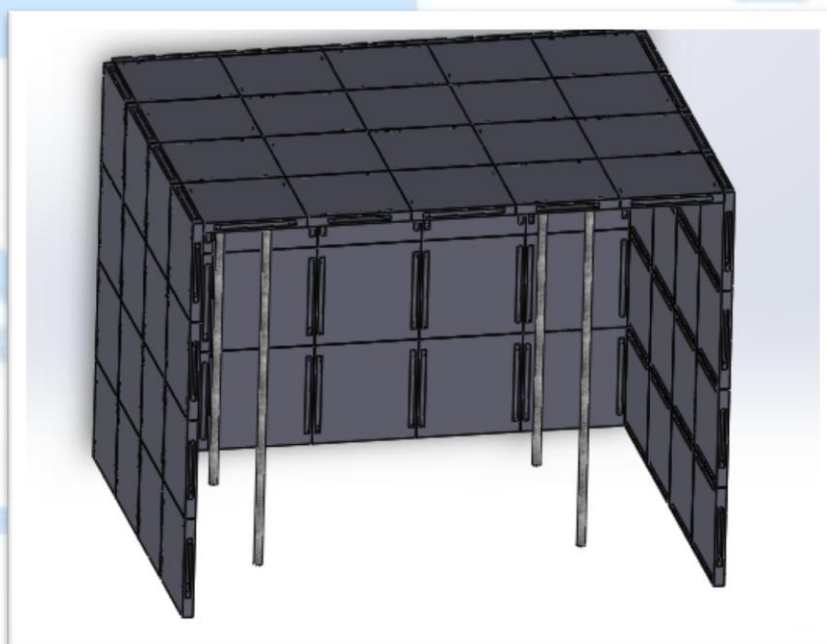


Ilustración 28: ejemplo de ensamblaje paneles

Añadiendo unos soportes laterales y soportes hidráulicos que se regulen acorde a la estructura.

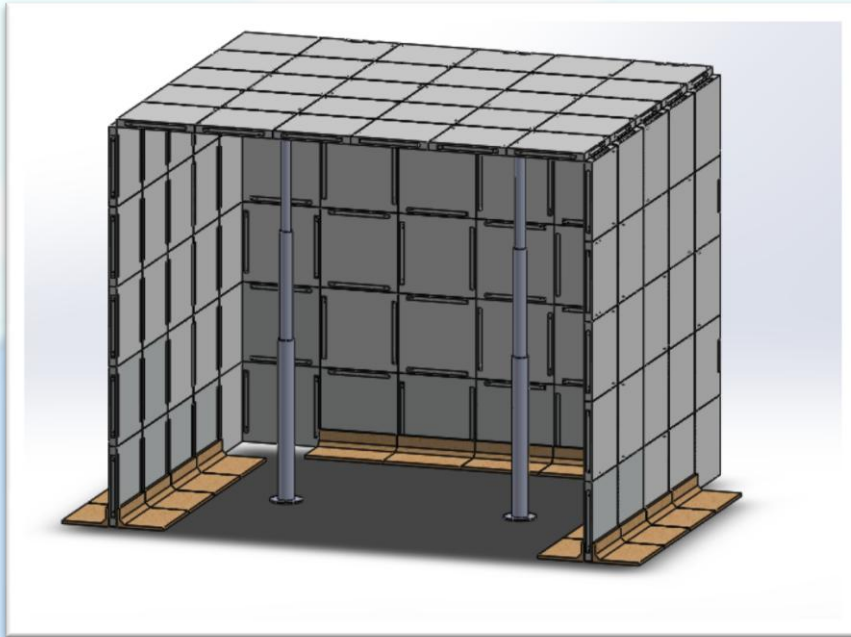


Ilustración 29: ejemplo ensamble paneles

### 3.4. Ejemplos aplicación

Como primer ejemplo se muestra una aplicación como pérgola para resguardar un vehículo a la sombra

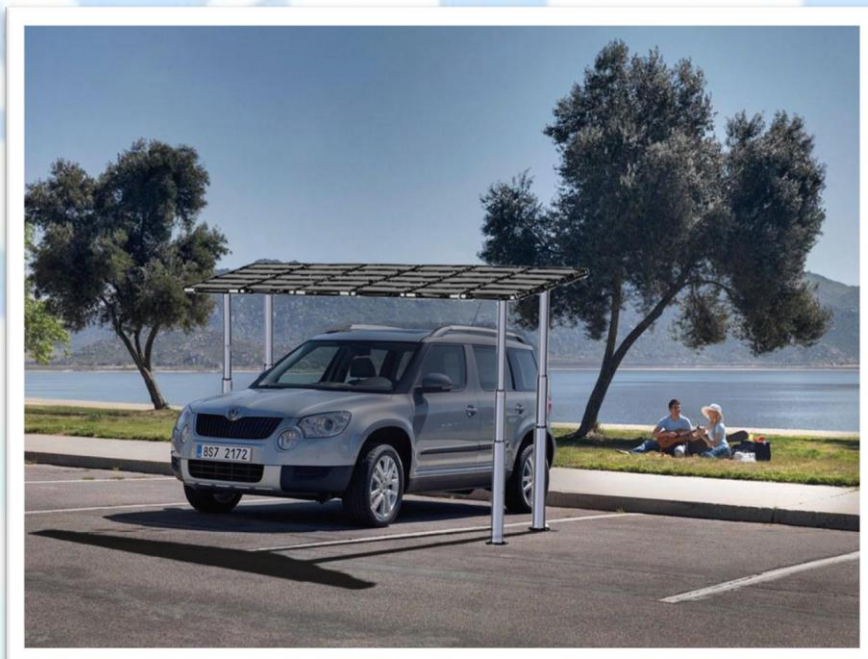


Ilustración 30: ensamblaje a modo de pérgola para proporcionar sombra a un vehículo

En el siguiente ejemplo vemos los paneles montados a modo de puestos sirviendo para una exposición, mercadillo o similares.



Ilustración 31: ensamblaje a modo de caseta para exposiciones o mercados

En la siguiente ilustración se muestra un ensamblaje a modo de toldo para un evento.

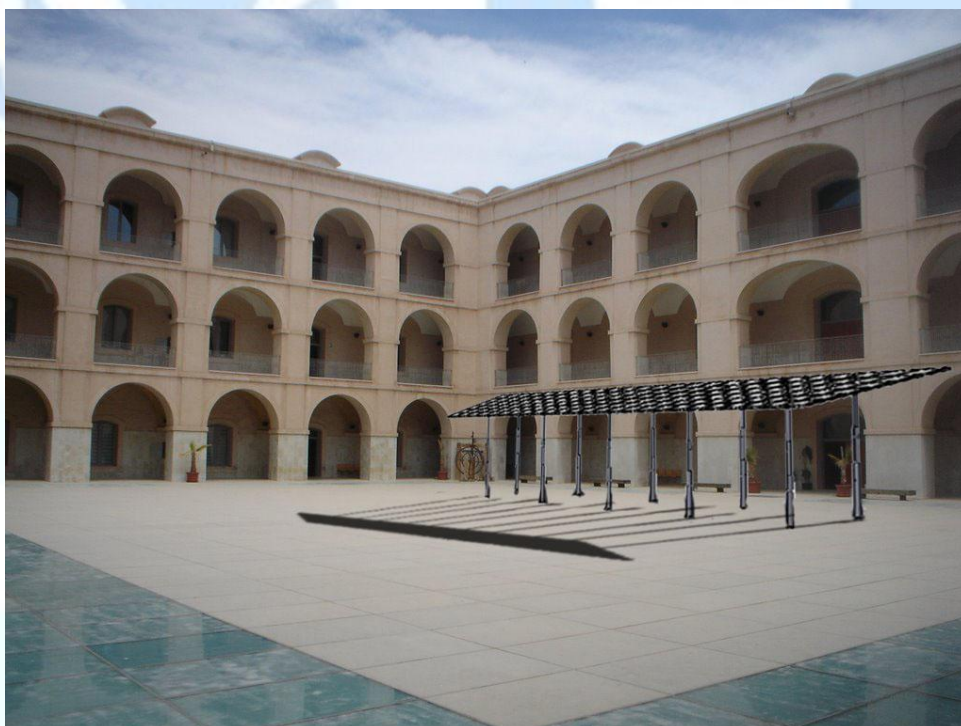


Ilustración 32: montaje en toldo para eventos



### 3.5. Materiales

En la búsqueda de materiales óptimos se ha utilizado tanto en este como en los siguientes modelos el programa CES Edupack, en el cual se han consultado los distintos materiales, sus propiedades y sus precios.

Se propone un material con una estructura tipo sándwich, fabricadas basándose en la naturaleza con la geometría de un panal. Esto nos permite minimizar la cantidad de material para alcanzar el peso mínimo y el costo mínimo del material. [7]

La estructura básica es un núcleo, cuya forma variará en función de las propiedades que queramos obtener, un recubrimiento (puede ser metálico o bien de madera o de materiales compuestos), y una capa intermedia entre ambos, que hace que se adhieran (no es estrictamente necesaria).

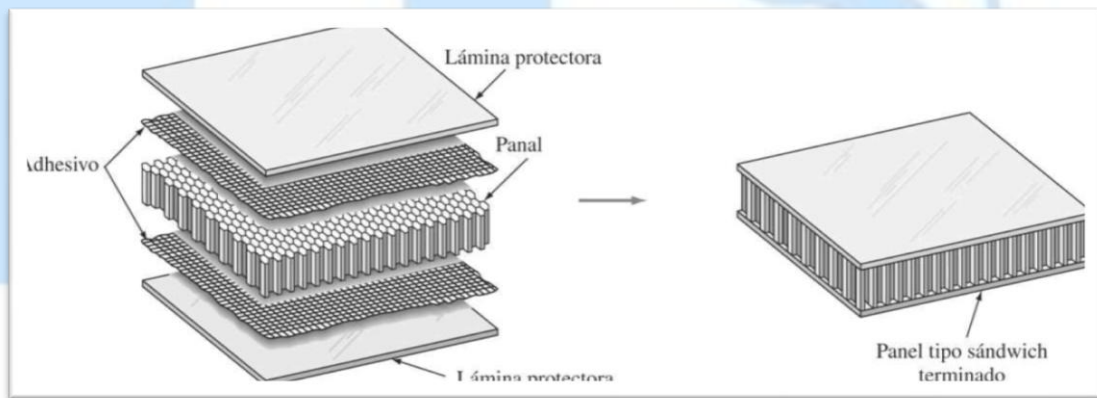


Ilustración 33: panel tipo sándwich o honeycomb

Las características variarán dependiendo de los materiales de recubrimiento y núcleo, cabe destacar:

- Excelente resistencia a la compresión
- Buena resistencia al esfuerzo cortante
- Excelente resistencia a la humedad
- Muy Buena resistencia a la corrosión
- Resistente a la fatiga
- Muy Buena absorción de energía y vibraciones
- Construcción flexible

#### Propiedades del material



Tabla 1: propiedades de la estructura tipo sándwich

Densidad	1400 kg/m <sup>3</sup>
Precio	17 €/kg
Limite elástico	70 Mpa
Modulo de Young	20 Gpa
Durabilidad agua salada	Muy Buena
Durabilidad agua dulce	Excelente
Reciclable	No
Resistencia a la luz solar	Excelente

### Resumen de materiales

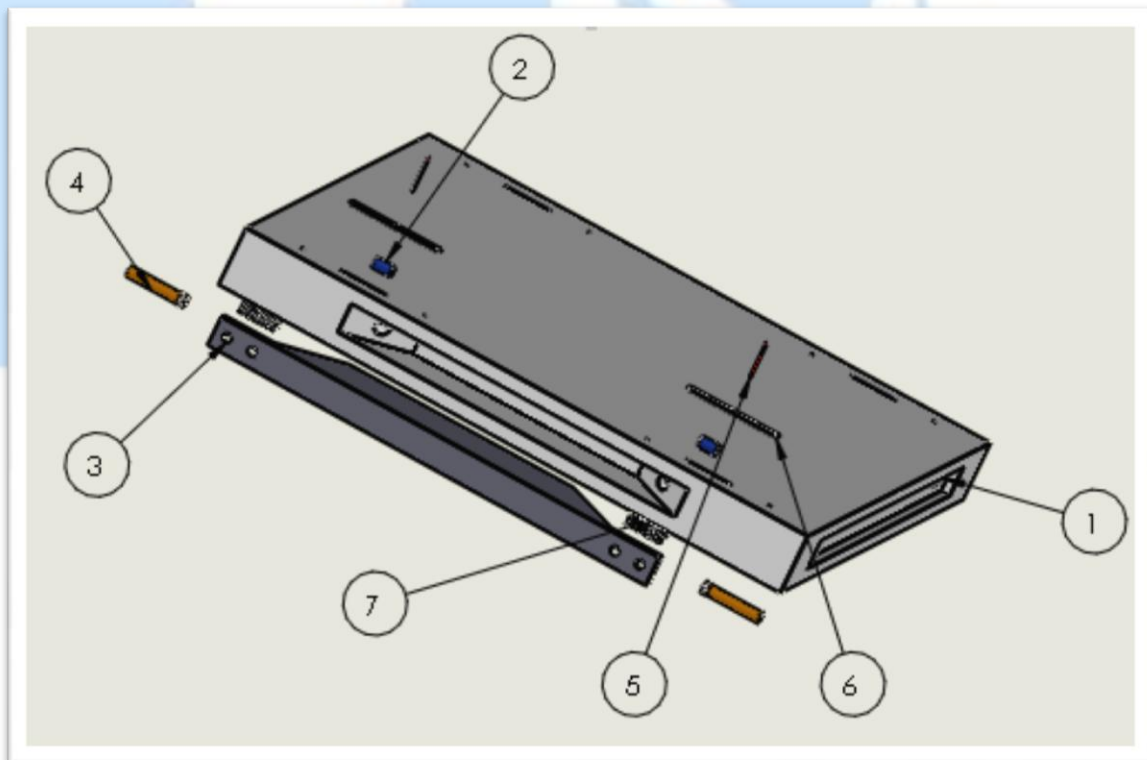


Ilustración 34: explosionado del panel y sus elementos

Tabla 2: resumen de los materiales utilizados

Nombre	Nº Elemento	Material
Panel modular estructural	1	Estructura tipo sándwich
Actuador	2	Acero inoxidable AISI 316L
Macho auxiliar	3	Estructura tipo sándwich
Pasador	4	Acero inoxidable AISI 316L
Varilla	5	Acero inoxidable AISI 316L
Tapa corredera	6	PVC
Muelle	7	Acero inoxidable AISI 316L

### 3.6. Cálculos

Para los cálculos de los distintos elementos que componen el programa se ha optado por un programa de diseño asistido CAD (Solidworks), el cual nos permite la simulación por elementos finitos de como se comportará el modelo diseñado. [8]

El uso de programas CAD ofrece las siguientes ventajas:

- Reducción de costes debido a que los productos son probados previamente a su fabricación
- Predicción del comportamiento de las piezas sin la necesidad de prototipos
- Posibilidad de corregir errores en la fase de diseño
- Productos con mayor calidad y precisión

#### Cargas

Sobrecargas debidas al viento según Real decreto 1370/1988, de 25 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación "NBE-AE/88. Acciones en la edificación"

El viento produce sobre cada elemento superficial de una construcción, tanto orientado a barlovento como a sotavento, una sobrecarga unitaria  $p$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) en la dirección de su normal, positiva (presión) o negativa (succión), de valor dado por la expresión:  $p = cw$

Para nuestro caso  $c=1.6$  y  $w=500\text{N}/\text{m}^2$ , siendo  **$P=800\text{N}/\text{m}^2$**

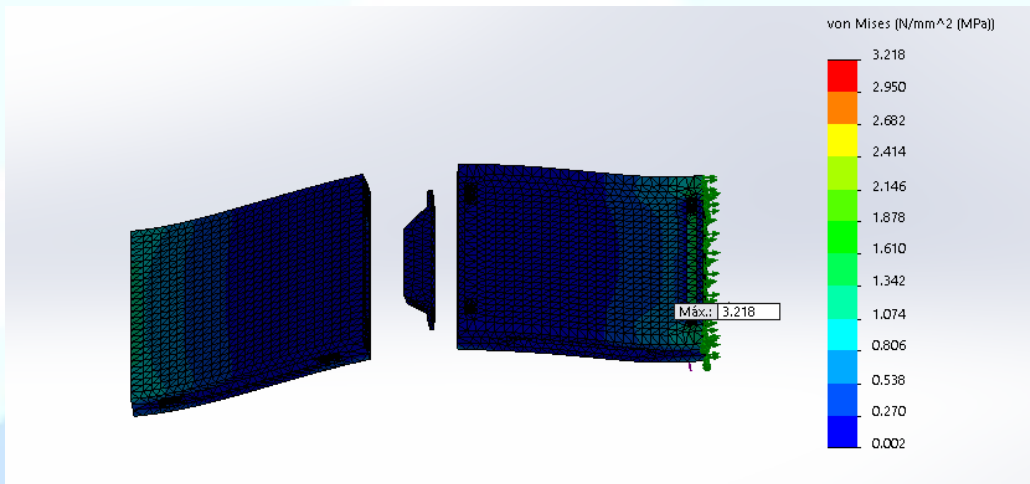
Sobrecargas debidas al peso propio

La densidad del material del cual están hechos los paneles es de  **$15\text{KN}/\text{m}^3$**

El volumen de un panel es de  $0.01154 \text{ m}^3$

Sumando el peso propio mas la sobrecarga de viento en el caso más desfavorable tendríamos para dos paneles una fuerza de 1.8 KN distribuida

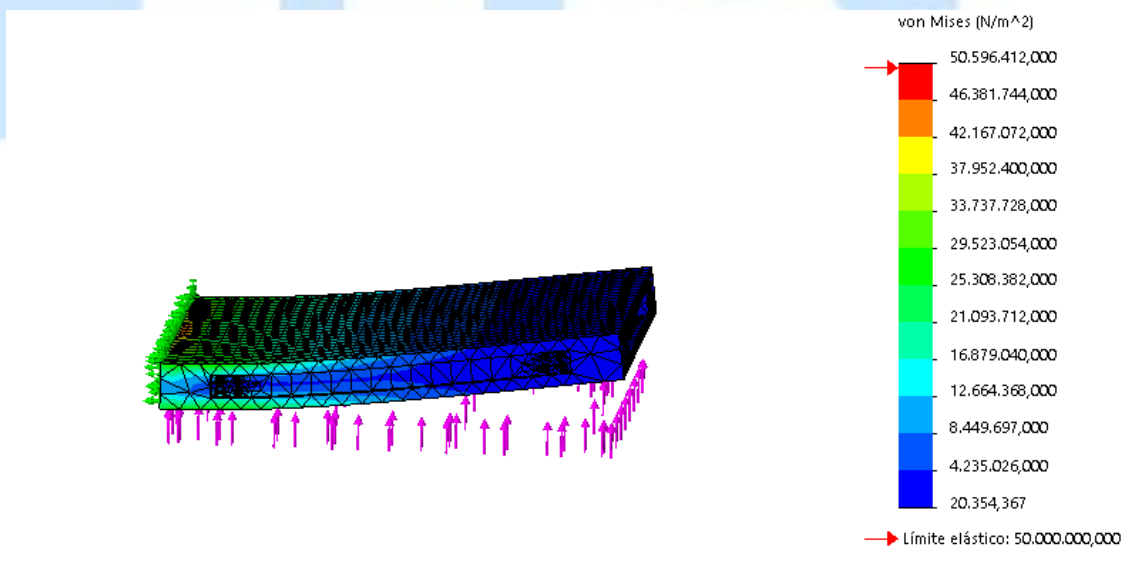
Calculo fuerza 2KN para dos paneles unidos empotrados en el extremo (vista explosionada)



**Ilustración 35: cálculo de la fuerza máxima admisible en dos paneles ensamblados**

La fuerza máxima que aguantaría en este caso sería de 3.218 Mpa muy lejos de su límite elástico.

Para un panel fijado por uno de sus extremos y con una fuerza en el opuesto, la fuerza máxima que soportaría sería de 28.64KN



**Ilustración 36: cálculo de la fuerza máxima admisible en un panel**

Para una estructura de 16 paneles ensamblados con 4 pilares, se hace un estudio de la combinación tanto de las fuerzas debidas al viento y al peso propio en concordancia como en oposición:

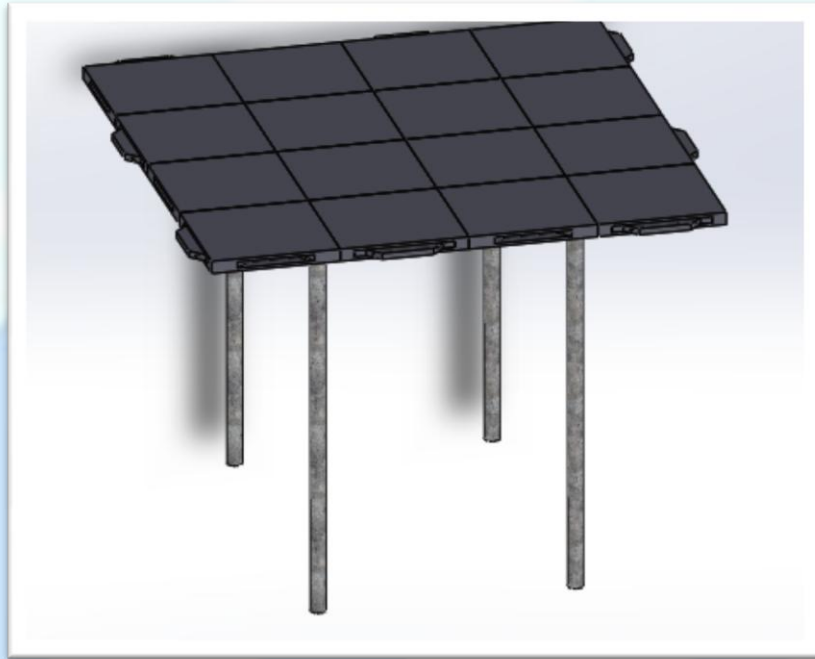


Ilustración 37: ensamblaje formando un techo

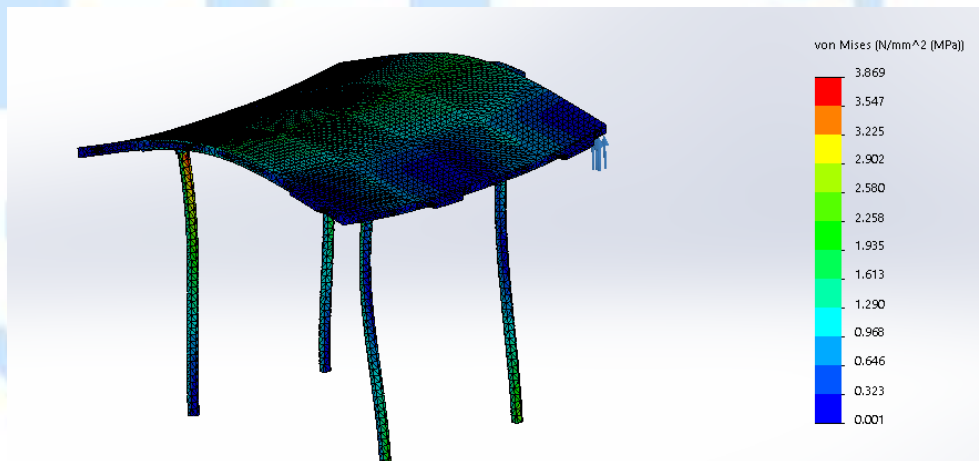


Ilustración 38: tensiones originadas por la combinación de las fuerzas del viento y el peso en oposición

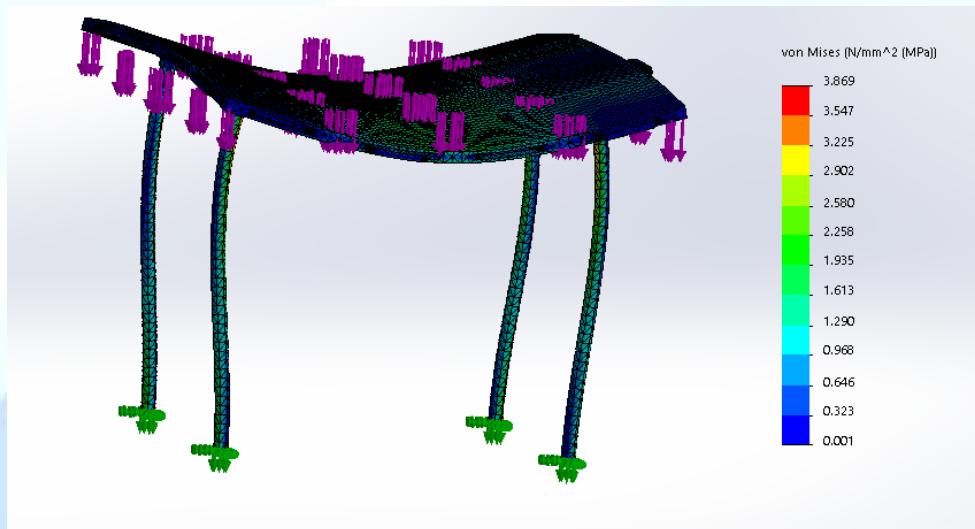


Ilustración 39: tensiones originadas por la combinación de las fuerzas del viento y el peso en concordancia

La fuerza máxima que actúa sobre la estructura sería de 3.869 Mpa muy por debajo de la máxima que pueden aguantar los paneles.

### Calculo tornillería

Para este cálculo se seguirá el método de estudio mostrado en el Shigley [10]

Tornillos utilizados: semi hexagonal cabeza hueca métrica 6 longitud 8, acero inoxidable

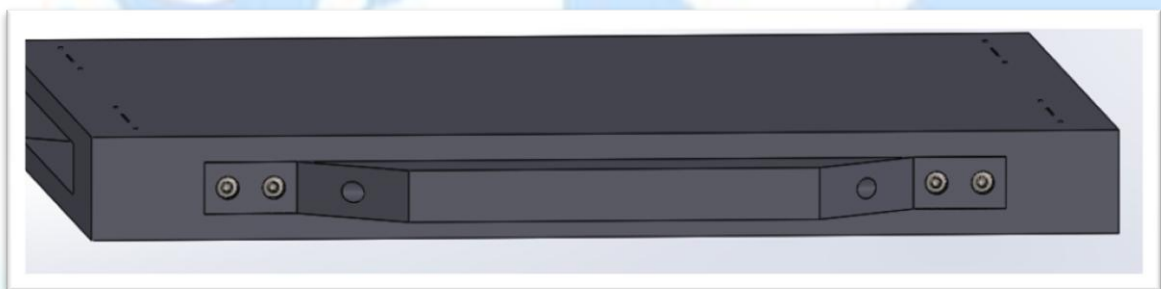


Ilustración 40: panel con macho atornillado



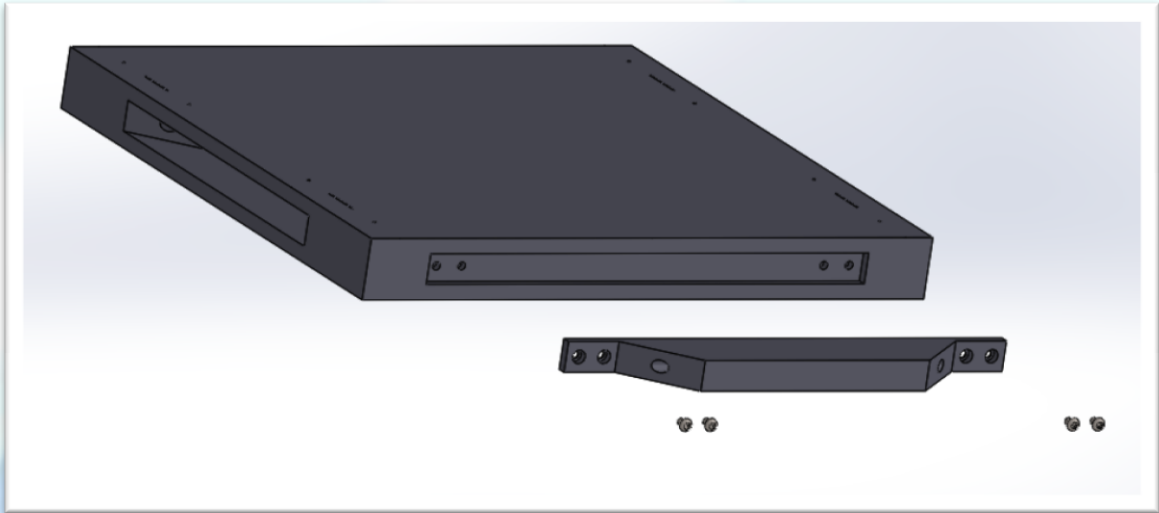


Ilustración 41: explosionado de un panel con macho atornillado

Se hace un estudio con una fuerza de 5KN aplicada en un caso desfavorable como se muestra en la ilustración.

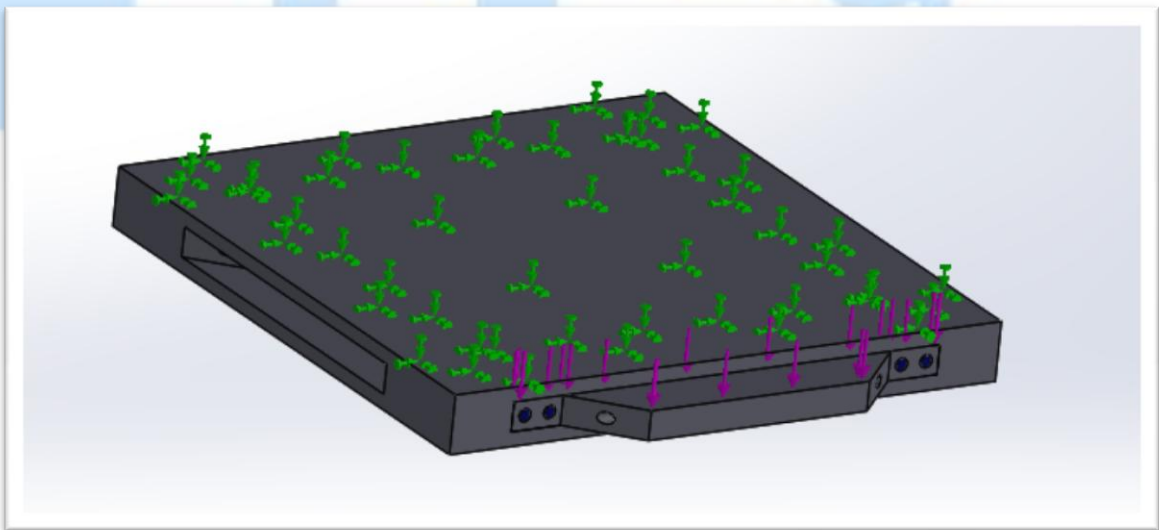


Ilustración 42: fuerza aplicada sobre el panel en una condición desfavorable

El estudio arroja los siguientes resultados para los tornillos de acero inoxidable

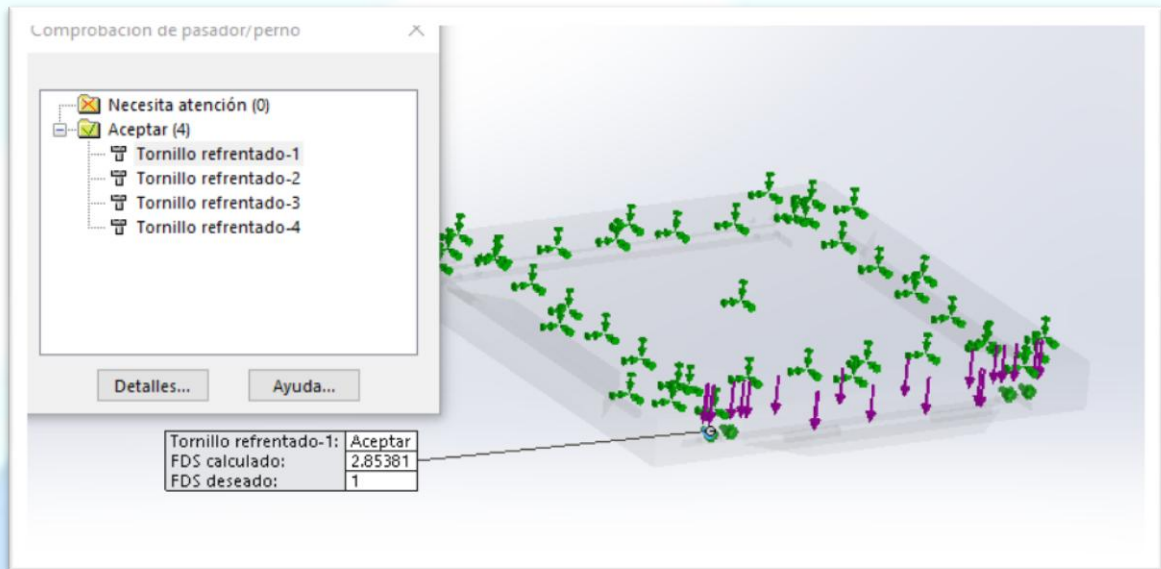


Ilustración 43: Verificación de la resistencia de los tornillos

El estudio nos dice que para una carga de 5KN (mayorada) y en una situación desfavorable en la que las uniones recibirían toda la carga, el factor de seguridad es de **2.85**

### 3.7. Presupuesto

Tabla 3: presupuesto panel estructural

Elemento	Precio unitario (€)	Cantidad
Panel	19,75	1
Macho panel	3,95	2
Tornillos métrica 6 acero inoxidable	0,19	8
Muelle D4x0.4	1,18	4
Subtotal	31,3	
IVA (21%)	6,57	
<b>Total</b>	<b>37,87</b>	

A continuación se muestra una comparativa, de una de las aplicaciones propuestas, entre una pérgola de madera y el conjunto con el panel estructural. Se puede comprobar que el precio es inferior a lo que hay en el mercado con la ventaja de que puede ser desmontado en cualquier momento y reutilizarlo cuando se necesite.

Pérgola de madera	1.225,55€
-------------------	-----------

Ejemplo de aplicación con paneles (4 pilares + 25 paneles)	968,75€
--	---------



Ilustración 44: pérgola de madera (izquierda), ensamblaje de los paneles a modo de pérgola (izquierda)

### 3.8. Conclusión

El modelo estudiado permitiría el montaje y desmontaje rápido de estructuras sencillas que pueden ser de aplicación de actividades variadas, pudiendo añadirle elementos auxiliares según haga falta. Además no ocupan mucho espacio, lo cual simplifica el transporte. Se postula como una alternativa a lo que ya hay en el mercado para cada aplicación.

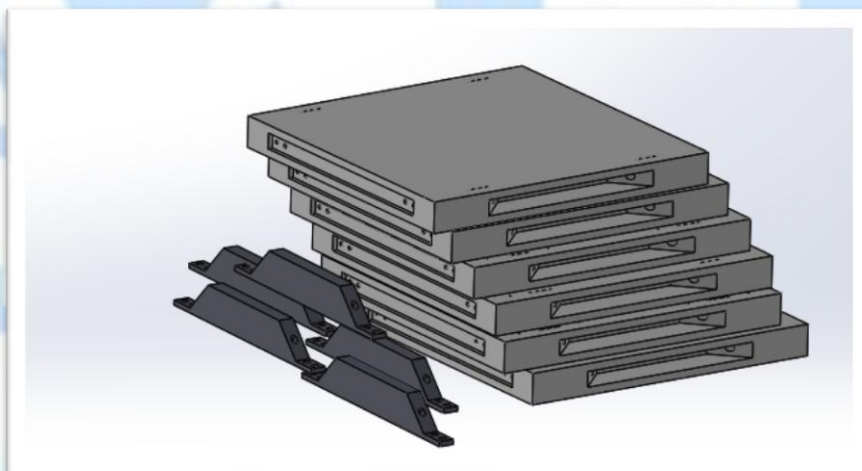


Ilustración 45: ejemplo de apilamiento de los paneles

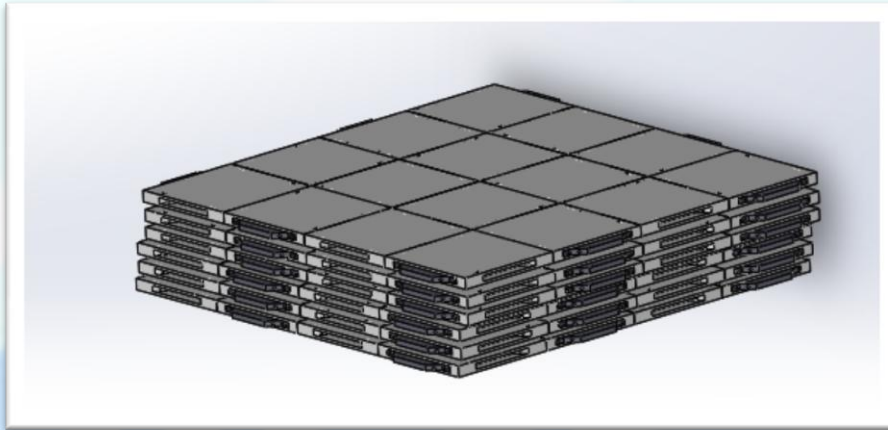


Ilustración 46: ejemplo de apilamiento de los paneles ensamblados

A parte del material estudiado se podrían aplicar otros materiales distintos como madera, plásticos u otro núcleo diferente para el honeycomb.

El ensamble fácil e intuitivo de los paneles permite que estos puedan ser montados por cualquier persona, sin requerir mano de obra especializada.

#### **4. Panel modular flotante**

Observando la estructura del nenúfar se pretende desarrollar una plataforma flotante que imite la mecánica de esta planta, la cual tiene unas delicadas hojas flotantes de hasta dos metros de diámetro que son capaces de aguantar un peso de 90 kilos. El reverso de la hoja cuenta con un sistema de nervaduras hundidas que le dan resistencia y flotabilidad.

##### **4.1. Antecedentes**

Se ha investigado el mercado y que productos similares había en el, se han encontrado sistemas modulares que permiten la circulación de personas y el amarre de pequeñas embarcaciones, lo cual con un bajo coste permite hacer un embarcadero.





Ilustración 47: ensamblaje a modo de parque acuático



Ilustración 48: ejemplo de puerto de pequeñas embarcaciones

Estos sistemas están sometidos a bajas solicitaciones debido a la deformabilidad del material (polietileno de baja densidad en la mayoría de los casos), lo cual también provoca una pobre rigidez lineal, necesitando elementos auxiliares para los casos de grandes luces.

Con el presente proyecto se pretende mediante los conocimientos biomiméticos crear un tipo de estructura que mejore los modelos antes mencionados, dotándolo de una mejor resistencia estructural, para poder hacer frente a unas mayores cargas, de esta forma mejoraríamos la rigidez lineal en grandes luces. Mejorando las propiedades mecánicas de las estructura flotantes de este tipo y a su vez conservando la modularidad y la facilidad de montaje.

## 4.2. Diseño y detalles

Paxton escribió sobre el edificio: “La naturaleza fue la ingeniería, ella me ha proporcionado la hoja con apoyos y vigas horizontales y transversales que yo, tomándola prestada, he adoptado para este edificio”, refiriéndose a la nervadura de la hoja del nenúfar.

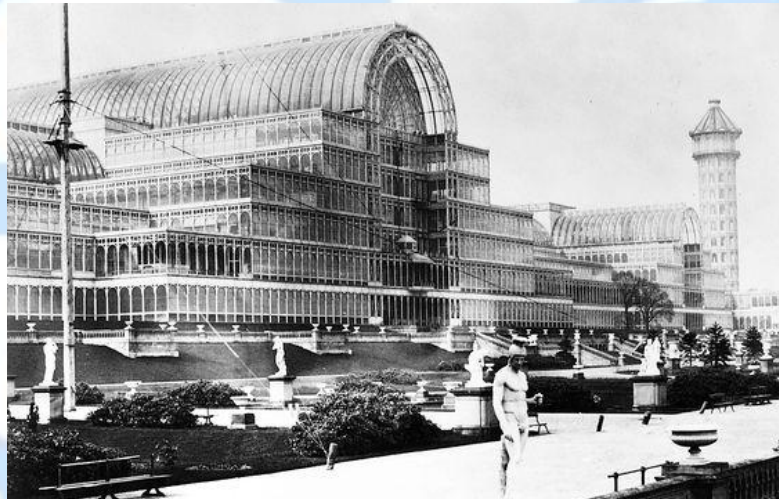


Ilustración 49: palacio de cristal construido por Paxton



Ilustración 50: Nervado de un nenúfar (izquierda), nenúfar (derecha)



Se adapta su diseño a una forma hexagonal para dotarlo de modularidad como se ve en las ilustración 38.

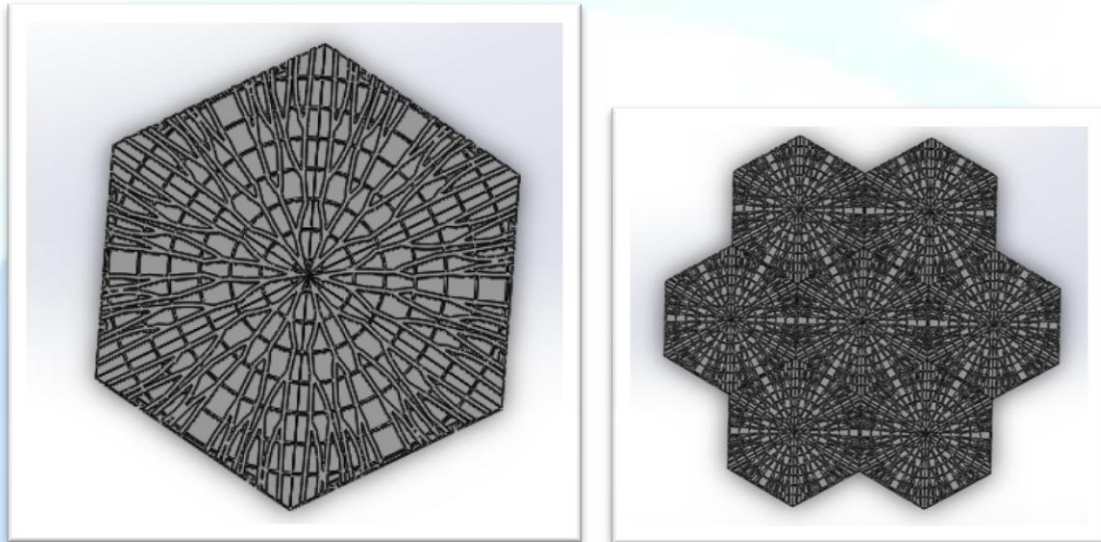


Ilustración 51: modelado de los nervios de un nenúfar (izquierda), ensamblaje modular de los modelos (derecha)

En el envés de la plataforma se realizará un agujero pasante que permitirá atar un cabo o cadena para poder anclar la plataforma mediante un peso o ancla.

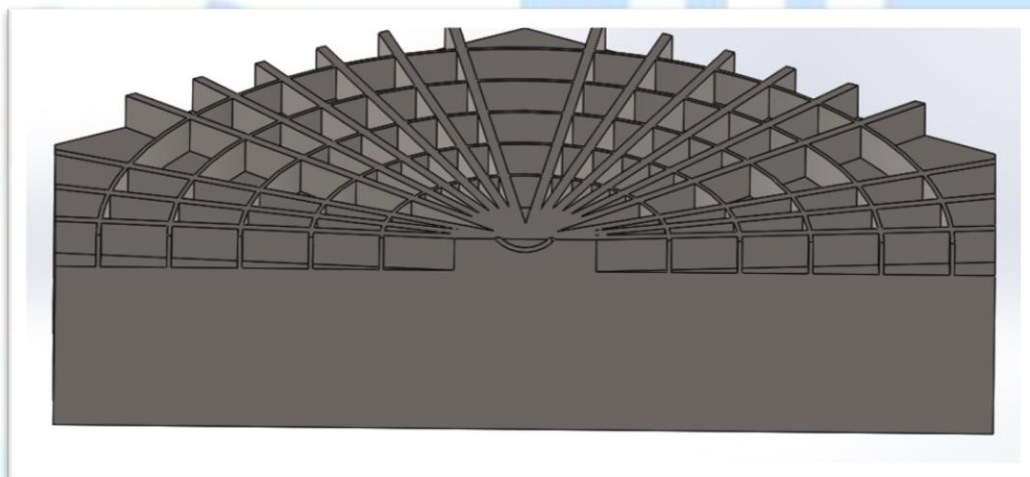


Ilustración 52: sección panel para visualizar el agujero pasante

### 4.3. Montaje

Para realizar el ensamblaje se utilizarán dos piezas de unión que unirán a las dos plataformas, estas piezas de unión se atornillarán mediante varillas a las plataformas, que a su vez llevarán unos insertos roscados del mismo material que las varillas, o a una sola de las plataformas si queremos permitir el desplazamiento vertical. En las siguientes ilustraciones se muestra de manera grafica el ensamblaje.

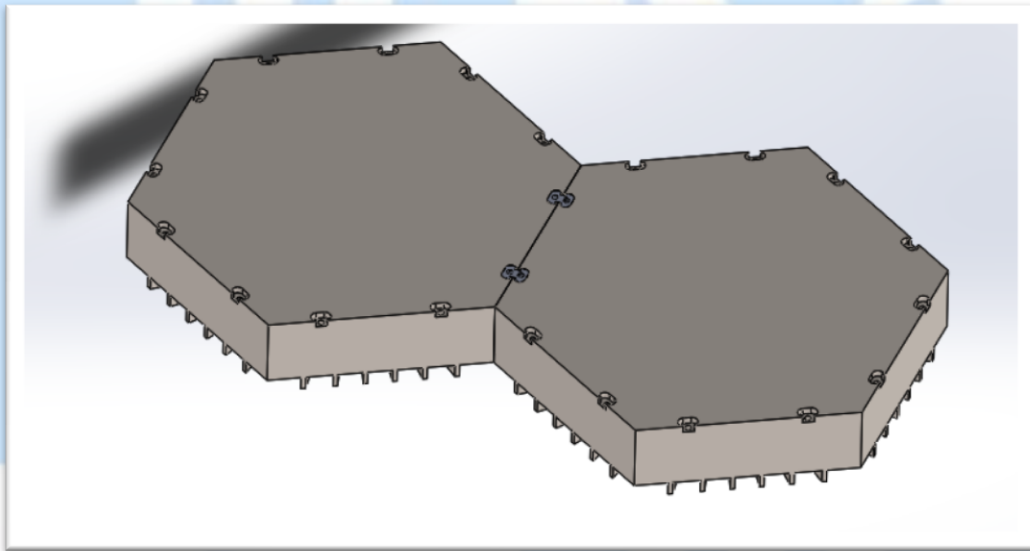


Ilustración 53: ejemplo de ensamblaje de dos paneles

En las siguientes ilustraciones se pueden ver los elementos auxiliares que permiten la unión de los paneles.



Ilustración 54: elemento de unión en el haz del panel

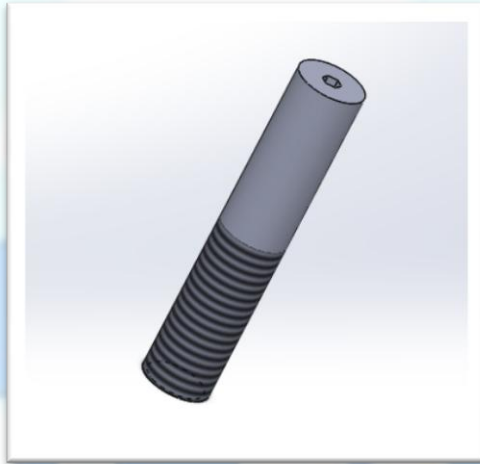


Ilustración 55: varilla de fijación

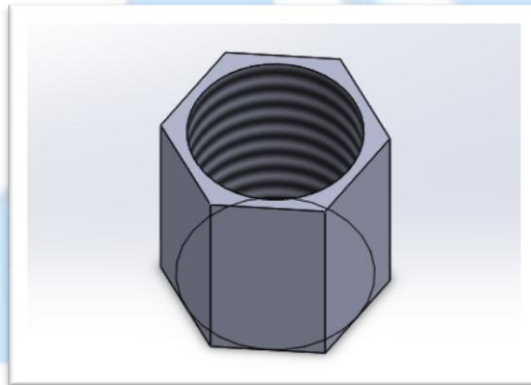


Ilustración 56: injerto roscado

A continuación podemos ver en las ilustraciones 56 y 57 como se ensamblan las piezas de unión de forma que queden fijas a la plataforma, quedando a su vez unidas las plataformas.

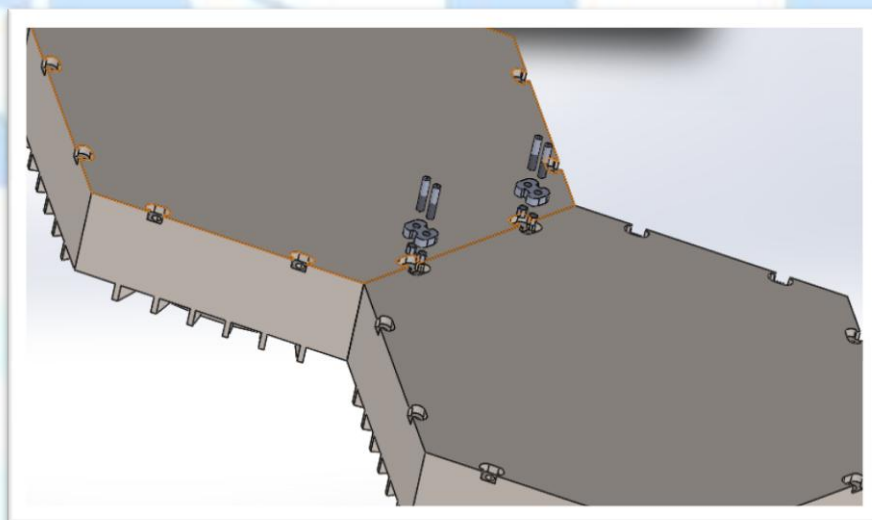


Ilustración 57: ensamblaje unión explosionado

Si únicamente se enroscan las varillas a uno de los paneles se permite el desplazamiento vertical con respecto al otro, lo cual permitiría un alivio de tensiones en las zonas que fuera conveniente.

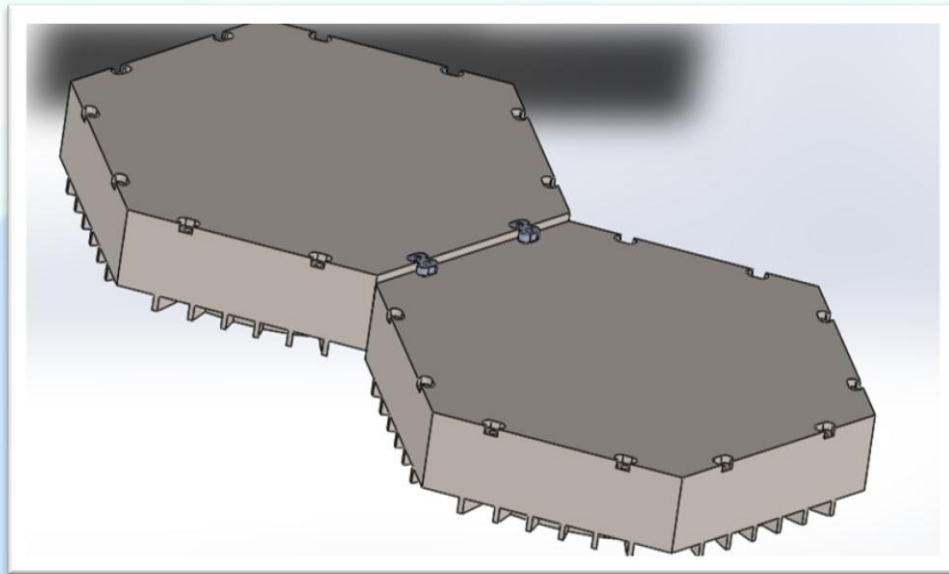


Ilustración 58: Ensamblaje permitiendo el desplazamiento vertical

#### 4.4. Ejemplos de aplicación

En el siguiente ejemplo se muestra una estructura ensamblada que puede ser usada como puerto de pequeña y medianas embarcaciones o como plataforma para eventos.

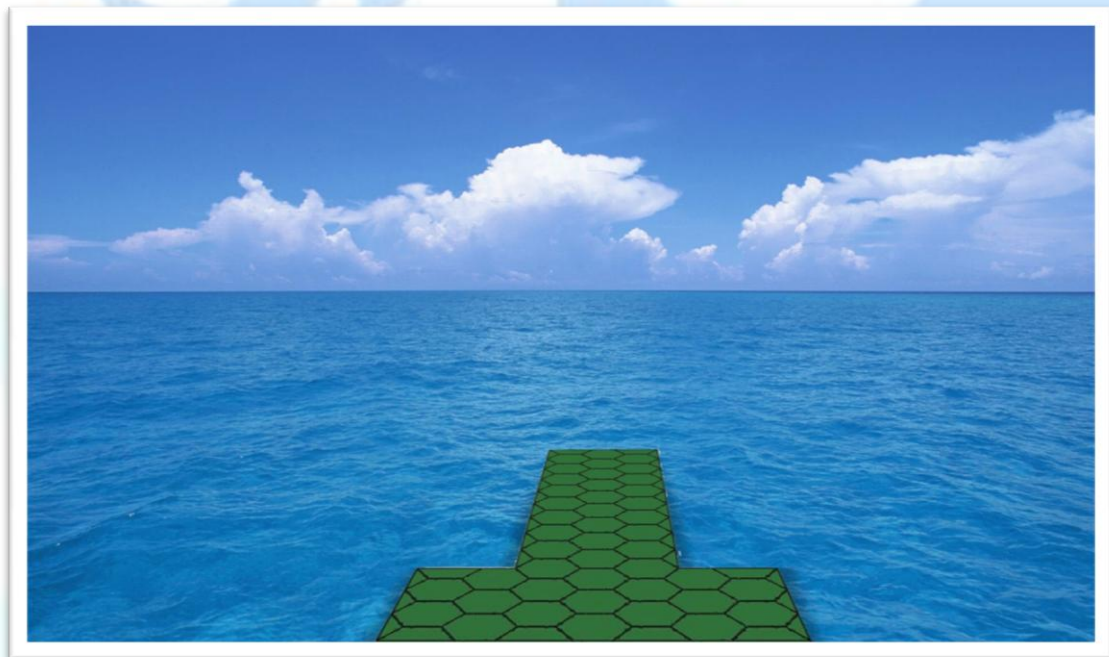


Ilustración 59: ejemplo de paneles aplicados para formar una plataforma acuática de distintas aplicaciones



A continuación se muestra otro montaje para un evento en la playa.



Ilustración 60: montaje en plataforma acuática para evento en la playa

#### 4.5. Materiales

Se compone de una estructura de polietileno con fibra de vidrio de alta resistencia (5 mm de grosor) relleno de polietileno de baja densidad para combinar resistencia y flotación.

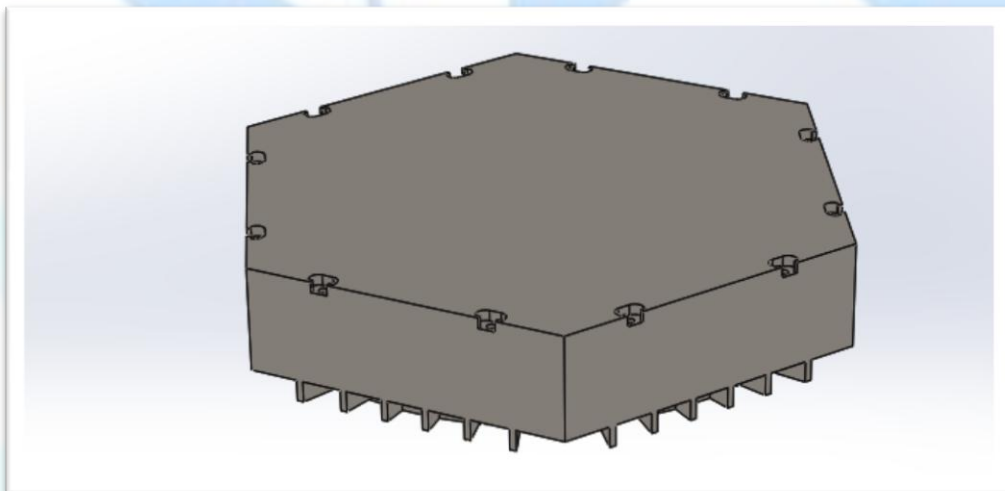


Ilustración 61: panel

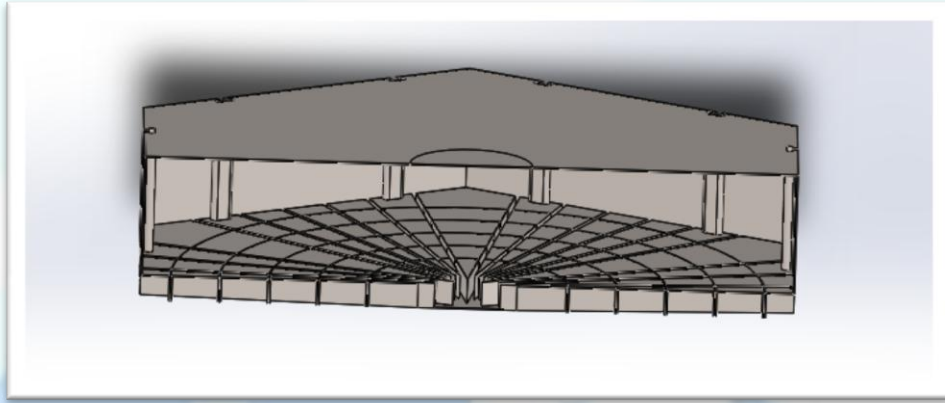


Ilustración 62: sección panel vaciado

### Polietileno baja densidad (PE-HD)

Tabla 4: propiedades del polietileno de baja densidad

<b>Densidad</b>	<b>60 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Precio</b>	2.46 €/kg
<b>Limite elástico</b>	0.3 Mpa
<b>Modulo de Young</b>	0.004 Gpa
<b>Durabilidad agua salada</b>	Muy Buena
<b>Durabilidad agua dulce</b>	Muy Buena
<b>Reciclable</b>	Si
<b>Huella CO<sub>2</sub></b>	1.2 kg/kg

### Polietileno con 30% fibra de vidrio (PE-HD 30% glass fiber)

Tabla 5: propiedades del polietileno con fibra de vidrio

<b>Densidad</b>	<b>1200 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Precio</b>	2.39 €/kg
<b>Limite elástico</b>	49.7 Mpa
<b>Modulo de Young</b>	6.21 Gpa
<b>Durabilidad agua salada</b>	Excelente
<b>Durabilidad agua dulce</b>	Excelente
<b>Reciclable</b>	No
<b>Huella CO<sub>2</sub></b>	2.25 kg/kg

### Acero inoxidable AISI 316L



Tabla 6: propiedades del acero inoxidable AISI 316L

<b>Precio</b>	<b>4.3 €/kg</b>
<b>Limite elástico</b>	310 Mpa
<b>Modulo de Young</b>	205 Gpa
<b>Durabilidad agua salada</b>	Excelente
<b>Durabilidad agua dulce</b>	Excelente
<b>Reciclable</b>	Si
<b>Huella CO2</b>	5 kg/kg

### Resumen de materiales

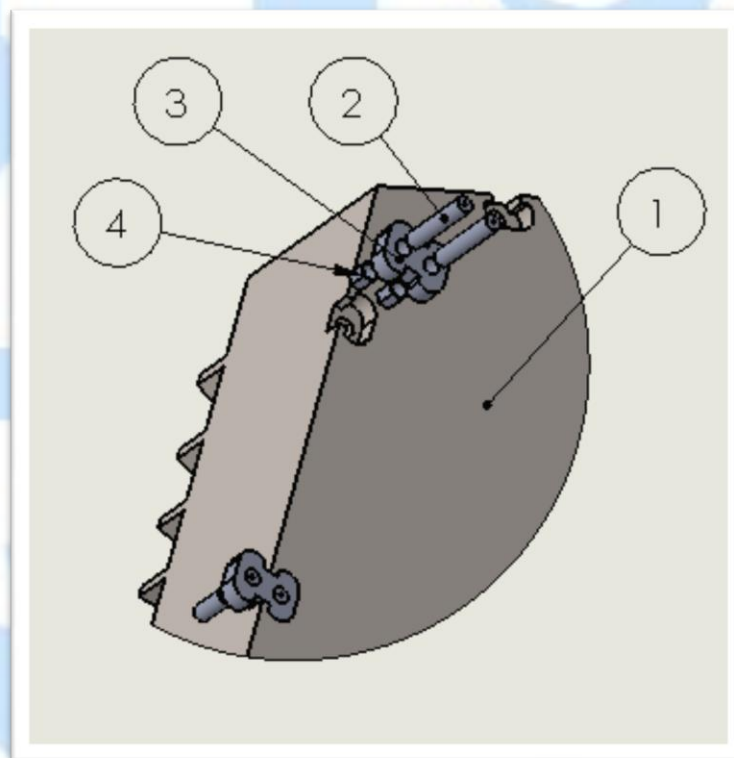


Ilustración 63: Explosionado Panel

Tabla 7: resumen de materiales del panel

<b>Nombre</b>	<b>Nº Elemento</b>	<b>Material</b>
Panel	1	Mezcla de polietileno de baja densidad y polietileno con 30% fibra de vidrio
Varilla roscada	2	Acero inoxidable AISI 316L
Unión	3	Acero inoxidable AISI 316L
Inserto roscado	4	Acero inoxidable AISI 316L

## 4.6. Cálculos

Se hará un estudio de resistencia para 3 modelos propuestos con un volumen similar, el estudio consistirá en el cálculo de las tensiones de von Mises en una sexta parte de la estructura, con el fin de reducir y simplificar los cálculos para que puedan ser hechos por el ordenador sin que tarde demasiado tiempo, para los tres modelos propuestos a continuación.

Para comprobar las tensiones de Von Mises se fijaran los modelos por su centro y se aplicara una fuerza orientativa para ver cuál de las estructuras aguanta mejor el esfuerzo.

**Modelo 1:** se estudiará una estructura maciza con el fin de comparar la resistencia de esta con la de una estructura nervada.

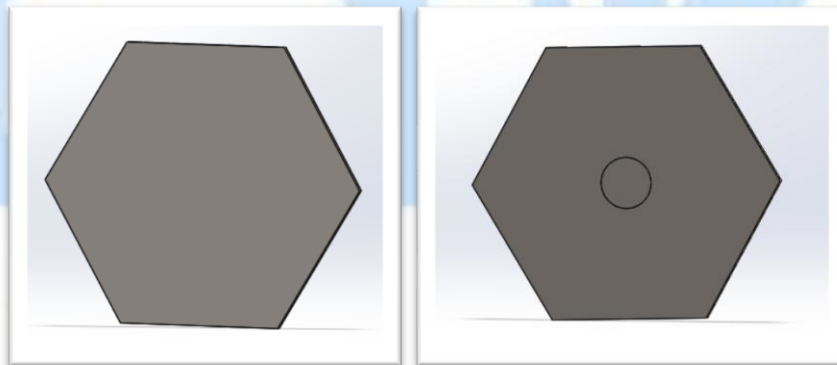


Ilustración 64: envés de la estructura (izquierda), haz de la estructura (derecha)

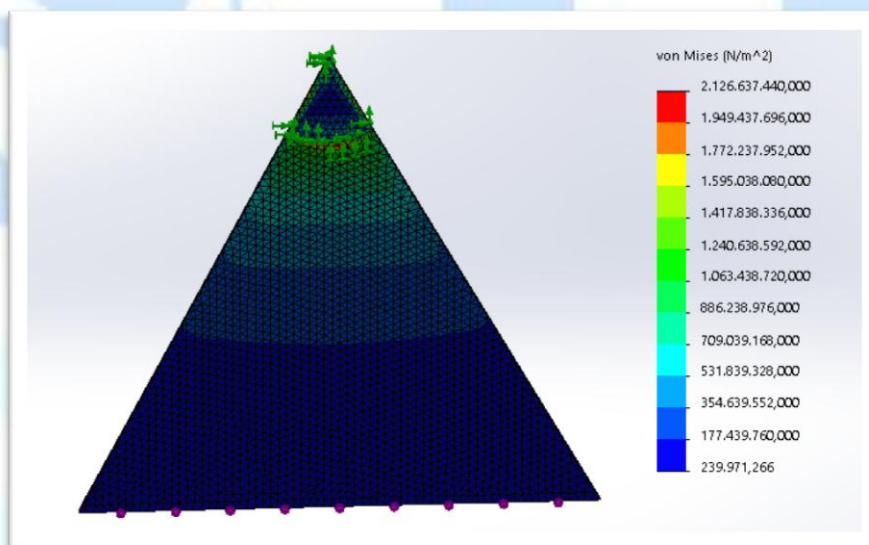


Ilustración 65: tensiones que experimenta al ser aplicada una fuerza en su extremo

Von Mises **2.126 MPA**

**Modelo 2:** estructura maciza con nervios en el envés, simulando la estructura del nenúfar.

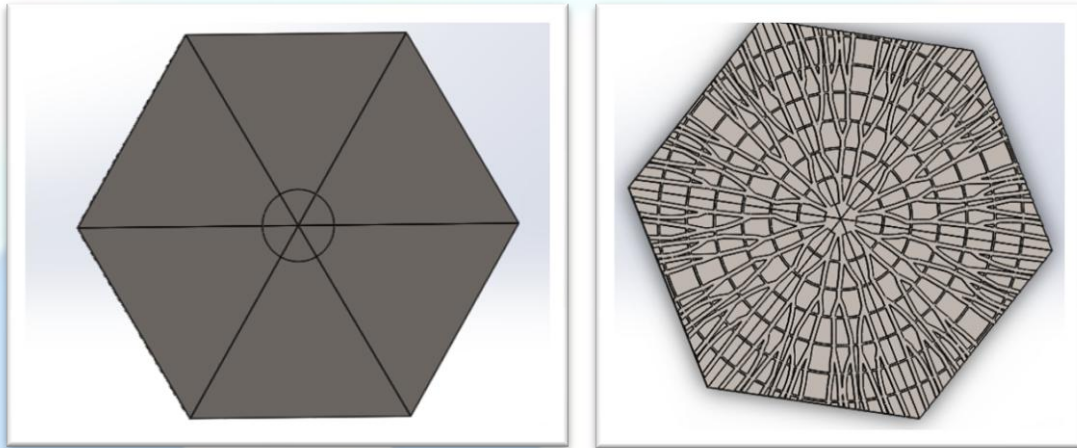


Ilustración 66: haz de la estructura (izquierda), envés de la estructura (derecha)

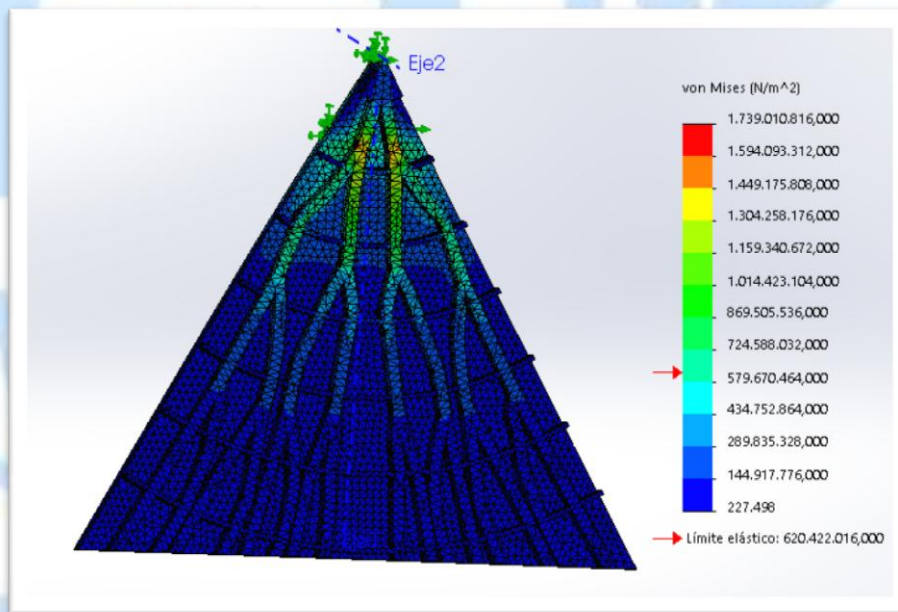


Ilustración 67: tensiones que experimenta la estructura al aplicar una fuerza en el extremo

**Von Mises: 1.739 MPA**

**Modelo 3:** estructura maciza con nervios en el envés, simulando y simplificando la estructura del nenúfar.

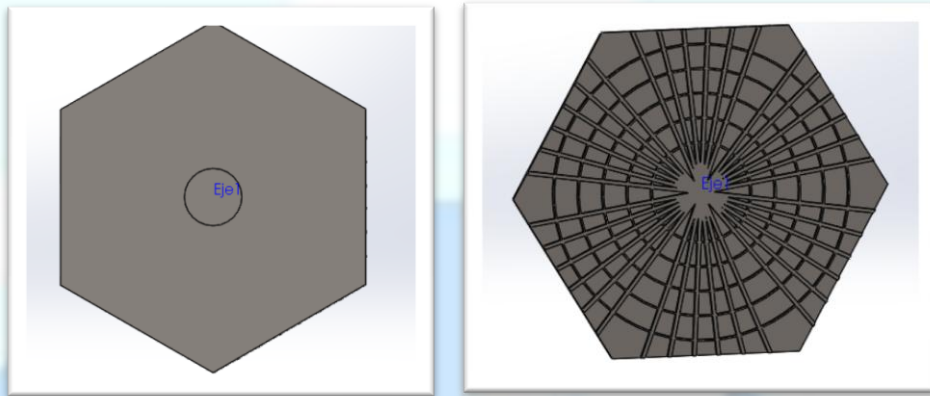


Ilustración 68: haz de la estructura (izquierda), envés de la estructura (derecha)

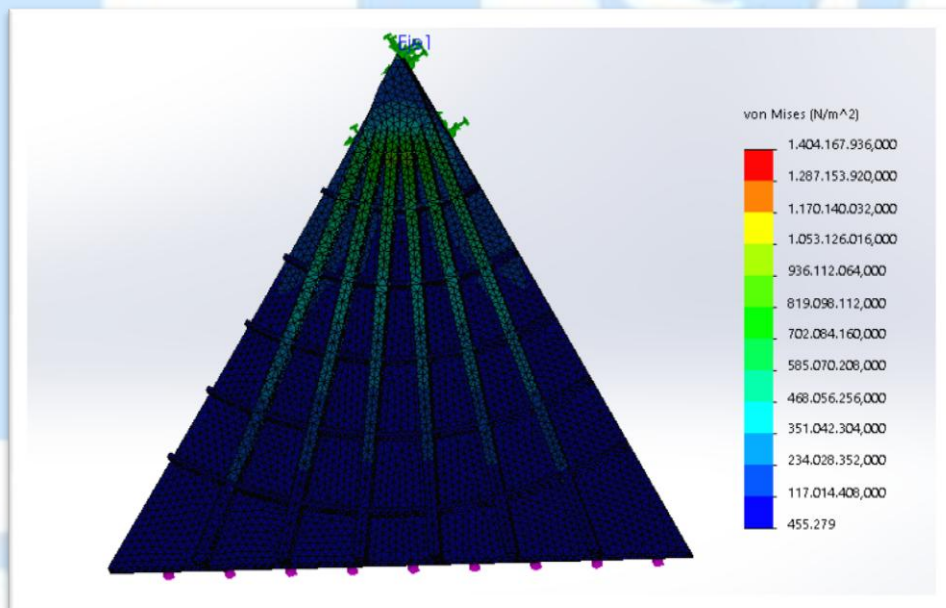


Ilustración 69: tensiones que experimenta al aplicar una fuerza en su extremo

Von Mises: **1.404 MPA**

### Comparativa

Para los modelos estudiados se muestra una tabla comparando las tensiones que experimenta cada modelo para una misma fuerza aplicada en cada uno de sus extremos, pudiendo ver de esta forma cual de las estructuras es capaz de reducir en mayor medida estas tensiones.

Tabla 8: comparativa de los modelos estudiados

Modelo 1	2.126 Mpa
Modelo 2	1.739 Mpa
Modelo 3	1.404 Mpa

En concordancia con los resultados obtenidos en este estudio se optara por la estructura propuesta en el modelo 3.

### Flotabilidad

Aplicando el principio de Arquímedes se calculara la flotabilidad de la estructura.

Tabla 9: densidad y volumen

	Volumen (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Polietileno + fibra vidrio	0.1499	1200
polietileno	3.05	60
Agua de mar	-	1027

Peso cascara = densidad cascara x volumen cascara = 179.88 kg

Peso relleno = densidad relleno x volumen relleno = 183 kg

Peso total = peso cascara + peso relleno = 362.88 kg

Empuje del agua = volumen total x densidad del agua = 3286.4 kg

**Flotabilidad = Empuje – Peso total = 2923.52 kg**

### 4.7. Presupuesto

Tabla 10: presupuesto del panel flotante

Elemento	Precio	Cantidad
Panel	749,30	1
Varilla roscada	8,85	12



Unión	15,75	12
Inserto roscado	4,25	12
Subtotal	1049,15	
IVA (21%)	220,32	
<b>Total</b>	<b>1269,47</b>	

A continuación se muestra una pequeña comparativa de precio a modo orientativo entre un conjunto con el panel flotante y un producto existente en el mercado.

Plataforma flotante paneles (3 metros diámetro x 0,5 metros grosor)	1269,47
Pantanal flotante moto de agua (1m x 2m x 0,5m)	1300

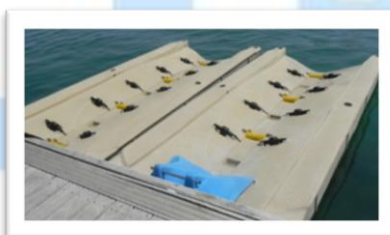


Ilustración 70: pantanal para moto de agua

#### 4.8. Conclusión

Con el modelo estudiado se llega a la conclusión de que el nervado en el envés de la plataforma le aporta una mayor resistencia, lo cual mejora los productos de plataformas flotantes que ya hay en el mercado por un precio similar, pudiendo utilizarse en aplicaciones con una mayor carga horizontal y pudiendo aplicar luces más grandes, no solo por su mayor resistencia, sino también por la posibilidad que se tiene de permitir los desplazamientos verticales para reducir tensiones.

Además estas plataformas permiten montar y desmontar de forma dinámica y rápida puertos o plataformas flotantes para cualquiera que sea su aplicación. Además al ser modulable se pueden añadir más elementos auxiliares para complementar.

#### 5. Bibliografía

[1] Eddie Nahúm Armendáriz Míreles, Pablo César Carbo Vela, Constantin Alberto Hernández Bocanegra, Juan López Hernández, Enrique Martínez Peña, Enrique Rocha Rangel, José Amparo Rodríguez García (2014): Ingeniería bioinspirada: omni-science.

[2] Jesús Fernández García Víctor López García Rubén Sánchez Lamas Rosa María Antuña Nuño (2013): Diseño para fabricación y ensamblaje. Proyecto, Asturias.

Disponible en línea en:

[http://www.prodintec.es/catalogo/ficheros/aplicaciones/fichero\\_15\\_4333.pdf](http://www.prodintec.es/catalogo/ficheros/aplicaciones/fichero_15_4333.pdf).

[3] Teselaciones. Disponible en línea en:

[http://www.ceibal.edu.uy/contenidos/areas\\_conocimiento/mat/teselacionesplano/qu\\_son\\_los\\_teselados.html](http://www.ceibal.edu.uy/contenidos/areas_conocimiento/mat/teselacionesplano/qu_son_los_teselados.html).

[4] Teselados. Disponible en línea en:

<http://matematica.laguia2000.com/general/teselaciones#ixzz42apqr5pUç>

[5] El Martín pescador y el tren bala. Disponible en línea en:

<http://basebiomimetica.blogspot.com.es/2011/11/el-martin-pescador-y-el-tren-bala.html>

[6] F. Quirós Gracián (2007): Teselaciones del plano. Disponible en línea en:

<http://rincondelaciencia.educa.madrid.org/cyl/Babel/babel-3/babel-3b.html>

[7] Arturo Flores Liahut (2011): El honeycomb como refuerzo estructural. Universidad Veracruzana. Disponible en línea en:

<https://core.ac.uk/download/files/605/16308232.pdf>

[8] Ventajas que tiene usar software CAD/CAM. Disponible en línea en

<https://sites.google.com/site/stigestionydesarrollo/recuperacion/desarrollo-1/recuperacion-tema-4---desarrollo/safdsadsa>

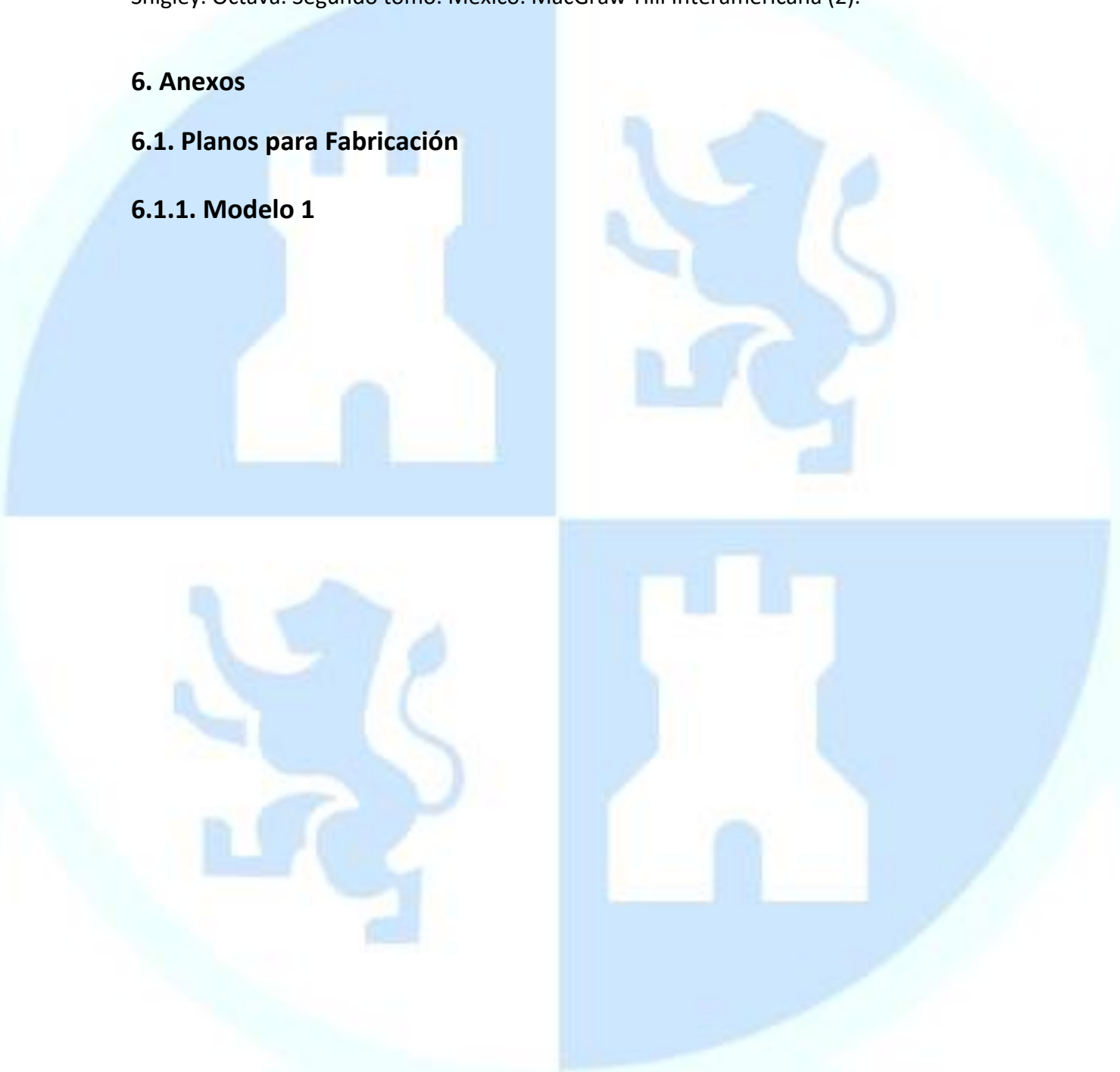
[9] 6. CASTILLO, J.: "La implementación de sistemas de producción modular", La Bobina Notivest, No. 55, p. 44, diciembre, 1993

[10] Richard G. Budynas y J.Keith Nisbett (2008): Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Octava. Segundo tomo. México. MacGraw-Hill Interamericana (2).

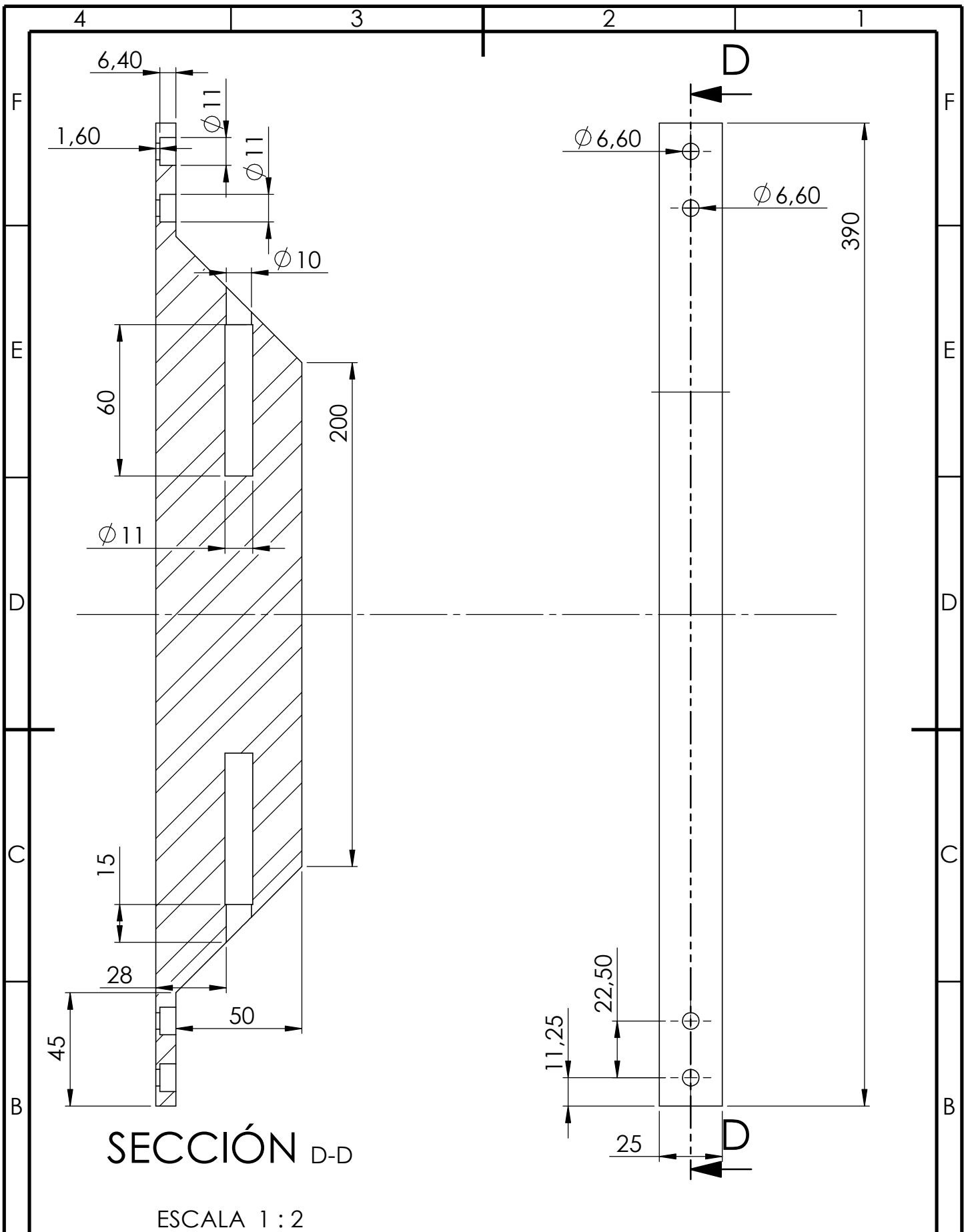
## **6. Anexos**

### **6.1. Planos para Fabricación**

#### **6.1.1. Modelo 1**







Modelo 1

Macho auxiliar

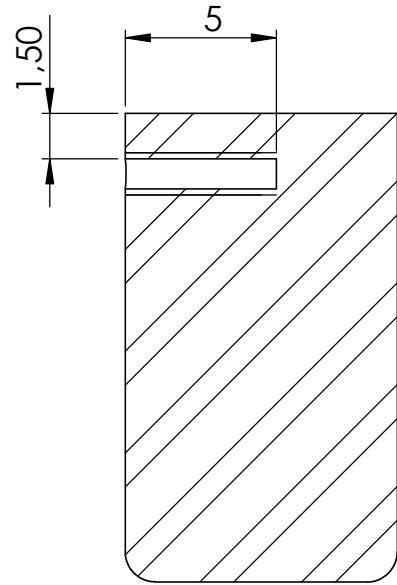
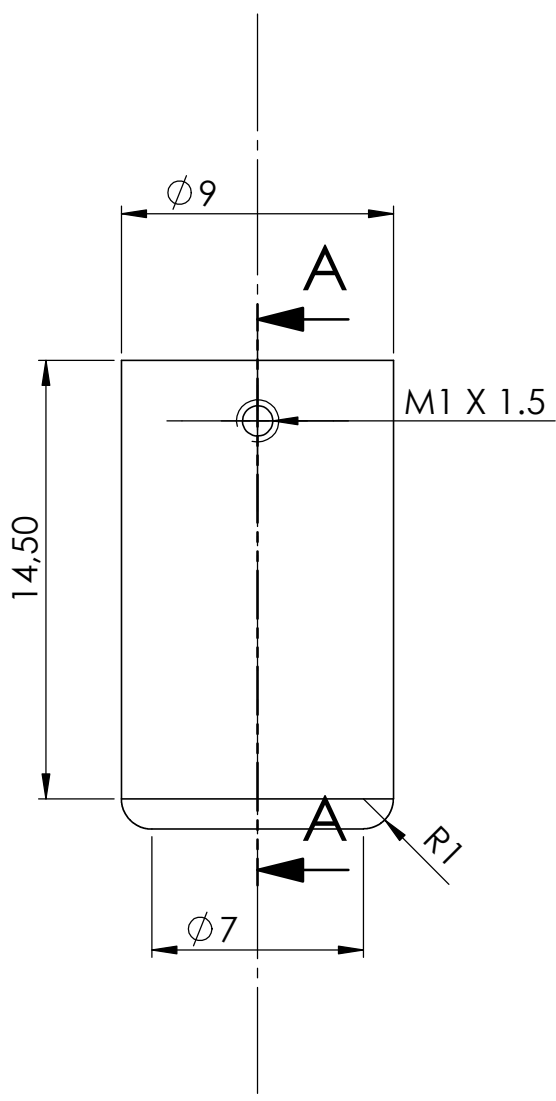
Escala 1:2

Manuel Soler Escudero

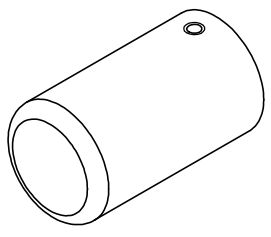
Licencia educacional de **SOLIDWORKS**  
Sólo para uso académico

Grado en ingeniería mecánica





SECCIÓN A-A  
ESCALA 4 : 1



Modelo 1

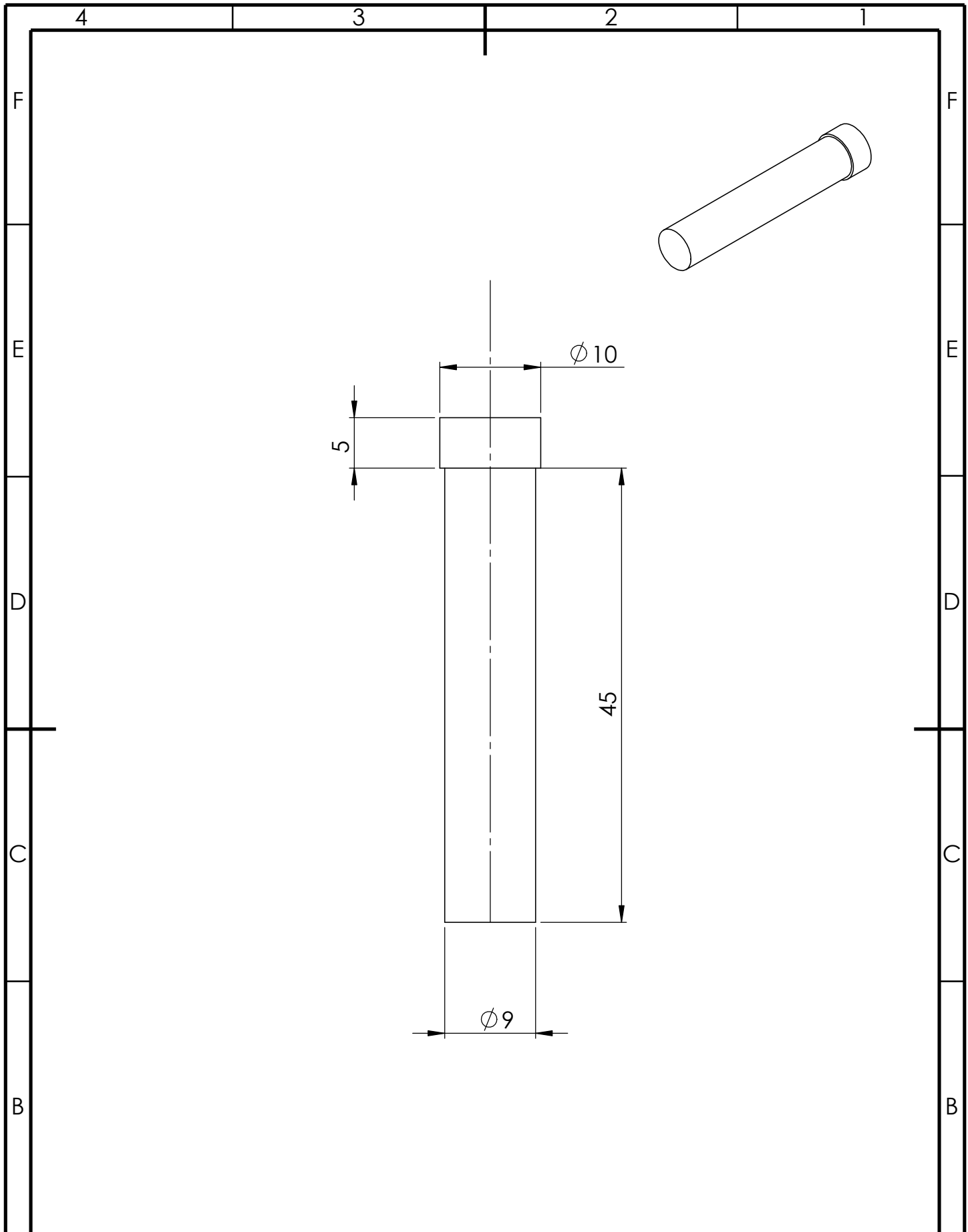
Actuador

Escala 4:1

Manuel Soler Escudero

Licencia educacional de **SOLIDWORKS**  
Sólo para uso académico

Grado en ingeniería mecánica



Modelo 1

Pasador

escala 2:1

Manuel Soler Escudero

Licencia educacional de **SOLIDWORKS**  
Sólo para uso académico

Grado en ingeniería mecánica

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

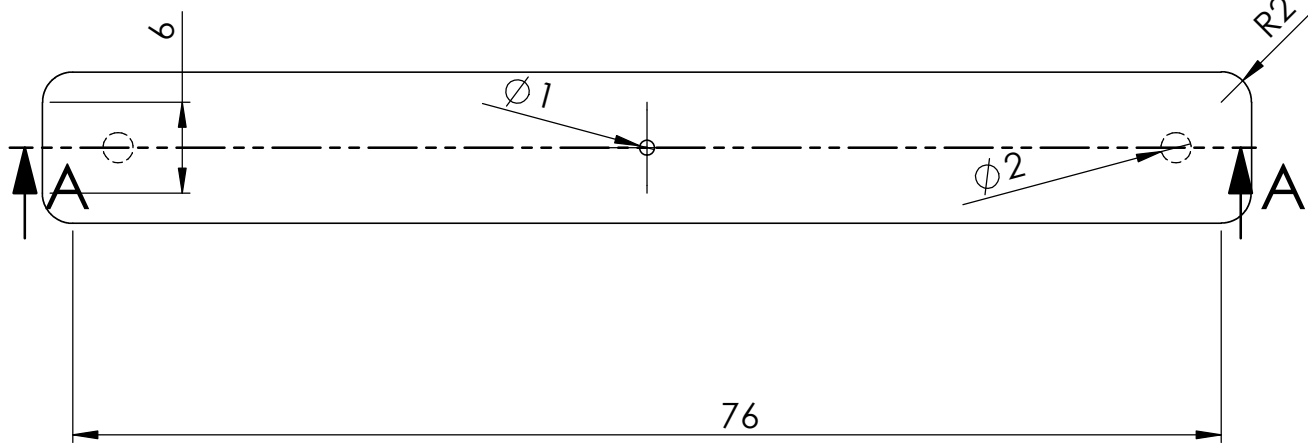
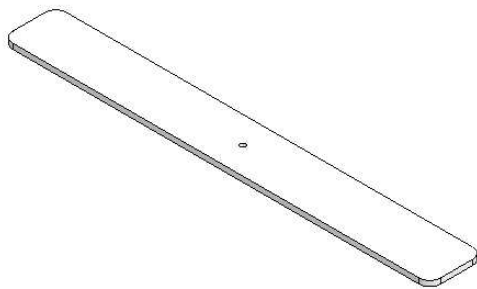
C

B

B

A

A



SECCIÓN A-A  
 ESCALA 2 : 1



Modelo 1

Tapa corredera

Escala 1:1

Manuel Soler Escudero

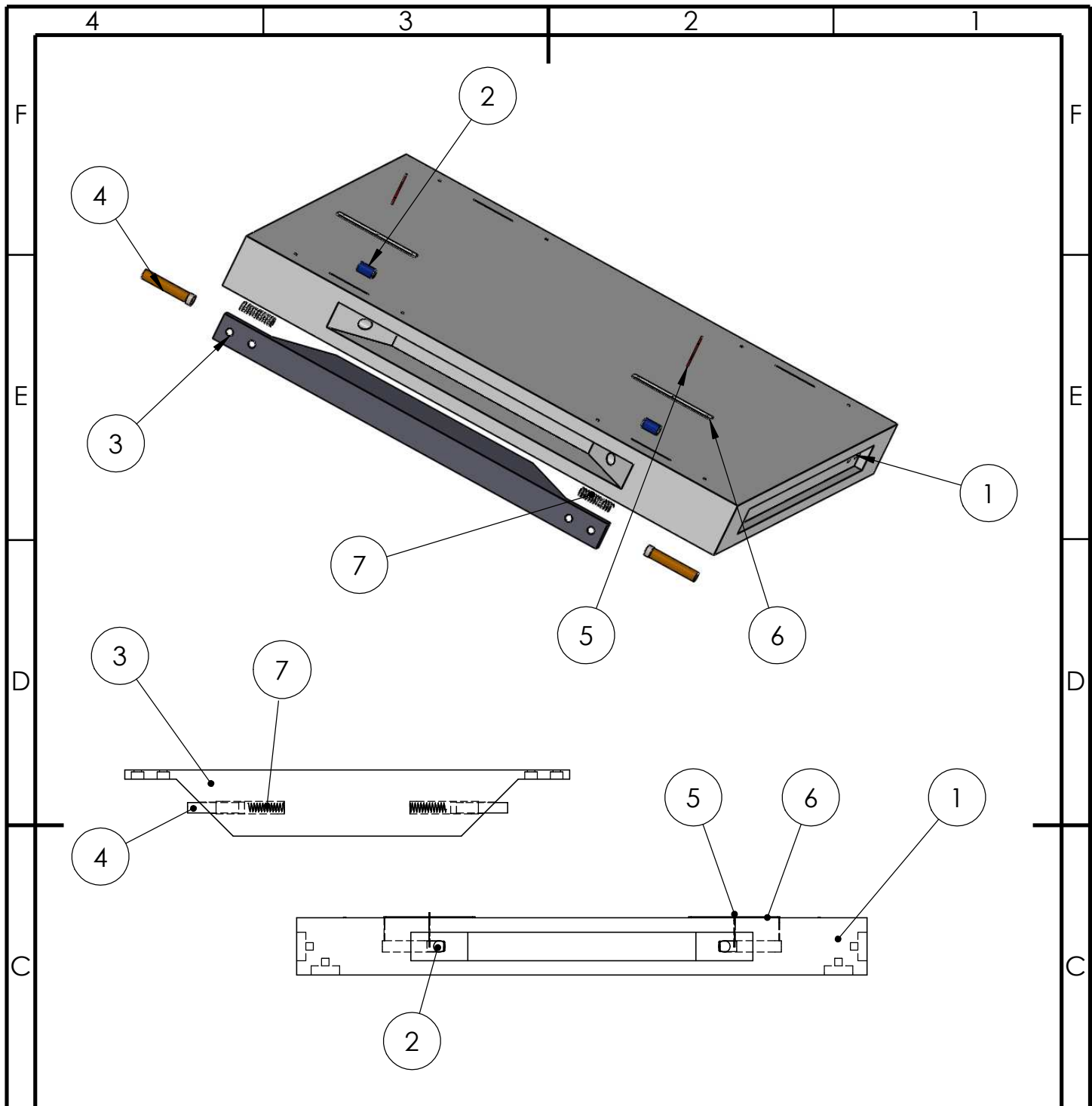
Licencia educacional de **SOLIDWORKS**  
 Sólo para uso académico

Grado en ingeniería mecánica


3

2

1



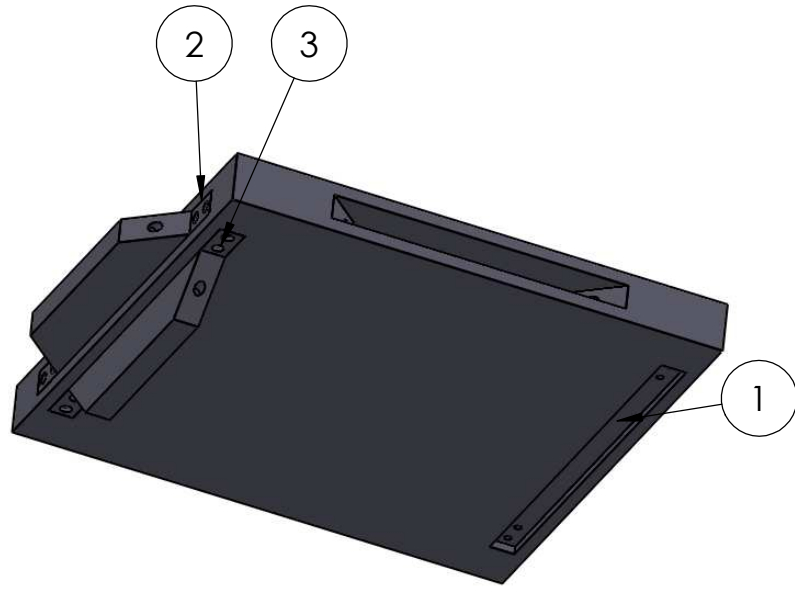
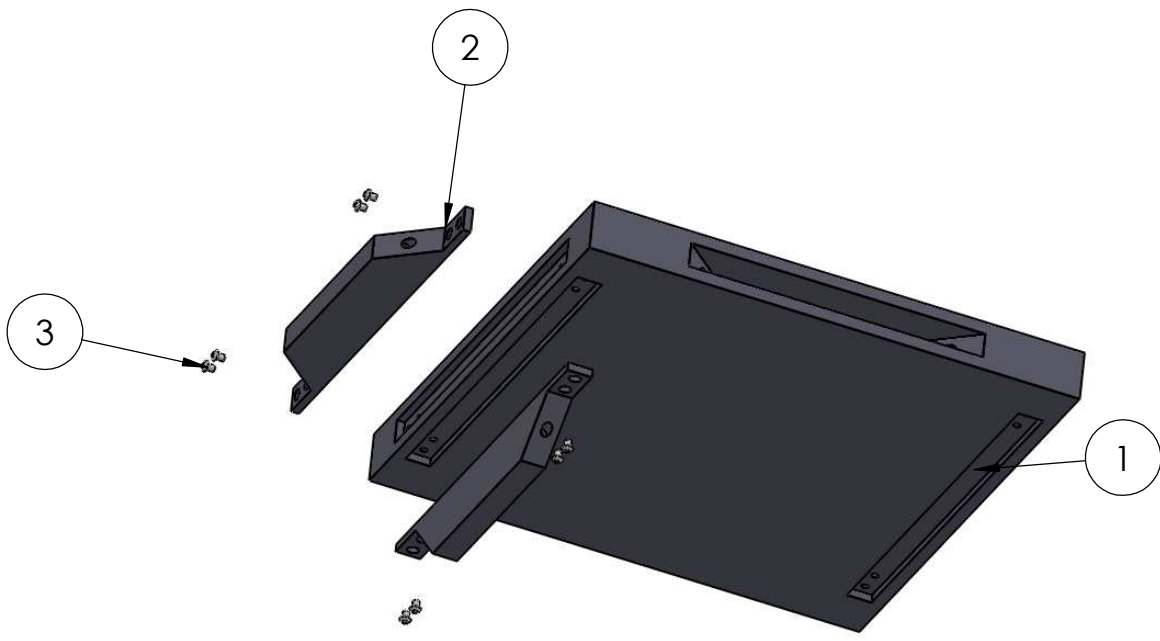
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	panel	Estructura tipo sandwich	1
2	actuador	Acero inoxidable AISI 316L	2
3	macho auxiliar	Estructura tipo sándwich	1
4	pasador	Acero inoxidable AISI 316L	2
5	barila	Acero inoxidable AISI 316L	2
6	tapa corredera	PVC	2
7	muelle	Acero inoxidable AISI 316L	2

	Modelo 1	Ensamblaje panel
		Manuel Soler Escudero
		Grado en ingeniería mecánica
<b>Licencia educacional de SOLIDWORKS</b> <b>Sólo para uso académico</b>		

4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A

F  
E  
D  
C  
B  
A



Modelo 1

Ensamblaje machos panel

Manuel Soler Escudero

Grado en ingeniería mecánica

Licencia educacional de **SOLIDWORKS**  
Sólo para uso académico

3

2

1



4

3

2

1

F

F

E

E

D

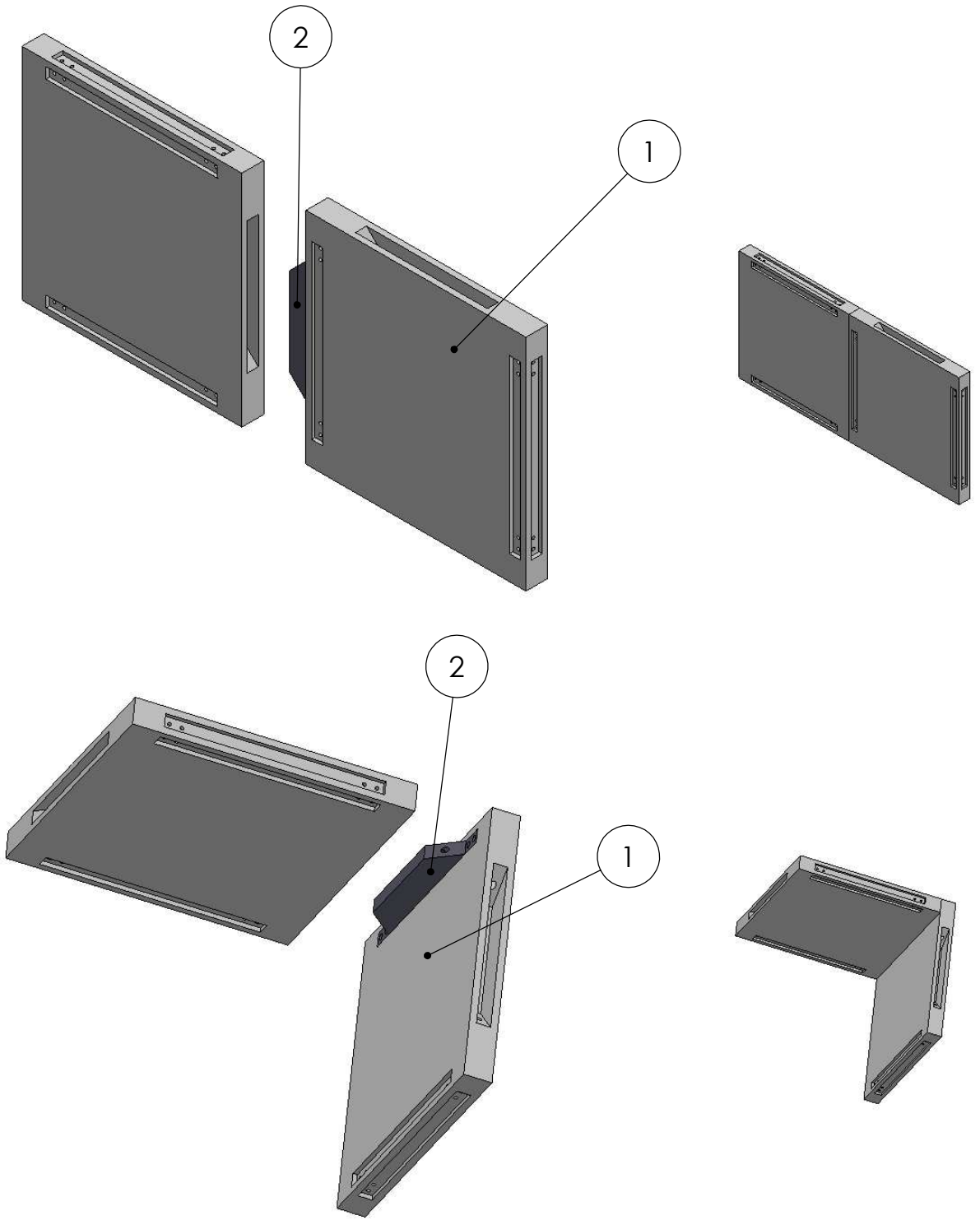
D

C

C

B

B



Plano orientativo para la visualización de las dos formas posibles de ensamblaje



Modelo 1

Ensamblaje horizontal y vertical

Manuel Soler Escudero

Grado en ingeniería mecánica

Licencia educacional de **SOLIDWORKS**  
Sólo para uso académico

3

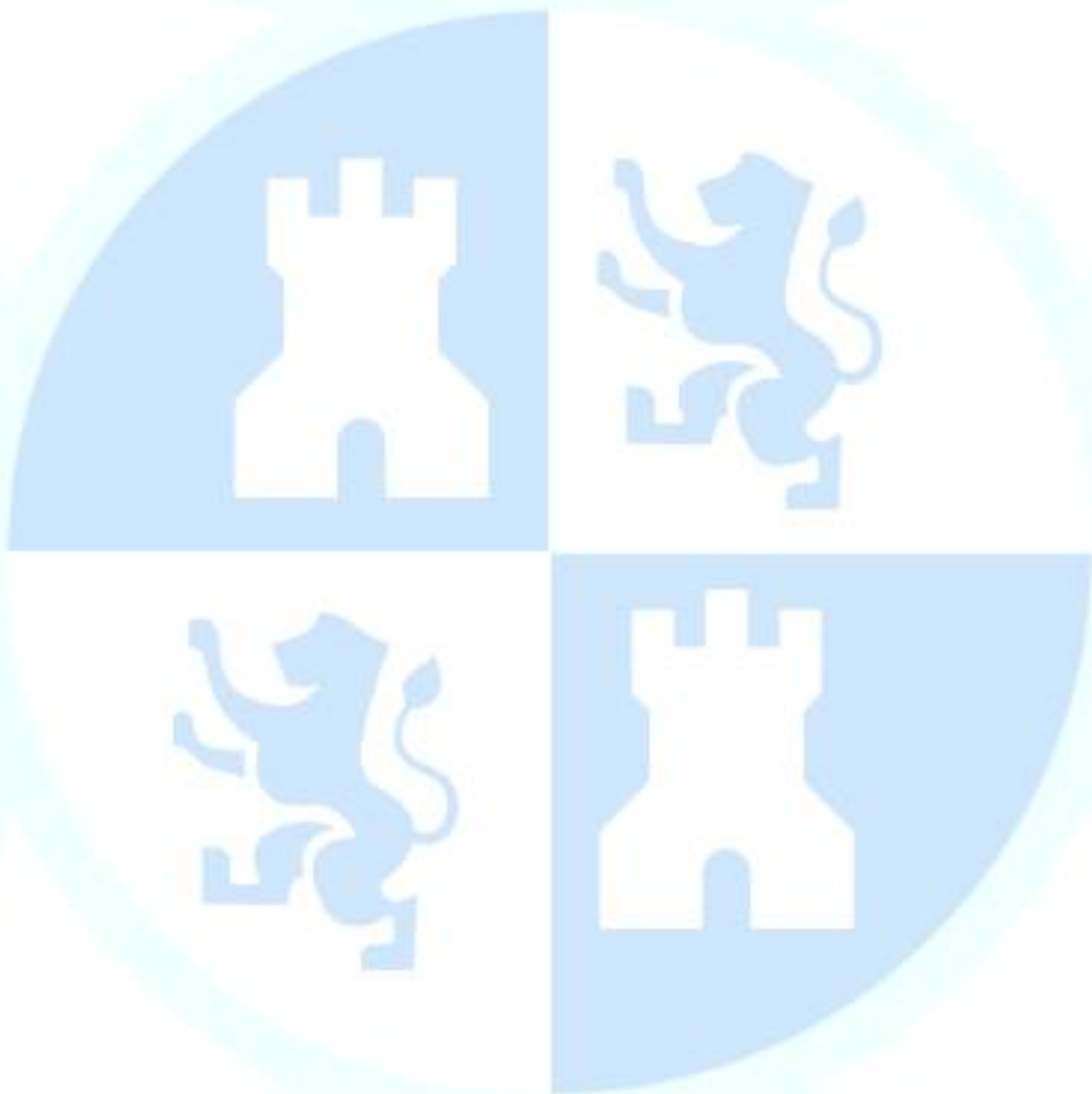
2

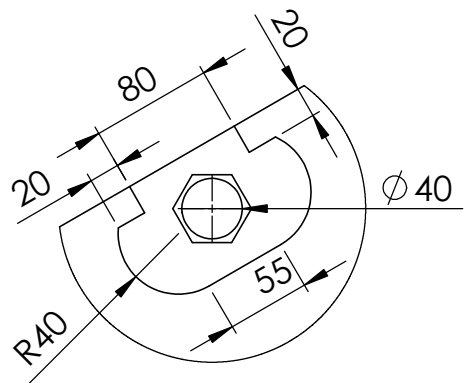
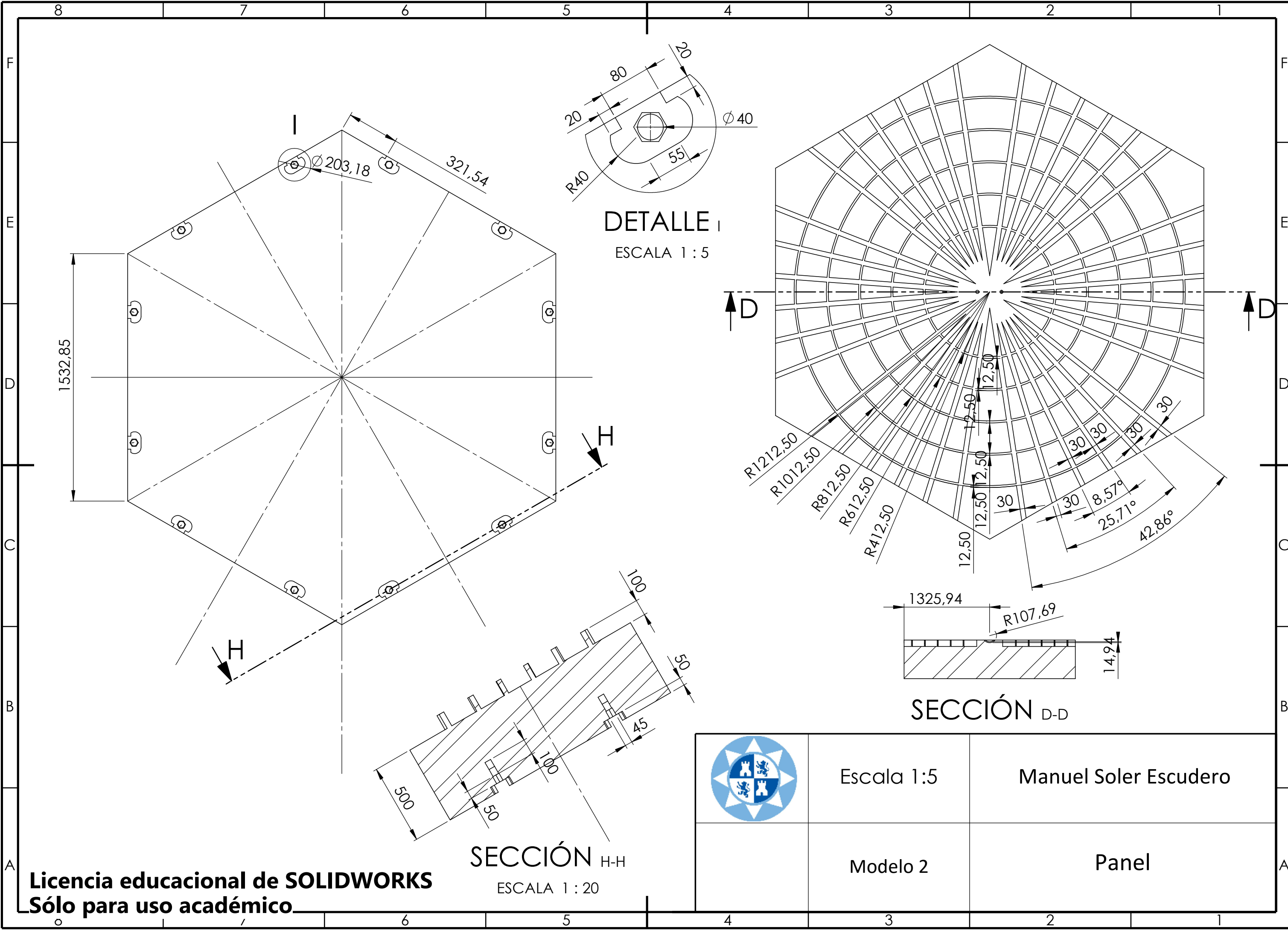
1

A

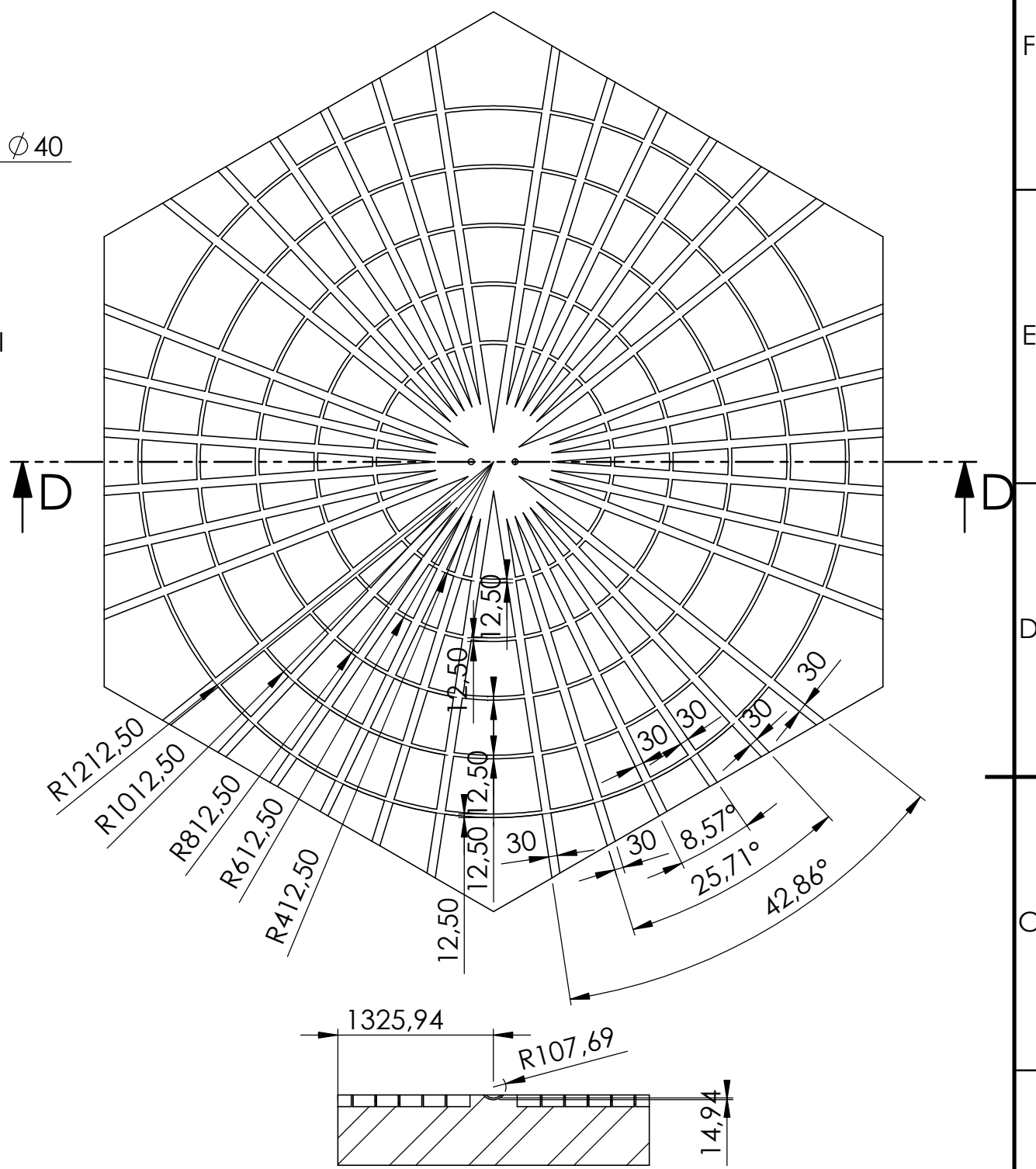
A

## 6.1.2. Modelo 2

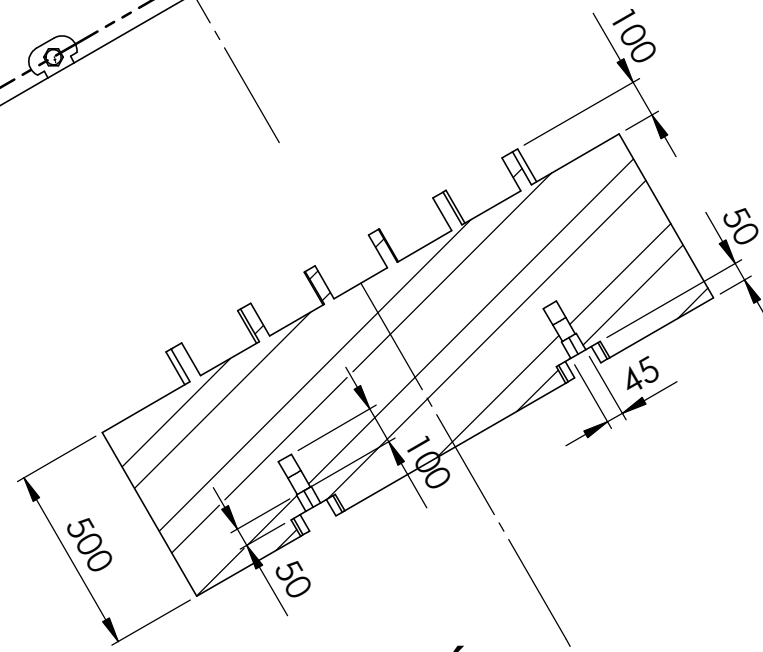




**DETALLE I**  
ESCALA 1 : 5



**SECCIÓN D-D**



**SECCIÓN H-H**  
ESCALA 1 : 20



Escala 1:5

Manuel Soler Escudero

Modelo 2

Panel

**Licencia educacional de SOLIDWORKS**  
**Sólo para uso académico**

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

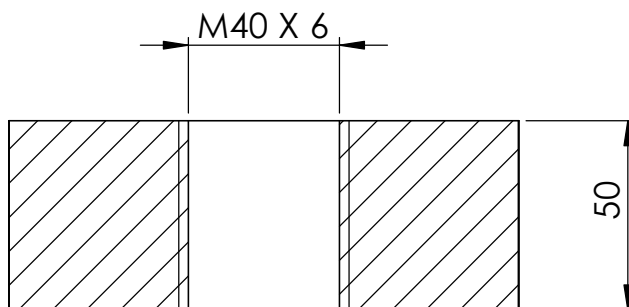
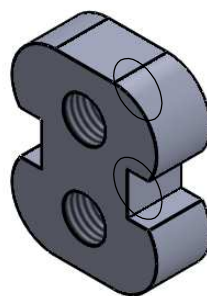
C

B

B

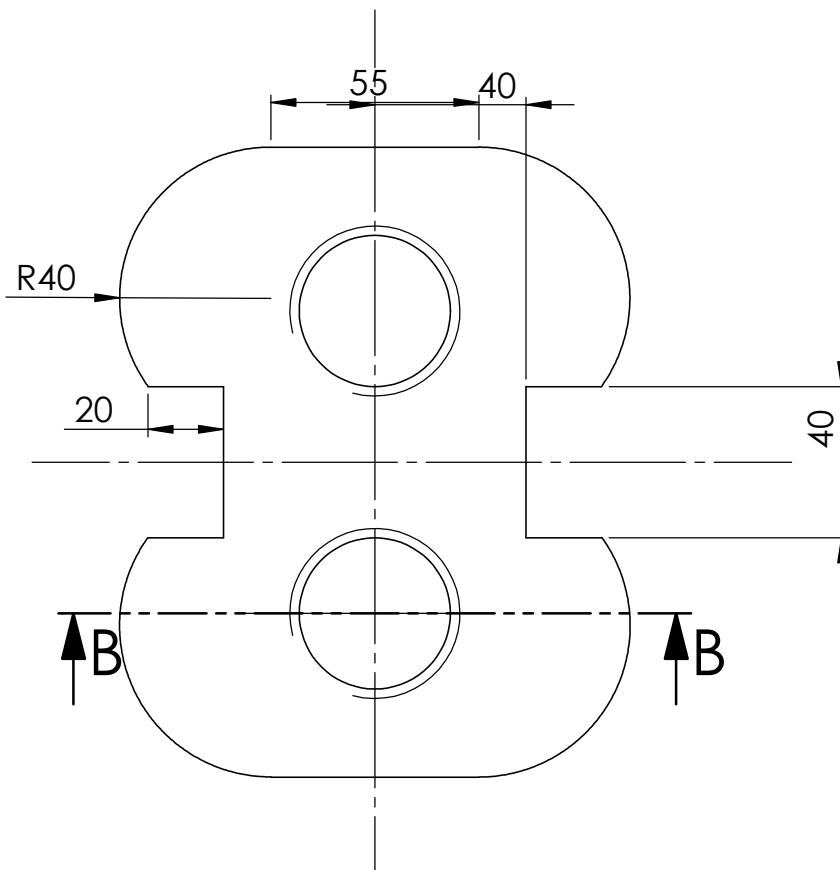
A

A



SECCIÓN B-B

ESCALA 1 : 2



Modelo 2

Unión

Escala 1:2

Manuel Soler Escudero

Licencia educacional de **SOLIDWORKS**  
Sólo para uso académico

Grado en ingeniería mecánica

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

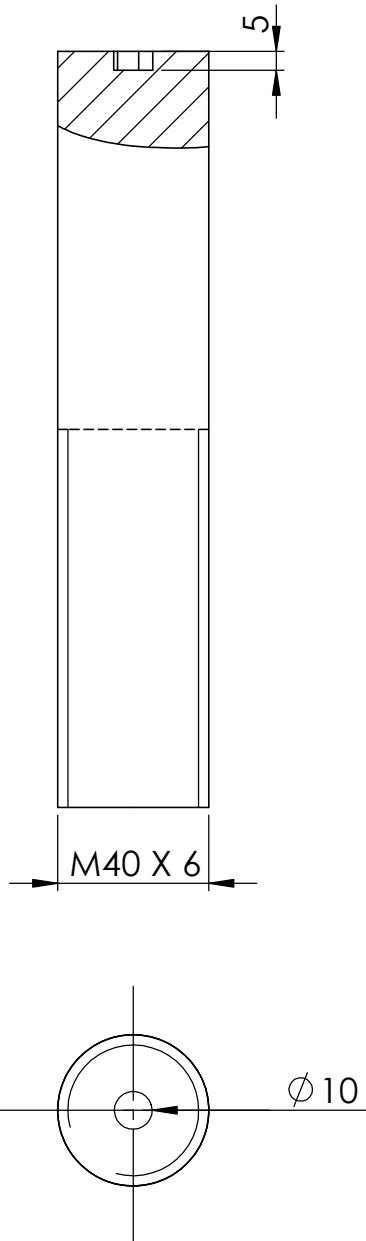
D

C

C

B

B



Modelo 2

Varilla roscada

Escala 1:3

Manuel Soler Escudero

A

A

Licencia educacional de **SOLIDWORKS**  
Sólo para uso académico

Grado en ingeniería mecánica

3

2

1



4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

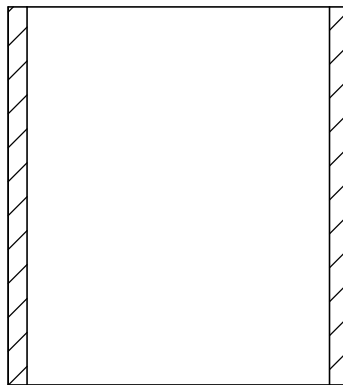
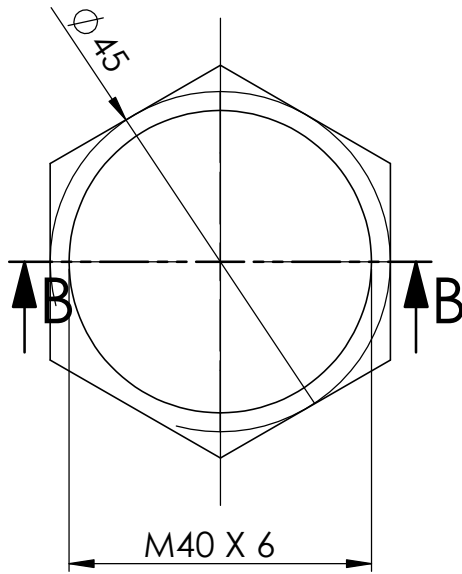
C

B

B

A

A



SECCIÓN B-B



Modelo 2

Inserto roscado

Manuel Soler Escudero

Grado en ingeniería mecánica

Licencia educacional de **SOLIDWORKS**  
Sólo para uso académico

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

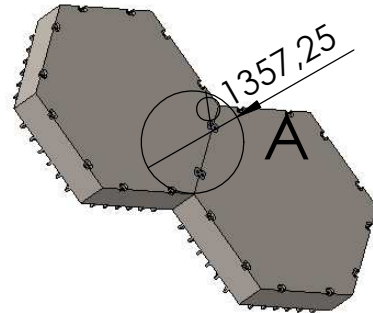
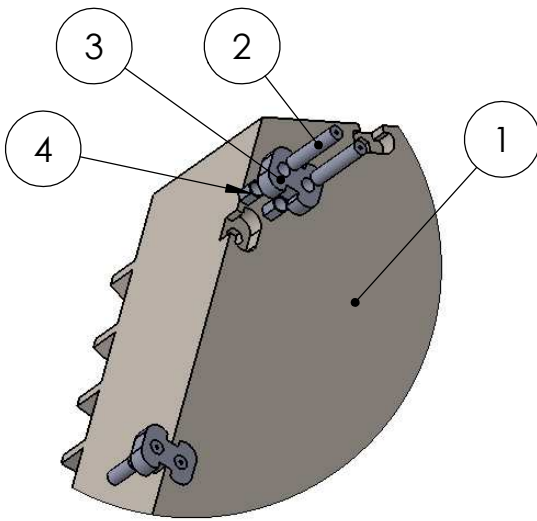
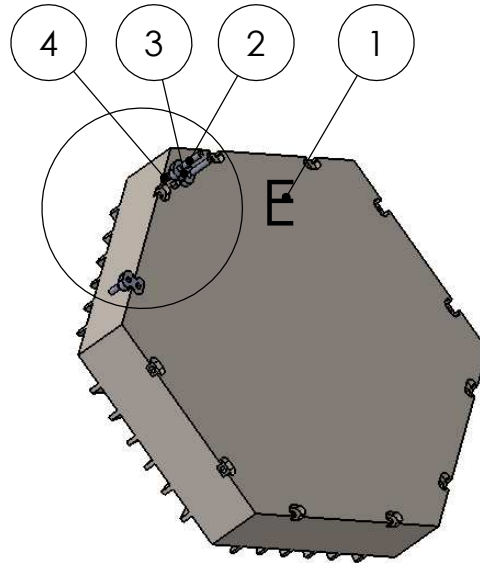
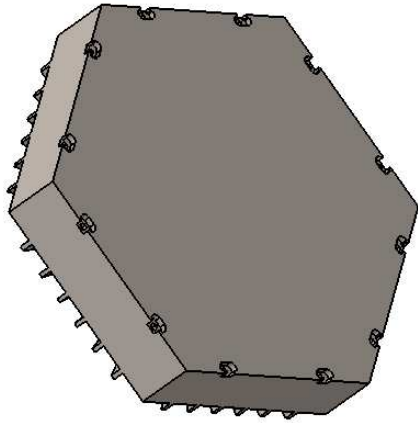
C

B

B

A

A



## DETALLE E

ESCALA 1 : 20

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	Panel	mezcla de polietileno y polietileno con fibra de vidrio	2
2	Varilla roscada	Acero inoxidable AISI 316L	4
3	union	Acero inoxidable AISI 316L	2
4	inserto roscado	Acero inoxidable AISI 316L	4



Modelo 2

Enganche panel

Manuel Soler Escudero

Grado en ingeniería mecánica

Licencia educacional de **SOLIDWORKS**  
Sólo para uso académico

3

2

1

## 7. Índice de ilustraciones

Ilustración 1: ejemplo de teselados regulares. ....	6
Ilustración 2: ejemplo de teselados semi-regulares.....	6
Ilustración 3: teselado de polígonos no regulares (izquierda), teselado de El Cairo (derecha).....	7
Ilustración 4: panel de abejas (izquierda), teselaciones en un panel de abejas (derecha) .....	7
Ilustración 5: numero áureo en una planta (izquierda), numero áureo en el caparazón de un caracol (derecha) .....	10
Ilustración 6: mezclado en tanques.....	10
Ilustración 7: traje de baño basado en la piel de un tiburón. ....	11
Ilustración 8: tela de araña.....	12
Ilustración 9: tren bala basado en el morro del Martín pescador. ....	12
Ilustración 10 fachada de hormigón prefabricado (izquierda), paneles de hormigón prefabricado (derecha).....	13
Ilustración 11: sección panel vacío solo con la chapa de aluminio de 2mm.....	14
Ilustración 12: sección panel relleno de polietileno expandido de baja densidad .....	14
Ilustración 13: operaciones de mecanizado compatibles con el panel.....	15
Ilustración 14: vistas del panel .....	15
Ilustración 15: vistas del panel .....	16
Ilustración 16: panel transparentado (izquierda), sección del panel (derecha) .....	16
Ilustración 17: explosionado panel con machos (izquierda), panel con machos (derecha).....	17
Ilustración 18: ensamblaje horizontal explosionado.....	17
Ilustración 19: ensamblaje horizontal .....	17
Ilustración 20: ensamblaje en ángulo (izquierda), ensamblaje en ángulo explosionado (derecha).....	18
Ilustración 21: elementos del panel .....	18
Ilustración 22: elementos del macho de unión.....	18
Ilustración 23: posición de ensamblaje .....	19
Ilustración 24: posición de desensamblaje.....	19
Ilustración 25: vista final del enganche .....	19
Ilustración 26: detalle de los puntos que definen las posiciones (izquierda), unión del punto con la chapa del enganche (derecha) .....	19
Ilustración 27: ensamble con elementos auxiliares (izquierda), elemento auxiliar (derecha).....	20
Ilustración 28: ejemplo de ensamble paneles.....	20
Ilustración 29: ejemplo ensamble paneles.....	21

Ilustración 30: ensamblaje a modo de pérgola para proporcionar sombra a un vehículo .....	21
Ilustración 31: ensamblaje a modo de caseta para exposiciones o mercados .....	22
Ilustración 32: montaje en toldo para eventos .....	22
Ilustración 33: panel tipo sándwich o honeycomb .....	23
Ilustración 34: explosionado del panel y sus elementos.....	24
Ilustración 35: cálculo de la fuerza máxima admisible en dos paneles ensamblados ...	26
Ilustración 36: cálculo de la fuerza máxima admisible en un panel.....	26
Ilustración 37: ensamblaje formando un techo .....	27
Ilustración 38: tensiones originadas por la combinación de las fuerzas del viento y el peso en oposición .....	27
Ilustración 39: tensiones originadas por la combinación de las fuerzas del viento y el peso en concordancia.....	28
Ilustración 40: panel con macho atornillado .....	28
Ilustración 41: explosionado de un panel con macho atornillado .....	29
Ilustración 42: fuerza aplicada sobre el panel en una condición desfavorable .....	29
Ilustración 43: Verificación de la resistencia de los tornillos .....	30
Ilustración 44: pérgola de madera (izquierda), ensamblaje de los paneles a modo de pérgola (izquierda) .....	31
Ilustración 45: ejemplo de apilamiento de los paneles.....	31
Ilustración 46: ejemplo de apilamiento de los paneles ensamblados .....	32
Ilustración 47: ensamblaje a modo de parque acuático .....	33
Ilustración 48: ejemplo de puerto de pequeñas embarcaciones.....	33
Ilustración 49: palacio de cristal construido por Paxton .....	34
Ilustración 50: Nervado de un nenúfar (izquierda), nenúfar (derecha).....	34
Ilustración 51: modelado de los nervios de un nenúfar (izquierda), ensamblaje modular de los modelos (derecha) .....	35
Ilustración 52: sección panel para visualizar el agujero pasante .....	35
Ilustración 53: ejemplo de ensamblaje de dos paneles .....	36
Ilustración 54: elemento de unión en el haz del panel .....	36
Ilustración 55: varilla de fijación.....	37
Ilustración 56: injerto roscado.....	37
Ilustración 57: ensamblaje unión explosionado.....	37
Ilustración 58: Ensamblaje permitiendo el desplazamiento vertical .....	38
Ilustración 59: ejemplo de paneles aplicados para formar una plataforma acuática de distintas aplicaciones.....	38
Ilustración 60: montaje en plataforma acuática para evento en la playa .....	39
Ilustración 61: panel .....	39
Ilustración 62: sección panel vaciado.....	40
Ilustración 63: Explosionado Panel.....	41
Ilustración 64: envés de la estructura (izquierda), haz de la estructura (derecha) .....	42

Ilustración 65: tensiones que experimenta al ser aplicada una fuerza en su extremo .	42
Ilustración 66: haz de la estructura (izquierda), envés de la estructura (derecha) .....	43
Ilustración 67: tensiones que experimenta la estructura al aplicar una fuerza en el extremo .....	43
Ilustración 68: haz de la estructura (izquierda), envés de la estructura (derecha) .....	44
Ilustración 69: tensiones que experimenta al aplicar una fuerza en su extremo .....	44
Ilustración 70: pantanal para moto de agua .....	46

## 8. índice de tablas

Tabla 1: propiedades de la estructura tipo sándwich .....	24
Tabla 2: resumen de los materiales utilizados .....	24
Tabla 3: presupuesto panel estructural .....	30
Tabla 4: propiedades del polietileno de baja densidad .....	40
Tabla 5: propiedades del polietileno con fibra de vidrio.....	40
Tabla 6: propiedades del acero inoxidable AISI 316L.....	41
Tabla 7: resumen de materiales del panel .....	41
Tabla 8: comparativa de los modelos estudiados .....	45
Tabla 9: densidad y volumen.....	45
Tabla 10: presupuesto del panel flotante .....	45





