



# ANEXO I: Dossier

Diseño de un stand usando técnicas basadas en  
Smart Geometry y fabricación digital

Autor: Juan Viamonte Olmeda

Tutor: José Francisco Serón Arbeloa

# ÍNDICE

---

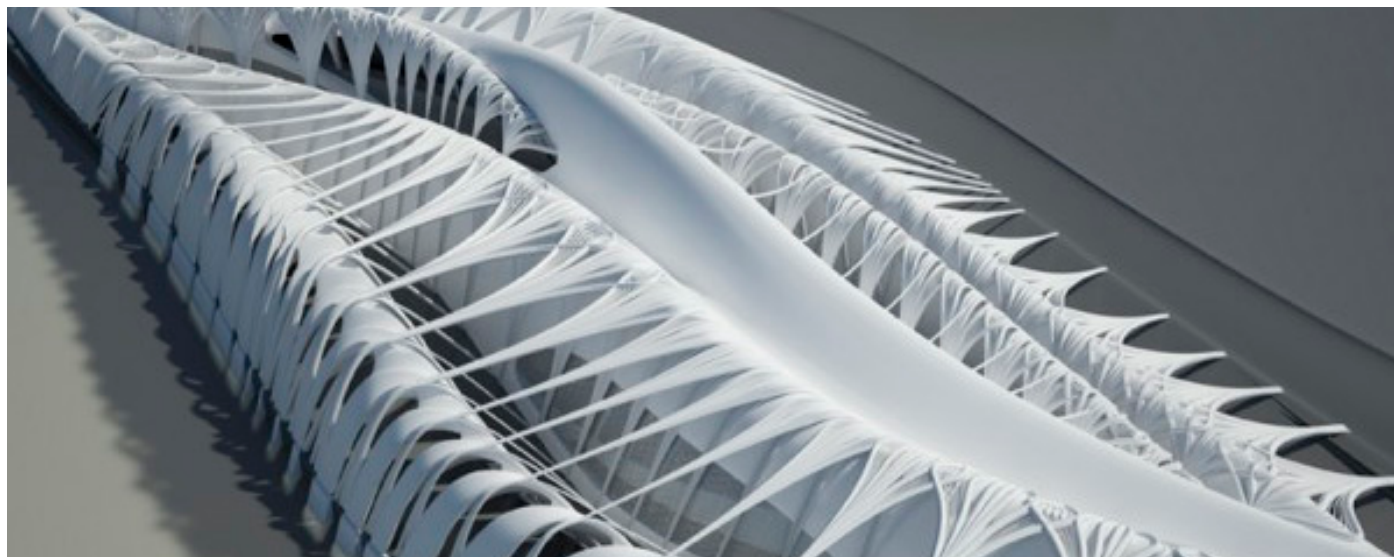
<b>0. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
0.1 Introducción.....	3
0.2 Objetivos.....	4
0.3 Planteamiento del problema.....	4
<b>1. FASE I: INVESTIGACIÓN</b>	<b>5</b>
1.1 Diseño paramétrico.....	6
1.2 Software y herramientas.....	9
1.3 Fabricación digital.....	18
1.3.1 Máquinas CNC.....	19
1.3.2 Fab-labs.....	24
1.3.3 Métodos constructivos.....	25
<b>2. FASE II: CASO PRÁCTICO</b>	<b>47</b>
2.1 Temática del caso práctico.....	48
2.2 Elección y análisis de la marca.....	49
2.3 Aspectos relevantes en el diseño de un stand.....	51
2.3.1 Material.....	52
2.3.2 Dimensiones.....	56
2.4 Estudio de mercado.....	57
2.5 Especificaciones de diseño.....	70
<b>3. FASE III: DISEÑO</b>	<b>71</b>
3.1 Generación de conceptos.....	72
3.2 Desarrollo de la estructura.....	80
3.2.1 Modelado del sólido.....	80
3.2.2 Algoritmo seccionamiento.....	86
3.2.3 Análisis estático.....	99
3.3 Desarrollo del interior del stand.....	111
3.2.1 Teselado.....	112
3.2.2 Muebles y distribución.....	132
3.4 Renders.....	137
3.5 Montaje y ensamblajes.....	143
3.6 Maqueta.....	149
3.7 Conclusiones y trabajo futuro.....	152
<b>6. DIAGRAMA TEMPORAL DE LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>155</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>156</b>



# 0.0 INTRODUCCIÓN

*Diseñar, producir y fabricar deben entenderse como tres fases de un mismo proceso enfocado en la concepción, desarrollo y materialización de soluciones a un propósito. Se trata de un recorrido en el que cada una de estas fases y los factores con los que se trabajan en ellas se relacionan entre sí.*

Manuel de Borja Torrejón, Grasshopper.Primeros Pasos.<sup>[1]</sup>



**Fig.1** - 0 R N 8: Proyecto de diseño paramétrico realizado por Gerry Cruz, Spyridon Kaprinis, Natalie Popik y Maria Tsironi.

En la actualidad estamos viviendo un boom tecnológico y todo lo que nos rodea está en cierto modo digitalizado. El curso evolutivo nos lleva hacia una sociedad digital gracias a los avances en cuanto al desarrollo de los ordenadores y la electrónica, cuya progresión es aparentemente exponencial. En la ingeniería de diseño se han desarrollado una gran cantidad herramientas y formas de trabajo ligadas a la digitalización: desde herramientas de diseño, software CAD y CAM hasta la fabricación CNC.

Gracias a este progreso se ha llegado a un punto en el que un software de 3D ya no es sólo una herramienta de representación gráfica sino que también somos capaces de materializar aquello que se modela en el ordenador.

De entre esas nuevas herramientas de las que disponemos, existe una que todavía está en experimentación y está teniendo cada vez más repercusión entre arquitectos y diseñadores: **el diseño paramétrico**.

En este proyecto se profundiza sobre el diseño paramétrico para conocer en qué consiste y qué posibilidades nos ofrece, así como conocer sus ventajas y desventajas y la prospección de futuro que tiene. Además, se estudiarán diversos proyectos realizados con estas técnicas.

Se trata de un planteamiento que responde a una serie de exigencias que los profesionales del sector demandan: en lo práctico, permite la generación de un gran número de alternativas que se pueden evaluar en fases iniciales del proyecto sin que acarree ningún coste. En lo estético, ofrece la posibilidad de crear cualquier tipo de forma o estructura con una lógica basada en la geometría. Supone así un ahorro en tiempo y costes del proyecto. Esto se explicará con más detenimiento en el siguiente capítulo.

Inicialmente, se realiza un trabajo de investigación en el que se detallarán las características de esta nueva forma de trabajo y se conocerán los diversos métodos constructivos en relación con la fabricación digital.

Tras esa fase de investigación, se resolverá un caso práctico que consistirá en el diseño de un elemento de arquitectura efímera (un stand de exposición) usando el software y las herramientas de diseño aprendidas anteriormente. Se pretende hacer especial hincapié en los métodos constructivos usados y su correcta aplicación además de conseguir un diseño coherente y práctico, explorando las diversas alternativas y seleccionando la óptima.

## 0.1 OBJETIVO DEL TRABAJO FIN DE GRADO

**Estudio del concepto de diseño paramétrico y su aplicación en proyectos reales:** en qué consiste y de qué forma ayuda en la resolución de problemas de ingeniería y diseño.

**Estudio de las técnicas y metodologías de fabricación digital:** los métodos constructivos de los que se dispone gracias a herramientas de CAD/CAM y la fabricación digital.

**Estudio y selección del software a utilizar:** comprensión y ejercitación del software Rhinoceros + Grasshopper para su uso en el proyecto.

**Aplicación de todo lo anterior para el diseño de un stand de exposición:** Presentación del proceso de diseño completo de un stand, desde los análisis previos y conceptos iniciales hasta el modelado con Rhinoceros + Grasshopper y su desarrollo técnico, con la selección de la mejor alternativa y su preparación para la fabricación.

## 0.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La parte práctica del proyecto consiste en el diseño de un stand que cumpla con unos requisitos determinados de forma eficiente.

Uno de los requisitos más importantes de un stand es que sea visible y capte la atención del cliente. En un mercado tan saturado como el actual, los consumidores son cada vez más difíciles de impresionar y esto repercute en todas las áreas relacionadas con el marketing de una empresa y

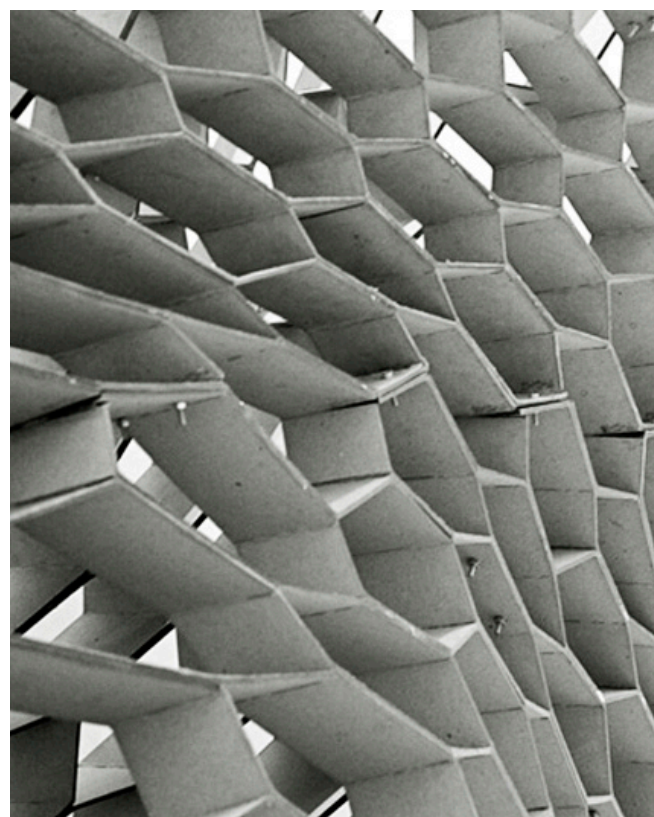
la publicidad de la marca.

Un stand es un elemento más de publicitación de una marca y en grandes exposiciones existe una gran competitividad por destacar sobre el resto.

Como diseñador, resulta todo un reto realizar un elemento expositivo que resalte y llame la atención de los visitantes. La oportunidad que nos ofrece el diseño paramétrico es la de crear formas complejas y estéticamente muy llamativas, contribuyendo además en todas las fases del proyecto desde la conceptualización hasta la fabricación.

La intención del proyecto es llevar todas las ventajas de la herramienta al ámbito del diseño de arquitectura efímera, buscando la diferenciación.

En cuanto al objetivo particular supone un enriquecimiento personal al aprender a controlar nuevas herramientas, programas de CAD/CAM y sobre todo la exploración de un enfoque diferente al estudiado en la carrera.



**Fig.2** - Pantalla desarrollada en la competición de diseño M3 2010 del Institute of Technology in Architecture (Zurich)



# 1 FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1 Diseño paramétrico

1.2 Software y herramientas

1.3 Fabricación digital

1.3.1 Maquinaria CNC

1.3.2 Fab labs

1.3.3 Métodos constructivos



# 1.1 DISEÑO PARAMÉTRICO

*En los últimos años, el diseño y la arquitectura han evolucionado en gran medida gracias a la aparición de nuevas herramientas de creación computacional, una de ellas es el diseño paramétrico.*

*“Cada día somos testigos de la proliferación en el mundo del diseño y de la arquitectura de formas imposibles, de imágenes retorcidas y seductoras, de procesos reactivos con elementos interactivos, de discursos llenos de procesos, diagramas, flujos e interacciones... Y cada vez más, se escucha resonar un concepto que parece albergar bajo su seno todo este nuevo mundo de posibilidades: el diseño paramétrico.”<sup>[2]</sup> José Luis García del Castillo López, La seducción paramétrica.*

Esta nueva corriente está teniendo bastante difusión gracias a libros, artículos, conferencias e incluso laboratorios de experimentación o workshops donde se enseñan las herramientas.

Pero, **¿en qué consiste?**

El diseño paramétrico se entiende como el proceso de definición de unos parámetros que permitan controlar las propiedades y relaciones geométricas de un modelado. Está muy ligado a la programación, el diseño de algoritmos y la fabricación digital.

Imaginemos que tenemos un punto y una esfera en el espacio. Ahora queremos unir el punto con el centro de la esfera, así que trazamos una línea entre esos dos puntos. **(Fig.3)** En un programa de CAD tradicional, al mover la esfera, la línea se mantendría estática, lo que quiere decir que la geometría de ese modelo no es asociativa. **(Fig.4)**

Sin embargo, en un programa paramétrico podríamos imponer la condición de que esa línea debe estar siempre conectada al centro de la esfera. Esto significa que la geometría de ese modelado si que es asociativa. **(Fig.5)**

Si bien el algoritmo no parece gran cosa, se puede vislumbrar el abanico de posibilidades que se abre delante de nosotros, ya que se puede programar un algoritmo tan grande como uno quiera, llegando a manejar volúmenes de información muy grandes.

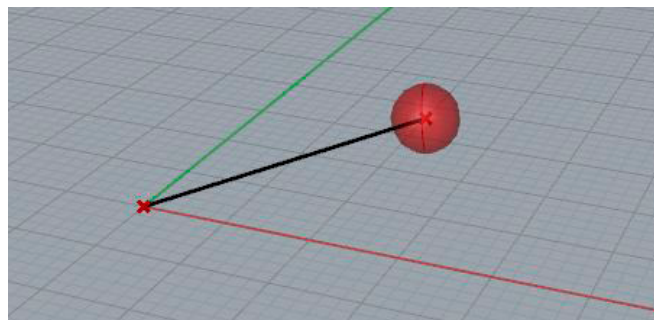


Fig. 3

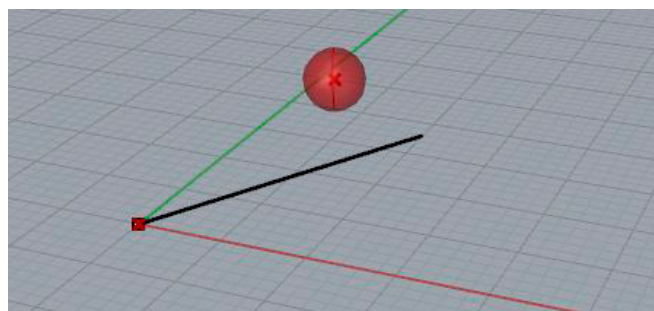


Fig. 4 Geometría no asociativa.

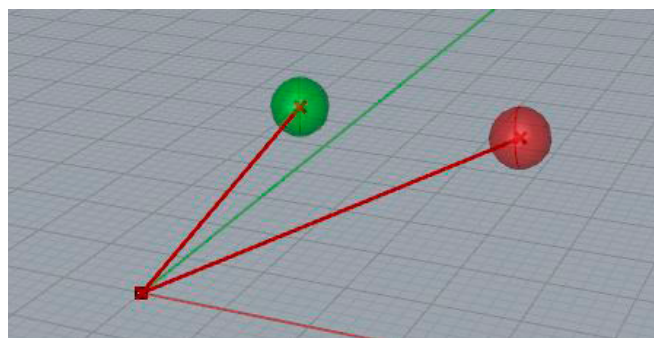


Fig. 5 Geometría asociativa.

Y las asociaciones no tienen porque ser solo posicionales, sino que también pueden entrar en juego complicadas relaciones matemáticas o puertas lógicas. Por ejemplo, el radio de la esfera puede depender de la longitud de la línea que hemos creado antes (distancia al punto), de forma

que el radio de la esfera será  $1/10$  de la distancia, por lo que cuanto más cerca esté del punto más pequeña será. (Fig.6)

También pueden entrar en juego grandes volúmenes de datos que se pueden manejar a placer. Es así como se puede crear de forma muy rápida muchos elementos y que además cada uno de ellos se comporte siguiendo esas reglas que hemos establecido. Si hacemos que la esfera se repita “n” veces en el eje x y “n” veces en el eje y, tenemos una rejilla de esferas creada a partir de un elemento, y con un parámetro “n” que controla el modelo resultante. (Fig.7)

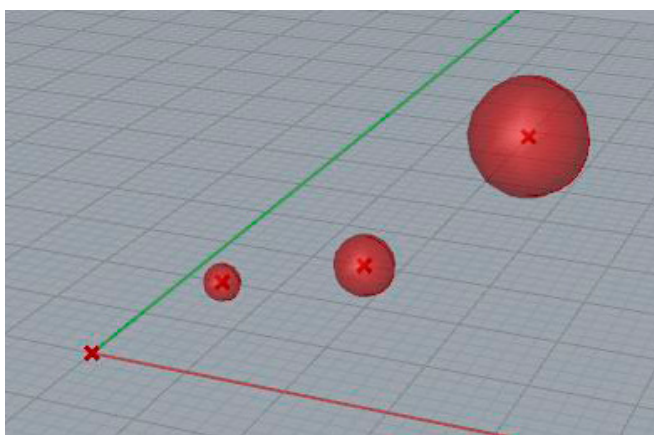


Fig. 6

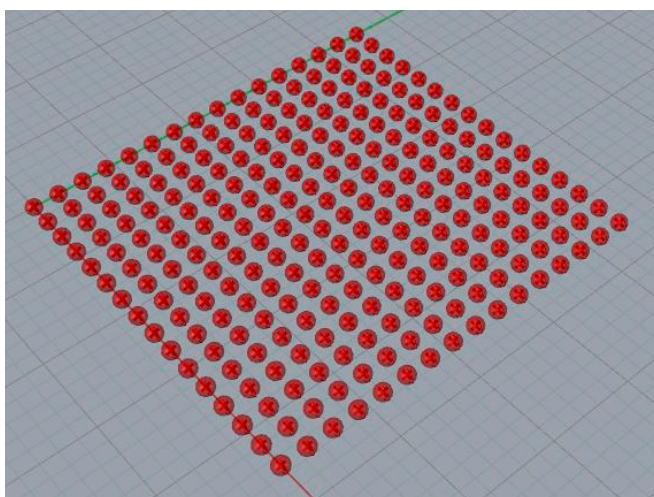


Fig. 7

Si además mantenemos la condición del radio en función de la distancia del punto a la esfera, se obtiene un modelo muy dinámico que depende exclusivamente de dos parámetros: la posición del punto y las “n” esferas que conforman esa rejilla. (Fig.8)

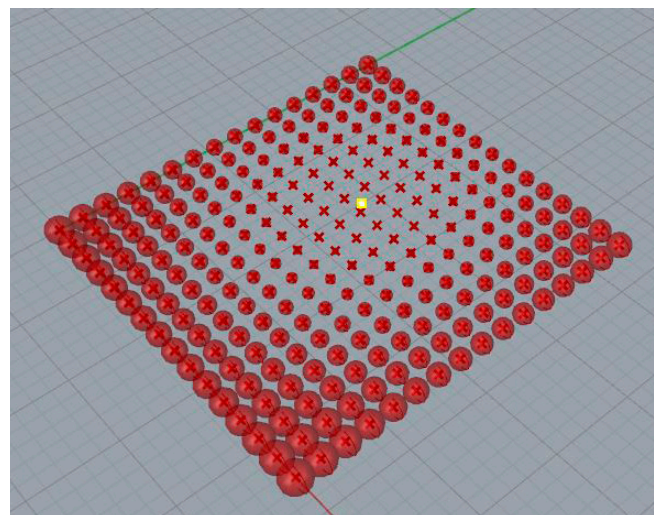
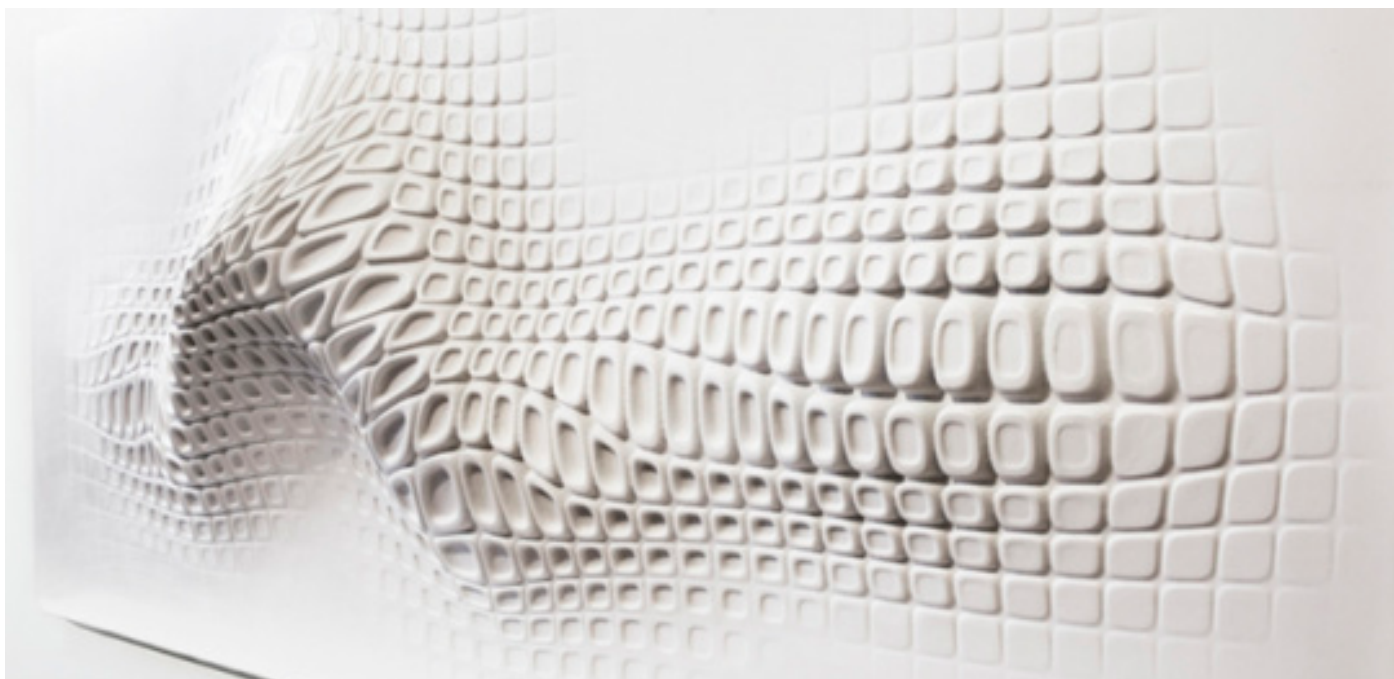


Fig. 8

El planteamiento del trabajo cambia radicalmente y, a la hora de realizar un proyecto, los diseñadores y arquitectos deben hacer un ejercicio de comprensión previo acerca de los requisitos del mismo para convertirlos en parámetros que formarán parte del algoritmo.

Así pues, no se modela de forma directa sino que se diseña una definición que establezca las relaciones geométricas de tal manera que una misma definición puede aplicarse a diferentes entidades geométricas, pudiendo generar infinitas alternativas y favoreciendo así la exploración formal. No se busca diseñar formas sino diseñar procesos para poder generarlas.



**Fig.9** - Escultura diseñada por Ora-Ito usando Grasshopper.

## PRINCIPALES VENTAJAS

### **Exploración formal y fomento de la creatividad:**

Una de las ventajas principales de esta nueva forma de trabajo es el dinamismo que adquieren los modelados. Con tan sólo variar unos parámetros iniciales podemos ver en tiempo real los cambios que se producen en la forma final. Esto se aprecia cuando el modelo con el que se está trabajando tiene muchos elementos.

La exploración que permite hacer de las formas es uno de los puntos fuertes de usar este tipo de programas ya que en ocasiones, en el mismo proceso de creación del algoritmo, se llega por error a nuevas formas insospechadas. Y es en ese proceso donde se favorece la creatividad y se impulsa al diseñador a investigar sobre nuevas relaciones.

**Ahorro de tiempo:** Otra de las ventajas es el ahorro de tiempo que supone en la creación de modelos con una gran complejidad, ya sea formal o en cuanto al número de elementos que intervienen.

Con tan solo dos curvas y una definición de Grasshopper se puede crear toda una estructura de barras, teniendo cada una de esas barras una forma y unas dimensiones particulares. Plantearse el modelado de una estructura de ese estilo con un programa CAD no paramétrico sería perder mucho tiempo.

**Del modelo a la materialización:** esta metodología es una herramienta muy potente en lo que se refiere a la automatización de los procesos. Nos permite llegar a niveles de complejidad muy altos y poder organizar esa información de tal manera que se pueda optimizar su fabricación.

**Simbiosis entre disciplinas:** permite integrar criterios estructurales, sociales, simulaciones de flujo, etc. El modelo no es solo una maqueta virtual sino una herramienta capaz de darnos resultados e información para lograr diseños más coherentes.<sup>[3]</sup>



## 1.2 SOFTWARE Y HERRAMIENTAS

*El diseño paramétrico ocupa el método bottom up, que significa crear una lógica a partir de relaciones específicas, que se pueden ir modificando según los requerimientos sociales y contextuales.* Sandra Navarrete, "Diseño paramétrico. El gran desafío del siglo XXI" [4]

En la actualidad, muchas son las herramientas de diseño asistido por ordenador y de representación tridimensional.

CAD, o dibujo y diseño asistido por ordenador, es el uso de tecnología informática para el diseño y la generación de documentación. CAD Software reemplaza los diseños manuales por un proceso automatizado. Estos programas ayudan a explorar ideas de diseño, visualizar conceptos mediante renderizaciones fotorrealistas y simular el funcionamiento de un diseño en el mundo real. El software AutoCAD fue el primer programa de CAD y sigue siendo la aplicación de CAD más utilizada globalmente. [5]

Sin embargo, no todos los programas de diseño asistido por ordenador son paramétricos. AutoCAD o Rhinoceros, por ejemplo, son programas de dibujo no-paramétricos y por tanto no permiten la generación de geometrías asociativas.

### 1.2.1 PROGRAMAS PARAMÉTRICOS

Algunos programas paramétricos son:

#### CATIA

El sistema CATIA (Computer Aided three-dimensional Interactive Application- en español "Sistema interactivo tridimensional ayudado por ordenador") es un programa creado y comercializado por Dassault Systèmes, que es la ingeniería filial del grupo Dassault, un fabricante de aviones militares y civiles francés.

Es un software muy completo que reúne todas las herramientas necesarias desde la concepción del diseño, pasando por el análisis, la simulación y presentación, la fabricación o producción y, mantenimiento de este. [6]

Su campo de actuación es enorme y va desde el diseño de joyería o vestidos hasta el sector

aeroespacial, automoción o maquinaria.

El arquitecto Frank Gehry se sirvió de CATIA para diseñar algunos de sus edificios curvilíneos como por ejemplo el Museo Guggenheim de Bilbao. [7]

Se le engloba dentro de la categoría de gestores del ciclo de vida del producto, o en inglés, Product Lifecycle Management (PLM). Esta filosofía de software la comparten otros grandes del sector como **SolidWorks** o **Autodesk Inventor**.

En estos programas se pueden establecer relaciones geométricas en relación con parámetros como la dimensión de una cota o la posición relativa de las diferentes piezas de un ensamblaje. También son parametrizables propiedades como el material u otras características físicas.

Además, todos incluyen paquetes de extensión que los hacen aún más completos, pudiendo abarcar proyectos de ingeniería de cualquier índole.

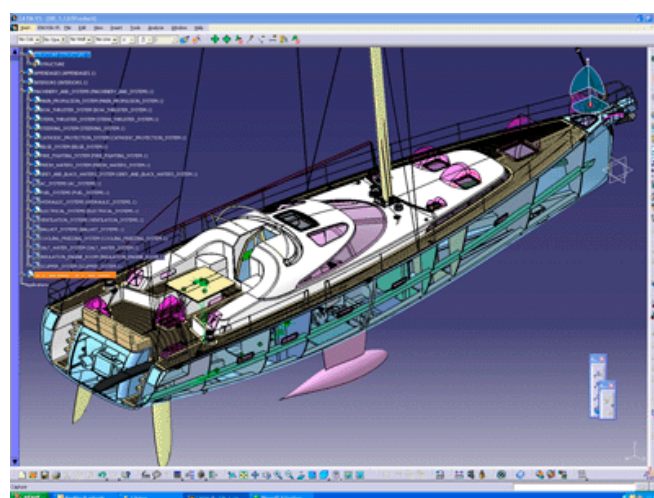


Fig.10 - Captura de pantalla del software CATIA.

## AUTODESK 3DS MAX

3ds Max® es un sofisticado software de modelado 3D paramétrico que proporciona modelado, animación, simulación y completa solución de renderización para juegos, películas y artistas gráficos en movimiento.

Es un programa que lleva mucho tiempo en el mercado y se ha convertido en una herramienta imprescindible para programadores de videojuegos, de escenografías de cine o incluso para la arquitectura.

Se define como uno de los programas más completos de modelado 3D por tener una gama de funciones muy amplia: posee funciones para el modelado de objetos paramétricos y orgánicos, así como modelado a partir de polígonos o superficies NURBS.

Una de sus principales características es el potente paquete de renderizado con el que se pueden obtener resultados profesionales. Además, cuenta con una tecnología de optimización del modelo de manera que reduce su complejidad ayudando a organizar mejor la información.<sup>[8]</sup>

También utiliza el concepto de modificadores y parámetros de cable para controlar su geometría y le da al usuario la capacidad de escritura de su funcionalidad mediante el MAXScript como los lenguajes de programación Python.

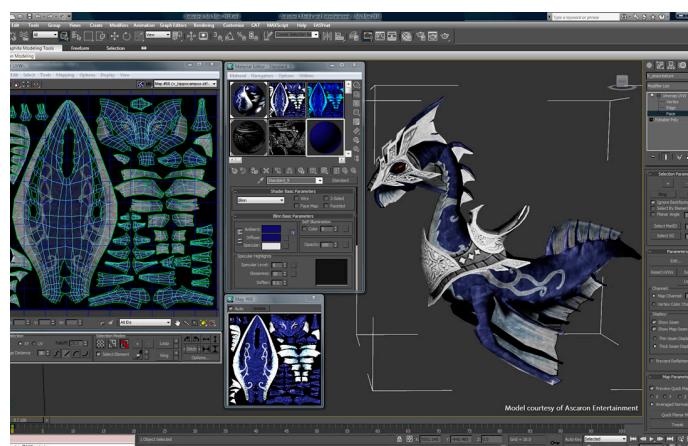


Fig.11 - Captura de pantalla del software Autodesk 3DS Max.

## AUTODESK REVIT

El software de diseño de edificios Revit® ha sido concebido específicamente para aprovechar la tecnología BIM (Building Information Modeling) e incluye funciones de diseño arquitectónico, de construcción, de ingeniería estructural y MEP.<sup>[9]</sup>

Permite construir modelos tridimensionales paramétricos a partir de información geométrica y no geométrica (sobre el diseño y la construcción).

Entre sus características principales destacan su naturaleza paramétrica, lo que significa que un cambio en un elemento del modelado se propaga automáticamente manteniendo consistentes todos sus componentes.

Además, posee diversas funciones que permiten coordinar un equipo para que trabaje sobre el mismo modelo, actualizándolo con cada cambio y favoreciendo la colaboración entre los equipos de diseño.

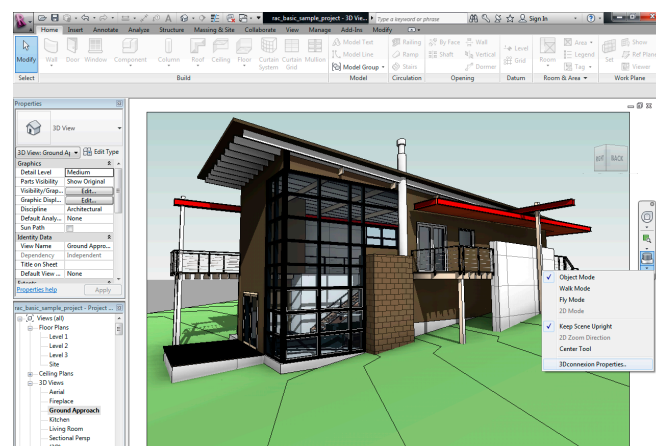


Fig.12 - Captura de pantalla del software Autodesk Revit.



## RHINOCEROS + GRASSHOPPER

Rhinoceros en sí mismo no es un software paramétrico. Se trata de un extenso programa de generación de geometría tridimensional, contando con una enorme variedad de herramientas. Es compatible con los tres tipos de geometría principales: Sólidos, NURBS y Polígonos.<sup>[10]</sup>

Actualmente está muy extendido y sus aplicaciones son muy variadas pero donde más generalizado está su uso es en el mundo del diseño. Como en la mayoría de los software de este estilo, la geometría que se crea está basada en su descripción matemática, lo que es importante desde el punto de vista de la fabricación.

Una de sus principales ventajas es que posibilita la generación de formas y superficies enrevesadas complejas. Se especializa en el modelado libre mediante NURBS.

Por otro lado, es un programa que admite muchos formatos, permitiendo romper las barreras de compatibilidad entre programas durante el desarrollo del diseño, por lo que se ha convertido en

un referente en el software CAD.

A pesar de estar programado pensando en el usuario y con el objetivo de disminuir la curva de aprendizaje del programa, dispone de una gran variedad de plugins que lo complementan y lo pueden complicar en gran medida. Esta es sin duda otra de sus grandes ventajas, ya que lo convierten en una herramienta muy completa. El amplio catálogo de extensiones del que dispone permite personalizar al usuario la funcionalidad según sus necesidades.

Uno de los plug-ins que más relevancia tienen es Grasshopper (**Fig.13**), con el que se consigue dotar a Rhinoceros de esa naturaleza paramétrica de la que carecía.

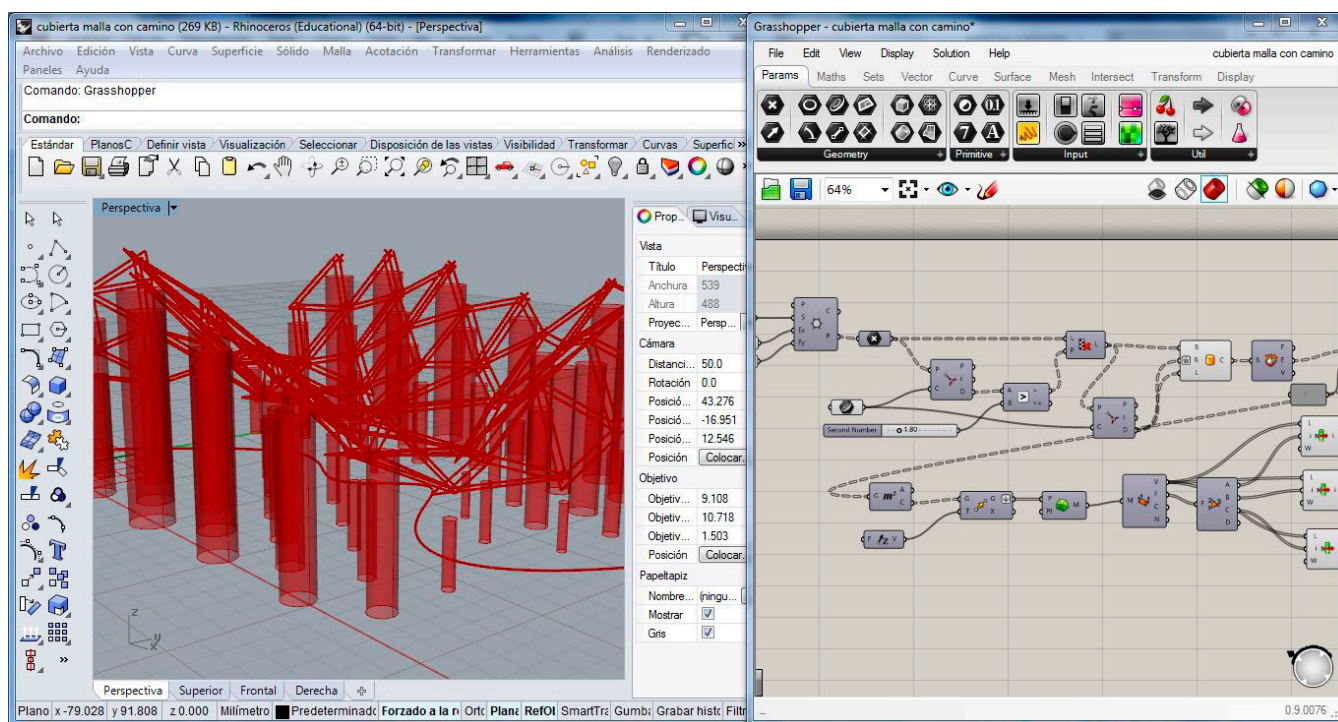


Fig.13 - Captura de pantalla del entorno de trabajo de Rhinoceros y Grasshopper.

## 1.2.2 COMPRESIÓN DE LA HERRAMIENTA

El proyecto se realice en su mayor parte usando Rhinoceros+Grasshopper. Esta decisión se fundamenta en varios motivos:

En primer lugar, **se trata de una herramienta relativamente novedosa**. Su fecha de creación es de 2007 y hoy en día está aún en desarrollo, por ello la descarga de su versión beta es gratuita y de código libre. Alrededor de Grasshopper y el diseño paramétrico se lleva creando una corriente de divulgación de sus ventajas y posibilidades. Esta es una características muy llamativa ya que lo que se busca en este proyecto es la innovación y el aprendizaje de nuevas herramientas de diseño.

Por otro lado, **se trata de una de las herramientas de modelado más versátiles que existen actualmente**. Rhinoceros de por sí es un programa reconocido por su libertad en la generación de formas, lo que sumado al funcionamiento de Grasshopper proporciona una infinidad de posibilidades.

Esto es debido a la naturaleza de Grasshopper, ya que se trata de un lenguaje de programación visual, lo que quiere decir que el modelo se puede controlar mediante la programación de un algoritmo, lo que le da dicha versatilidad en el modelado. Programas como Autodesk Inventor tienen muchas posibilidades en cuanto al control de los modelados mediante el uso de parámetros, sin embargo esto está restringido en cierto modo, mientras que en Grasshopper la libertad que supone programar el código uno mismo es absoluta.

### ¿Cómo funciona?

Grasshopper ofrece un interfaz basado en un lenguaje de programación visual que utiliza el concepto de componente.(Fig.14) Esto quiere decir que permite crear algoritmos pero con una interfaz amable al usuario. Este es un aspecto muy importante ya que se trata de una herramienta destinada a diseñadores y arquitectos, por lo que todo aquello que sea facilitar su uso y evitar lenguajes de programación complejos es una ventaja. No obstante, se recomienda tener alguna noción de programación y de diseño de algoritmos de cara a la comprensión de la herramienta.

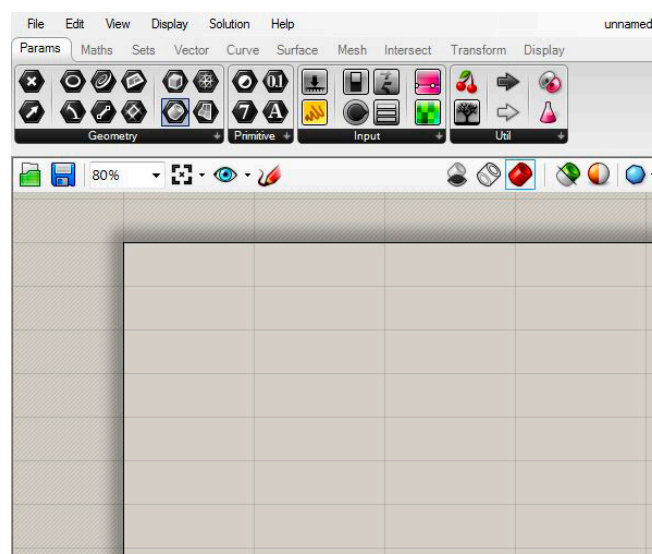


Fig.14 - Lienzo de trabajo de Grasshopper.

Un algoritmo de Grasshopper está construido a base de componentes. Un componente es un elemento que transforma, interpreta o analiza unos datos de entrada, devolviendo unos datos de salida: inputs y outputs.(Fig.11)

Los **inputs** son los datos y parámetros de entrada sobre los que el componente necesita trabajar.

Los **outputs** es la información que devuelve el componente después de haber analizado/transformado los inputs.

Para construir un algoritmo se empieza por uno o varios datos de entrada, es decir, un elemento/valor sobre el que empezar a construir una lógica. A partir de ese elemento inicial se añaden componentes.

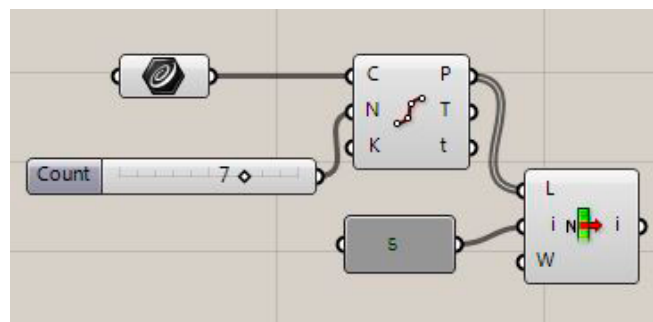


Fig.15 - Componentes de Grasshopper. Inputs a la izquierda y outputs a la derecha de cada componente. Definición con una curva como parámetro inicial, un componente que la divide en 7 puntos y la extracción del punto número quinto con el componente "list item".

Existe una gran variedad de componentes y cada uno tiene una función concreta. Los componentes permiten analizar geometrías, transformarlas, incluir razones matemáticas o manejar enormes colecciones de datos.

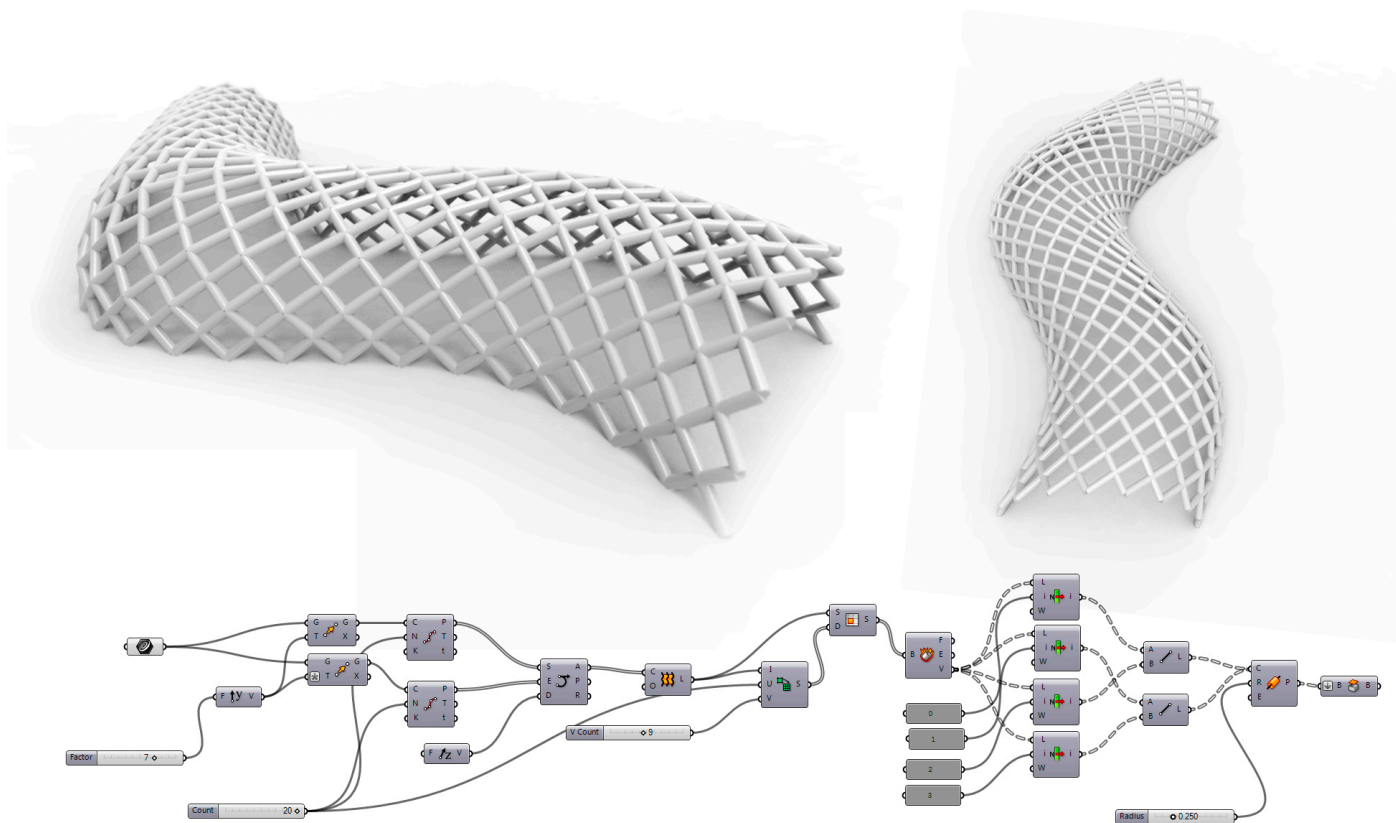
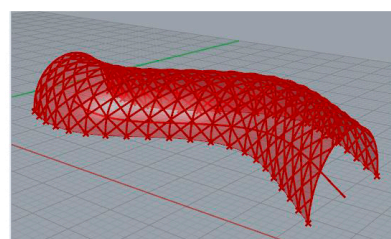
Gracias a la unión de varios componentes se puede modelar de forma paramétrica, siendo los inputs de esa definición dependientes de los parámetros iniciales.

De esta forma se crean largas cadenas de componentes, todo lo extensas que se desee

en función de la complejidad que se quiera alcanzar en el modelo. Esto puede llegar a ser un inconveniente por tener que procesar tanta información de forma lineal.

Conociendo la base de partida, se realizaron pruebas para la construcción de las primeras lógicas a partir de tutoriales y experimentación propia.

Uno de los primeros algoritmos con el que se practicó es el que se ve a continuación. (**Fig. 16**) En él, se construye una estructura de barras que



**Fig.16** - Definición de Grasshopper con render de los resultados. Definición original propia.



depende de una curva que se dibuja en Rhinoceros. La definición que se observa en la imagen anterior coge la curva dibujada y la mueve hacia los lados, creando un camino. Después, divide las curvas desplazadas en varios tramos para obtener puntos sobre la curva, separados a la misma distancia.

Con los puntos creados en las curvas laterales se genera una serie de arcos transversales, los cuales uniéndolos forman una superficie. Esa superficie se puede dividir en una serie de rectángulos que la conforman (una malla), y a partir de los puntos de esos pequeños rectángulos se puede generar la estructura alámbrica triangular uniendo las esquinas.

Los parámetros que controlan esa definición son la curva, que puede adoptar cualquier forma, y el radio de las barras.

En la siguiente imagen se observa otro ejercicio. **(Fig.17)**. Esta definición permite generar el exterior de un edificio y el parámetro inicial es la geometría base del edificio. Esto quiere decir que si dibujamos en Rhinoceros un pentágono, el edificio tendrá forma pentagonal.

A partir de la curva inicial, se va extruyendo y desfasando para crear el volumen. Los huecos de las ventanas se crean dividiendo cada una de las caras del edificio en en el eje "x" y en el eje "y".

El modelo tiene una serie de parámetros numéricos que controlan aspectos como el número de pisos, la altura de cada uno de ellos, la cantidad de ventanas en el eje horizontal y en el eje vertical, etc.

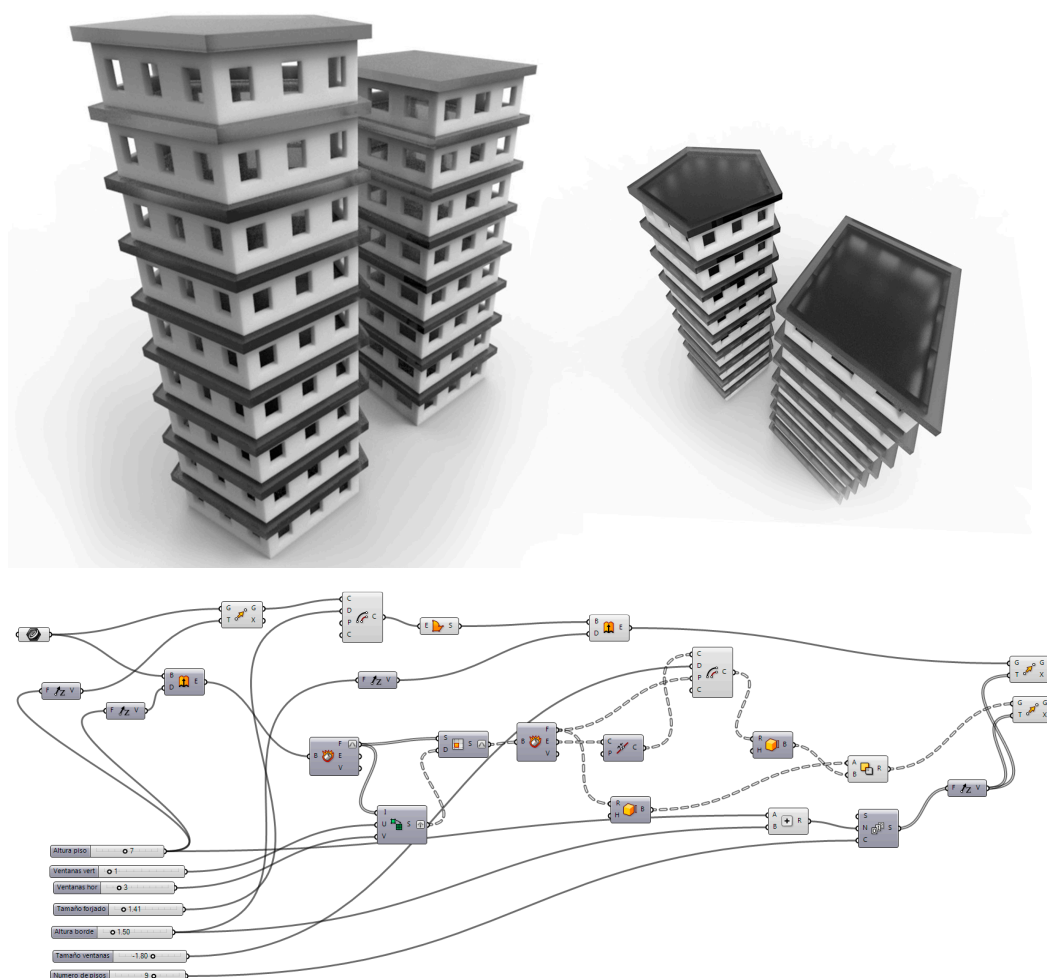


Fig.17 - Definición de Grasshopper, modelado de un edificio con render de los resultados. Definición original propia.

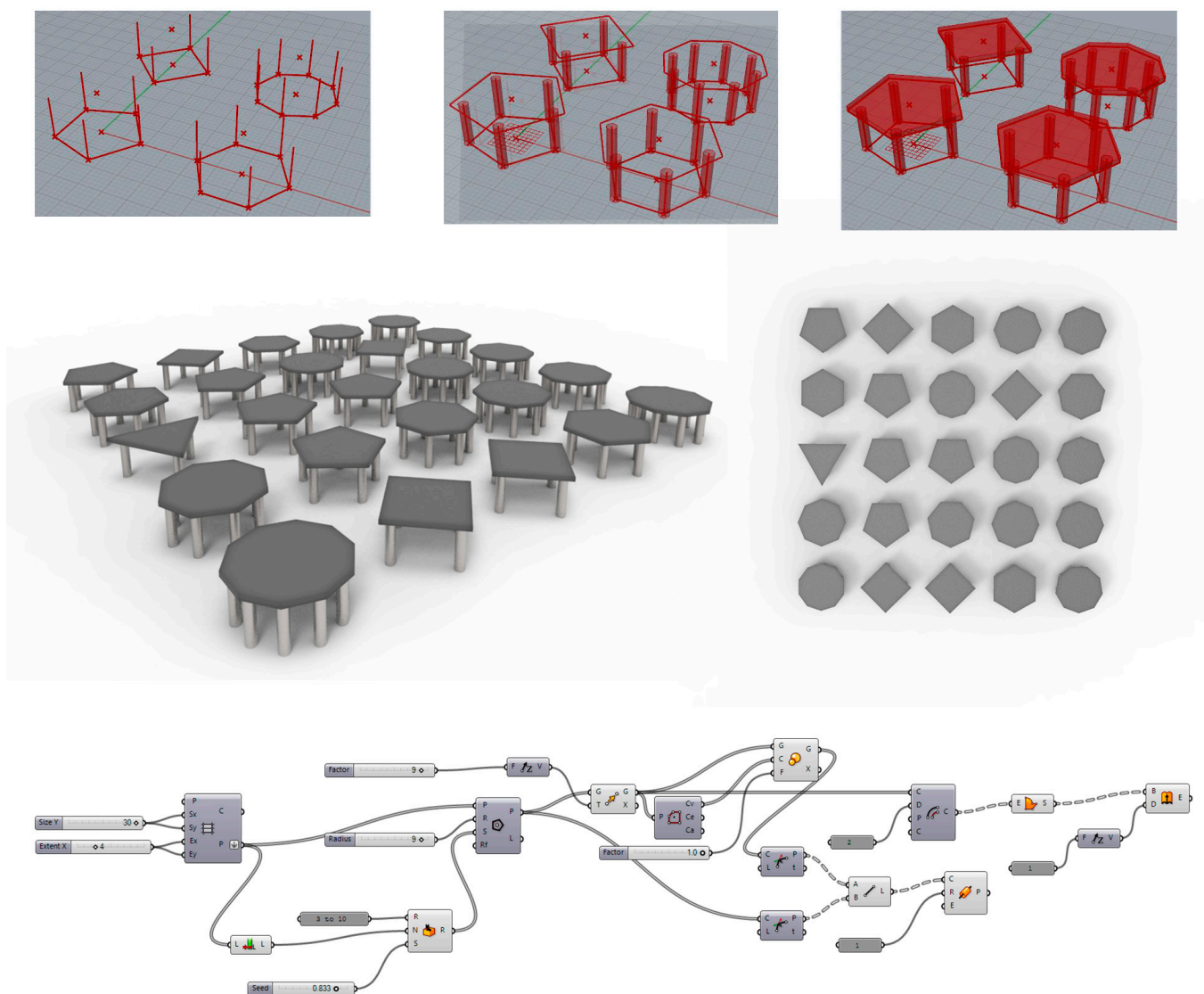
A medida que se va avanzando en la comprensión del programa se empieza a ver la libertad que deja al usuario. Para conseguir un objetivo hay muchos caminos posibles combinando diferentes componentes y decidir qué camino seguir es importante ya que repercutirá en la forma en que se distribuirán los datos y sobre todo en la velocidad de procesamiento.

Combiene optimizar recursos y evitar dar grandes rodeos pudiendo conseguir el mismo resultado con muchos menos componentes. Ese criterio de selección del camino más óptimo se va adquiriendo, claro está, con práctica.

En la siguiente definición (**Fig.18**), realizada siguiendo un ejercicio práctico de un curso de Grasshopper impartido en ControlMad, se generan mesas cuya geometría varía de forma aleatoria.

Inicialmente, se crea una red rectangular y en los vértices de esa red se sitúan polígonos cuyo número de lados es aleatorio. A partir de las esquinas de los polígonos se crean las patas de la mesa, mientras que el tablero es una simple extrusión.

Es interesante que en este algoritmo no se requiere un elemento de partida dibujado en Rhinoceros,



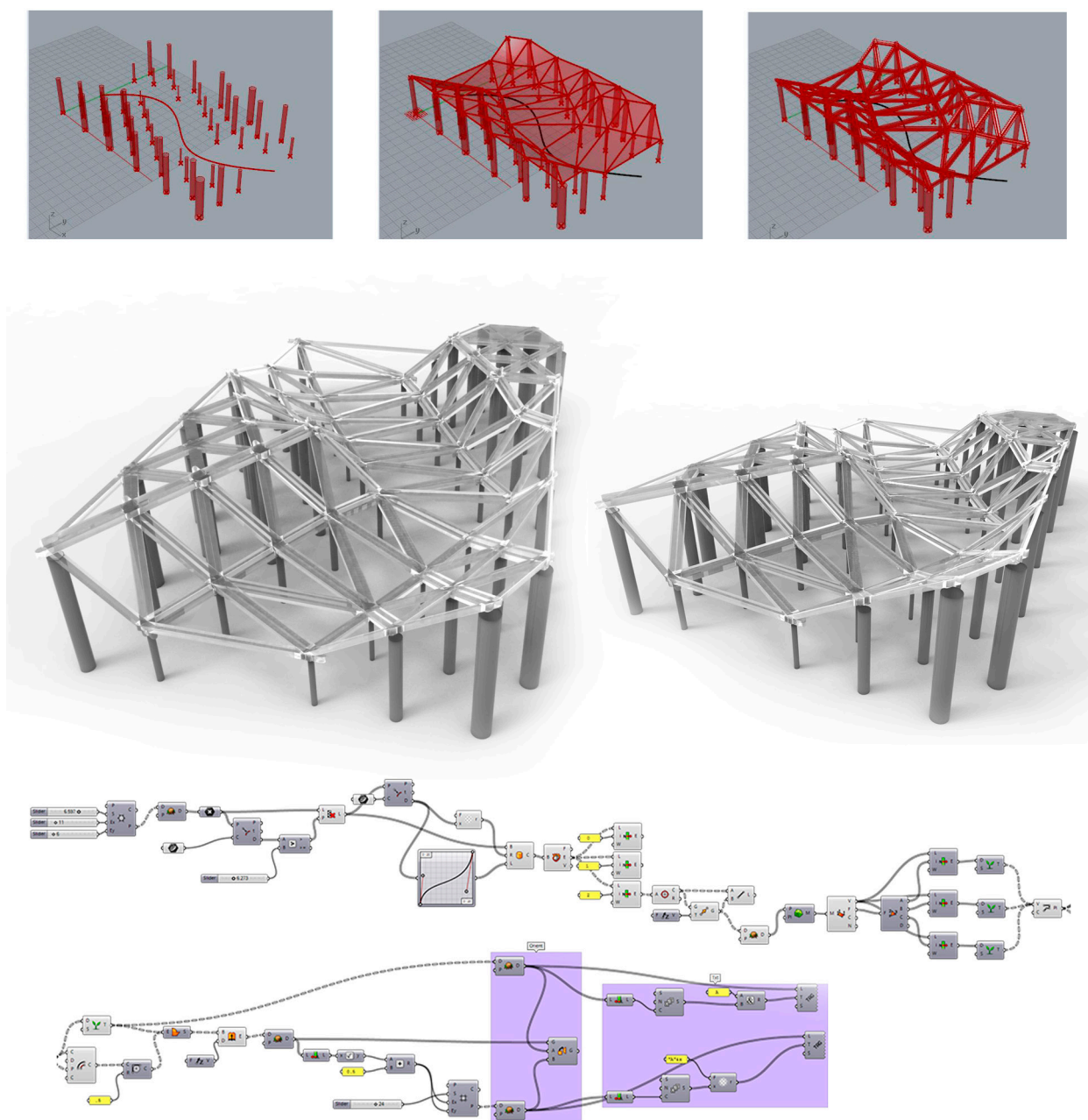
**Fig.18** - Definición de Grasshopper obtenida de un ejercicio práctico de Grasshopper impartido por ControlMad.  
www.controlmad.com

sino que la geometría se genera exclusivamente en Grasshopper.

En el siguiente ejercicio (**Fig.19**) se ponen en práctica varias herramientas del plug-in que son fundamentales. Una de ellas es lo que se conoce como "attractor": se trata de un elemento geométrico que rige el comportamiento de un modelo en función de su posición y de la distancia al resto de elementos.

En este caso, se dibuja una curva inicial que será el attractor, de tal manera que crea un camino eliminando todos los elementos que tienen una distancia a él menor de "x" (aquellos elementos que se encuentran cerca son suprimidos). De igual forma, la altura y radio de los cilindros depende de dicha curva y su distancia a cada uno de ellos.

Después, a partir de los cilindros creados, se crea una malla poligonal que se descompone en una serie de triángulos.



**Fig.19** - Definición de Grasshopper obtenida de un ejercicio práctico impartido por ControlMad.  
[www.controlmad.com](http://www.controlmad.com)

Con esta definición es posible además coger cada uno de esos triángulos y ordenarlos en una lista numerada, controlando así cada elemento de forma independiente.

Hasta aquí se ha visto una selección de algunos ejercicios realizados con su correspondiente explicación. Para poder controlar bien la herramienta se siguieron tutoriales en vídeo y manuales on-line que se referencian a continuación:

-Foros y tutoriales de [www.grasshopper3d.com](http://www.grasshopper3d.com)

-Manual de Grasshopper en español (Andrew Payne y Rajaa Issa, traducido por Francisco Calvo y Katherine Cáceres)

-Vídeos del canal: <https://www.youtube.com/user/nsenske>

-Manual de Grasshopper Nivel 1 y Nivel 2, por frikearq.com Link: [http://issuu.com/frikearq/docs/cursogh\\_nivel\\_1\\_manual](http://issuu.com/frikearq/docs/cursogh_nivel_1_manual)

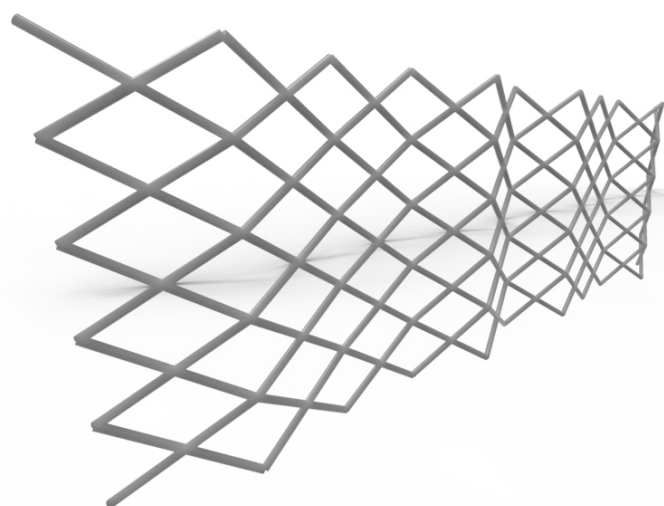
-Ejercicios prácticos de cursos impartidos en ControlMad. [www.controlmad.com](http://www.controlmad.com)

-Tutoriales y ejercicios de <http://exlab.org/2011/09/grasshopper-resources/>

-Vídeos de [www.youtube.com](http://www.youtube.com) en general para la resolución de dudas concretas.

Una vez se tiene un modelado con un nivel de complejidad medio, como el ejercicio visto en la página anterior, ¿cómo se fabrica?

Este aspecto es el que se tratará en el siguiente apartado.



**Fig.20** - Algunas geometrías de prueba realizadas durante la fase de aprendizaje



## 1.3 FABRICACIÓN DIGITAL

*La fabricación digital es como se conoce al proceso de diseñar y a la vez definir los procesos de fabricación. Dicho de otro modo, lo que se visualiza en el modelo es lo que se va a fabricar.*



**Fig. 21** - Metropol Parasol, en la Plaza de la Encarnación en Sevilla. Estructura realizada aplicando conceptos de fabricación digital. Realizado por el arquitecto Jürgen Mayer con la colaboración de Arup.

Consiste en el uso de un sistema digital integrado que permite visualizar en tres dimensiones, con un programa CAD, aquello que se está diseñando, analizarlo y crear definiciones de producto para luego poder materializarlo gracias a la tecnología de las máquinas CNC y los software CAM (Computer Assisted Manufacturing).

La automatización CNC le confiere a las máquinas la capacidad de interpretar los modelos 3D y traducirlos a una serie de parámetros físicos controlados electrónicamente como velocidad, movimiento, potencia y situación espacial.

Con la fabricación digital el proceso de materialización se hace directamente entre el diseño digital y la maquinaria de fabricación, eliminándose pasos intermedios y dándole a los diseñadores control inmediato sobre el resultado final.<sup>[11]</sup>

### APLICACIÓN

La fabricación digital se usa en campos muy variados como el diseño, la arquitectura (**Fig.21**), ingeniería o incluso arte.

Una de las aplicaciones más conocidas es la de fabricación de prototipos para su evaluación de forma empírica. Poder visualizar aquello que se está diseñando en fases más tempranas del proyecto supone muchas ventajas en cuanto a la calidad del diseño, ya que se comprueba de forma tangible su funcionalidad y se comprueban los posibles errores en el modelo.

Si bien el prototipado es uno de los usos más conocidos y extendidos (**Fig.22**), la fabricación digital no se queda ahí. Se usa cada vez más a menudo en la arquitectura y en el diseño de



espacios, así como en la generación de complejos métodos constructivos. Más adelante se verán proyectos en los que se usan estas prácticas.

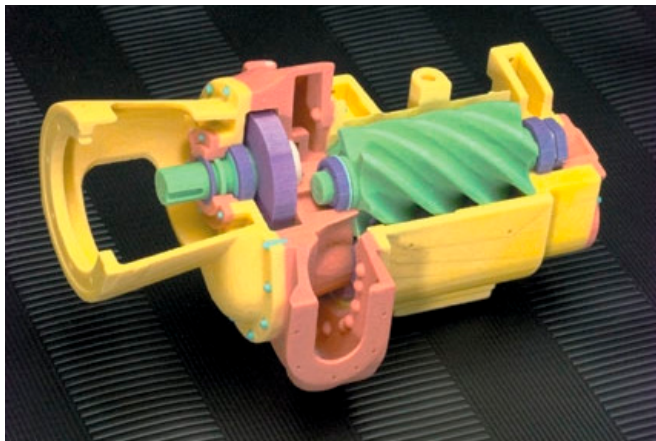


Fig. 22 - Prototipo de un mecanismo mediante impresión 3D.

## BENEFICIOS

Ayuda a las empresas a mejorar en productividad, mejorando en la planificación y en los procesos de fabricación.

Su uso permite una mejor gestión de la información, ya que existe un modelo CAD sobre el que se trabaja y que, como se decía anteriormente, aquello que se ve es aquello que se fabrica. Esto significa que los diseñadores adquieren una gran responsabilidad, y el modelado 3D se convierte en el centro de todo el trabajo y el proceso de diseño, permitiendo a los diferentes departamentos de una empresa coordinarse de una forma más eficiente.

Ayuda además a una mejor gestión de los recursos, centralizando en el modelo aquellos aspectos de diseño como la planificación de la fabricación o la generación de documentación. Además, al tratarse muchas veces de un proceso automático no se deja lugar al error humano: se fabrica más rápido y haciendo hincapié en la optimización.

No obstante, no se puede aplicar a cualquier ámbito industrial y depende de varios factores.

## PASOS EN LA FABRICACIÓN DIGITAL

**DIGITALIZACIÓN:** es la acción de convertir en información digital la información analógica.

**OPTIMIZACIÓN:** buscar la mejor alternativa de para obtener un desgaste mínimo de material y un ahorro de recursos.

**POST-PROCESADO:** herramienta de traducción que transforme la información digital en un lenguaje comprensible por una máquina de fabricación digital.

**MAQUINADO:** fabricación con máquinas controladas digitalmente.

**ENSAMBLE:** unión de piezas no estandarizadas y fabricadas de forma automática para lograr composiciones complejas por medio de lógicas simples.

**ACABADO:** perfeccionamiento del resultado final para así darle más durabilidad y estética al proyecto.

### 1.3.1 MÁQUINAS CNC

El funcionamiento de estas máquinas se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado por un ordenador<sup>[12]</sup>. De esta forma se pueden hacer movimientos que no se podrían conseguir manualmente como círculos perfectos o complicadas figuras tridimensionales.

Las primeras máquinas de control numérico se datan a mitades del siglo XX, cuando se automatizó por primera vez una fresadora. Por entonces, una computadora ocupaba mucho espacio y su capacidad de procesamiento era muy escasa. Hoy en día, gracias a los avances en la electrónica, se ha conseguido automatizar cualquier tipo de máquina: fresadoras, tornos, rectificadoras, etc.

El nombre de “control numérico” se debe a que las órdenes que se le dan a la máquina son una serie de códigos numéricos que ella interpreta y traduce en parámetros físicos como velocidad o posición.<sup>[13]</sup> El conjunto de códigos numéricos que se le dan a una máquina CNC en una fase del mecanizado es lo que se conoce como bloque o secuencia. Toda la información necesaria para que la máquina mecanice una pieza es el **programa de mecanizado**.

Algunos ejemplos de los códigos que se usan en un programa de mecanizado:

G00: El trayecto programado se realiza a la máxima velocidad posible, es decir, a la velocidad de desplazamiento en rápido.

G01: Los ejes se gobiernan de tal forma que la herramienta se mueve a lo largo de una línea recta.

G02: Interpolación circular en sentido horario.

G33: Indica ciclo automático de roscado.

Por ejemplo, si queremos que la herramienta de la máquina recorra una línea recta horizontal de 10mm, el código correspondiente sería G01 X10.0.

Los programas **CAM** (Computer Assisted Manufacturing) son los encargados de traducir la información digital que se proporciona desde el modelo 3D a lenguaje comprensible por la máquina, es decir, elabora el programa de mecanizado automáticamente.

Por lo general, las máquinas CNC se clasifican en dos grandes grupos: **aditivas** y **sustractivas**.

Las **aditivas** son las que generan un volumen agregando material y creando la pieza desde cero, añadiendo capas de material muy finas.

Las **sustractivas**, por el contrario, eliminan material de bloques grandes para quedarse con la forma final.

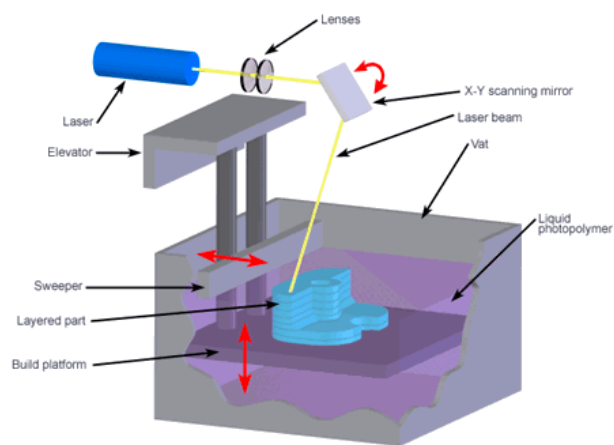
## MÁQUINAS CNC ADITIVAS

### Estereolitografía o SLA

Se trata de una de las técnicas más antiguas de prototipado y fabricación rápida. Consiste en la solidificación de una resina (o fotopolímero) cuando le incide un láser de luz ultravioleta. Se tiene un tanque lleno de la resina en estado líquido (**Fig.23**) y el láser va incidiendo sobre las zonas que se quieren solidificar, formando finas capas que se superponen y componen el volumen final.

Usar esta técnica requiere prestar atención a la estabilidad del modelo porque el volumen se va creando de abajo a arriba, por lo que conviene prepararlo bien y situar si fuese necesario alguna columna que soporte el modelo debido a que la resina se encuentra en estado líquido en el momento de su fabricación y podría caer por su propio peso.

Para obtener mejores características mecánicas se somete al modelo a un post-curado en un horno de rayos UVA.



Copyright © 2008 CustomPartNet

**Fig. 23** - Esquema de funcionamiento de una máquina de Estereolitografía.

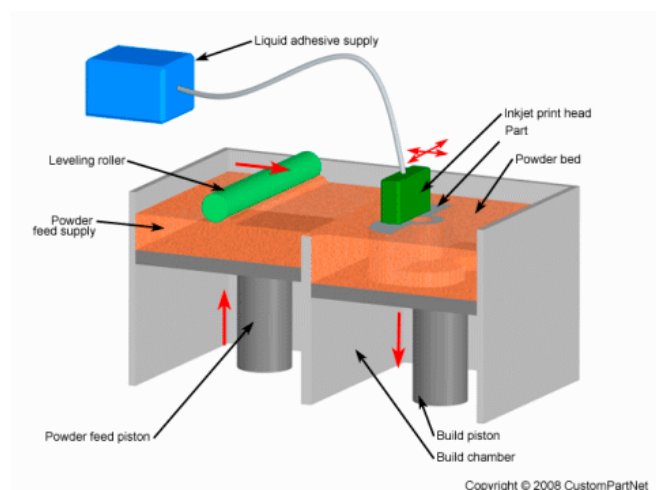
### SLS ( *Selective Laser Sintering* - Sinterización Selectiva por Láser)

Es una técnica parecida a la Estereolitografía ya que posee un láser (**Fig.24**), solo que en esta ocasión el láser no solidifica un líquido sino que sinteriza polvo de plástico.<sup>[14]</sup> Además, se trata de un láser con mayor potencia.

La generación del volumen se hace de igual forma que con la estereolitografía mediante la superposición de capas muy finas.

Una de las diferencias más importantes es que las piezas conformadas mediante SLS presentan, por lo general, mayor resistencia mecánica y térmica (soportan mayores temperaturas). Sin embargo, suelen requerir de un mayor proceso de acabado y hay más probabilidad de que aparezcan distorsiones o porosidades.

La gran ventaja que tiene es que se puede imprimir en diferentes materiales: polímeros(nailon, poliestireno), metales (acero, titanio, aleaciones), compuestos, etc.



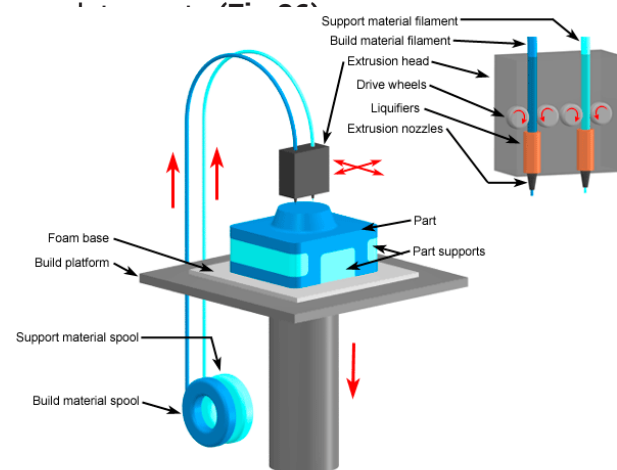
**Fig. 24** - Esquema de funcionamiento de una impresora 3D SLS.

### FDM ( *Fused Deposition Modeling* - Modelado por Deposición Fundida)

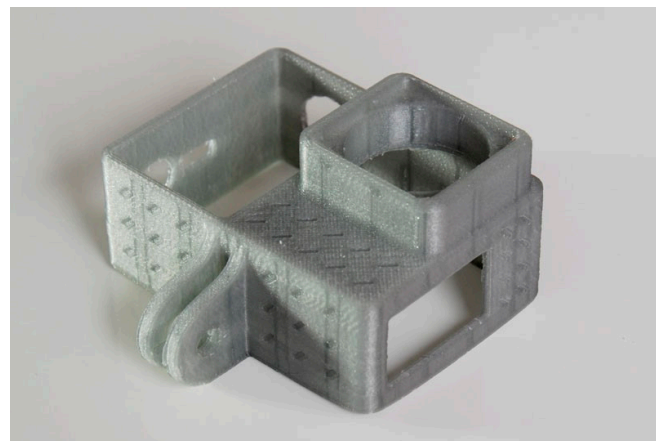
Las impresoras FDM funcionan calentando un material termoplástico que después extruyen por una boquilla en un cabezal <sup>[15]</sup>. El cabezal se mueve en los 3 ejes controlado por el ordenador. El cabezal se va desplazando mientras va extruyendo el material plástico, formando la pieza capa por capa. El material termoplástico se va suministrando en forma de filamento al cabezal extrusor.

Este tipo de impresión requiere de un material de soporte que cree una estructura estable para aquellas geometrías que carecen de apoyo en la dirección de la construcción.

Una vez terminada la impresión 3D se retira el material de soporte rompiéndolo o disolviéndolo



**Fig. 25** - Esquema de funcionamiento de una impresora 3D FDM.



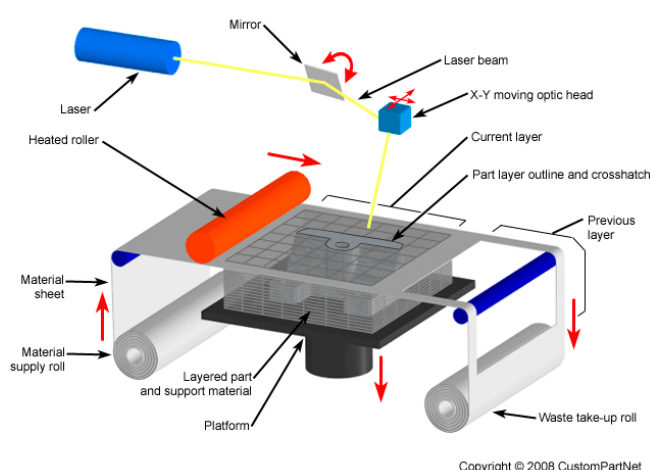
**Fig. 26** - Pieza impresa usando la tecnología FDM.

## LOM (Laminated Object Manufacturing - Fabricación por objeto laminado)

Este sistema se sirve de capas de papel, plástico o metal laminado recubiertas de un adhesivo, que se van cortando con una forma determinada mediante una cuchilla o una cortadora láser para luego pegarlas una encima de otra y componer el volumen final (**Fig.27**).

Es una de las herramientas de prototipado rápido más baratas por servirse de una materia prima cotidiana y económica.

La precisión dimensional es peor que cualquiera de los métodos vistos anteriormente pero no requiere de un proceso de acabado una vez terminada la pieza.



**Fig. 27** - Esquema de funcionamiento de una impresora 3D LOM

## MÁQUINAS CNC SUSTRATIVAS

### Router CNC

Consiste en modelar una pieza mediante el corte o desbaste de un bloque usando una herramienta de corte o fresa que va arrancando material. La herramienta de corte se encuentra en un cabezal que puede desplazarse en 3 dimensiones libremente mediante la combinación de varios ejes. Existen routers de 3, 4 y 5 ejes (**Fig.28 y 29**), lo que permite a la máquina generar formas muy complejas.

Es una de las formas de fabricación digital más utilizada (recordemos que la fresadora fue de las primeras máquinas en ser automatizada). Tiene la ventaja de que el material en el que se fabrica no cambia de estado y sus propiedades se mantienen, además es un método más barato que una impresión 3D aunque hay que tener en cuenta el tratamiento de todo el material sobrante.

Este tipo de máquinas pueden presentar alguna limitación en geometrías excesivamente complejas que ni un router de 5 ejes podría fabricarlas.



**Fig. 28** - Router CNC de 3 ejes.



**Fig. 29** - Router CNC de 5 ejes.



## Corte con Láser

El corte con láser es un proceso de fabricación que se caracteriza por el uso de un láser, es decir, un intenso haz de luz concentrado que es capaz de calentar el material hasta fundirlo y crear así un recorte en la pieza. El láser se dirige a la pieza mediante un sistema de espejos y una lente de enfoque. Se usa sobre todo para corte de chapa metálica y requiere de un gas que evacúe el material cortado.

Se mueve en dos ejes (X,Y) y se usa para el corte de láminas de madera, acrílicos, metales, telas, etc.

Es una herramienta de precisión en la que no hay contacto mecánico con la pieza, aunque le afecta térmicamente. En este sentido hay que cuidar bien la graduación del láser para no dejar rebaba en el caso de la chapa.



Fig. 30 - Máquina de corte láser.

## Corte por plasma

El fundamento del corte por plasma se basa en elevar la temperatura del material a cortar de forma muy localizada por encima de 20.000°C, consiguiendo alcanzar el estado de "plasma", estado en el que los electrones se disocian del átomo.

Es decir, consiste en la acción mecánica y térmica de un chorro de gas calentado por un arco eléctrico, que al alcanzar tal temperatura permite cortar la pieza (Fig.31).

De igual forma que con las demás máquinas CNC, la salida del chorro de plasma está controlada por un ordenador que lo mueve en función de las coordenadas que se le den desde el programa de mecanizado.

Está destinado al corte de material metálico conductor, consiguiendo un corte con un acabado muy bueno y de gran precisión sin afectar a la pieza térmicamente.

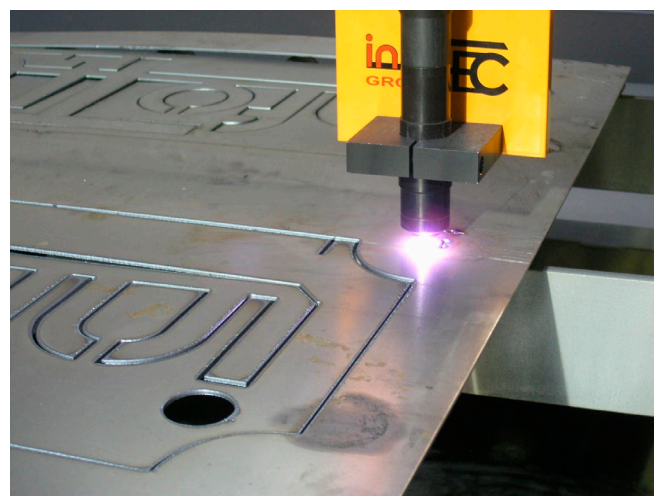


Fig. 31 - Corte por plasma mediante centro de mecanizado CNC

## Corte por chorro de agua

El corte por chorro de agua tiene una naturaleza similar al corte por láser: se tiene un cabezal que se desplaza en 2 ejes y que va dibujando la forma del corte.

Sin embargo, el corte se produce por el impacto de un chorro de agua a alta presión contra el material. Es una herramienta muy versátil y su aplicación abarca muchos ámbitos industriales.

En concreto, tiene la importante ventaja de trabajar en frío lo que supone algo muy positivo para piezas que no pueden sufrir cambios térmicos intensos. Además, genera un corte muy preciso, sin necesidad de acabado y pudiendo cortar espesores más anchos que los que se consiguen con el láser.

### 1.3.2 FAB LABS

Un fab lab es un centro de fabricación de objetos físicos a partir de maquinaria CNC<sup>[16]</sup>. Son laboratorios dedicados a la divulgación y experimentación de la fabricación digital y cuentan con las máquinas necesarias para fabricar casi cualquier cosa. La particularidad de estos centros es la vinculación con la sociedad, ya que su objetivo es estar a disposición del ciudadano y que cualquier persona pueda fabricar algo usando máquinas que de normal no tendría a su alcance.

El concepto de Fab lab nace en el año 2000 en el Centro de Bits & Atoms del MIT y de la mano de su director, el profesor Neil Gershenfeld, que investiga la relación entre el mundo digital y el mundo físico y cómo se puede digitalizar la producción.<sup>[17]</sup> El proyecto, cuyo objetivo era llevar las nuevas tecnologías a la gente corriente, derivó en la construcción del primer Fab lab en Boston. Hoy en día se estima que existen alrededor de 200 centros de fabricación digital, repartidos en más de 40 países, y con muchos más por abrir. En España hay una docena situados en ciudades como Barcelona (**Fig.32**), Madrid, Sevilla, Valencia o León.

En estos centros disponen de fresadoras automáticas de 3 y 5 ejes, de máquinas de corte

láser y de impresoras 3D de diferentes tipos. La idea es aquella de poseer todo lo necesario para poder fabricar cualquier modelo 3D que pueda llevar una persona corriente, solucionando problemas cotidianos y llevando la producción digital a la población. Por ello, la filosofía de los Fab labs es estar a disposición de la gente, con precios económicos y explicando los principios de la automatización de la fabricación. Dicho de otra forma, los Fab labs abren el camino hacia la fabricación personal y la producción se relocaliza hacia el empoderamiento del usuario, es decir, permiten a las personas apropiarse de las técnicas de producción para crear algo que no existe o que desean producir.

Además de la accesibilidad a grandes máquinas CNC, se ofrecen talleres de aprendizaje, actividades y charlas acerca de modelados 3D, de aplicaciones y herramientas de fabricación digital, de programación y control de maquinaria, etc. siendo parte de la actividad de estos laboratorios dar a conocer las técnicas necesarias para el funcionamiento del propio Fablab y para poder fabricar aquello que se desee. Y no solo eso, sino que también se investiga y se innova, creando conocimiento que se comparte con el resto de Fab labs del mundo.

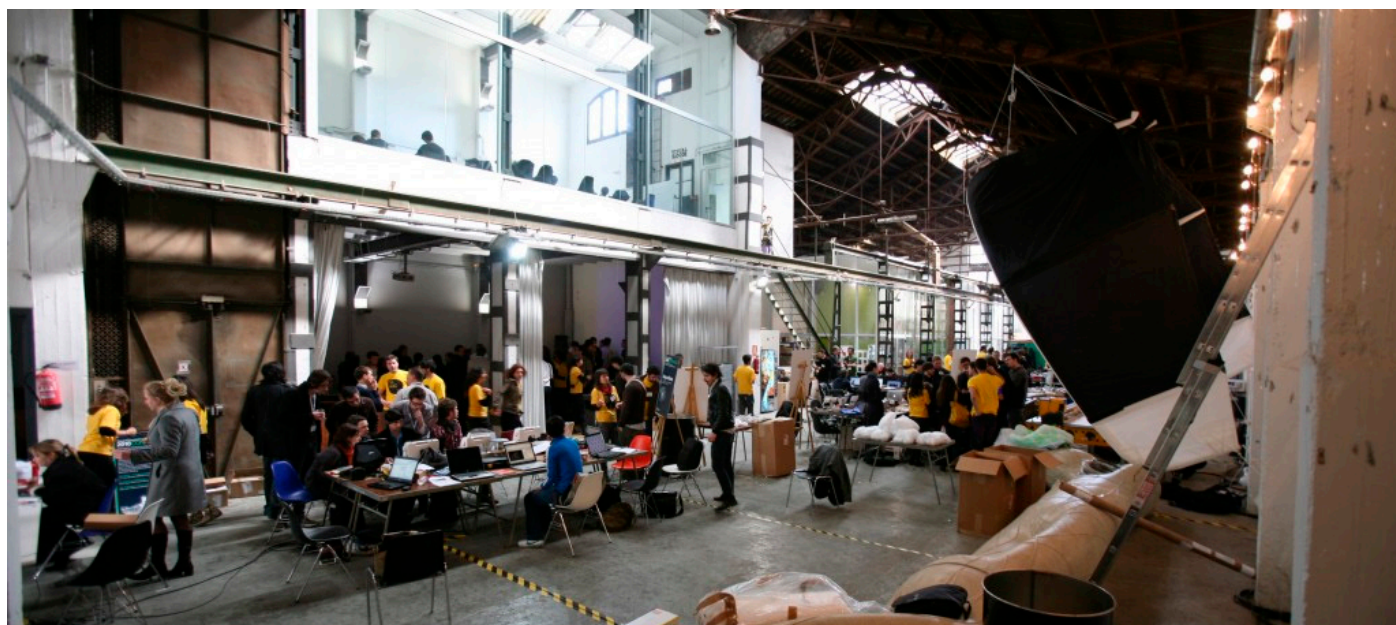


Fig. 32- Fab lab Barcelona.

### 1.3.3 MÉTODOS CONSTRUCTIVOS

Sabiendo en qué consiste la fabricación digital y como se materializa gracias a las máquinas CNC, se puede hablar de los diferentes modelos constructivos que se suelen aplicar a proyectos de diseño paramétrico.<sup>[18]</sup>

Los métodos constructivos principales son: seccionamiento, teselado, plegado, contorneado y entrelazado.

#### SECCIONES - CORTE 2D (Sectioning)

Consiste en la construcción de un volumen a partir de secciones planas. Estas secciones se obtienen cortando el sólido con sucesivos planos paralelos. La frecuencia y cantidad de secciones determinan el resultado final.

Se trata de una técnica muy eficaz a la hora de generar formas complicadas. Es una técnica usada numerosas veces en arquitectura, no solo actualmente, sino a lo largo de la historia. También es una técnica usada en el ámbito de la ingeniería, el diseño naval o la aeronáutica, y está íntimamente relacionada con la generación de estructuras y el reparto de cargas.

Conjuga bien con materiales de construcción convencionales ya que los materiales estándar suelen venir en láminas o chapas, y esta es una de sus principales ventajas: el trabajo en plano, o en dos dimensiones. Por lo general, las secciones se obtienen mediante una máquina de corte CNC como las vistas en el anterior apartado. Una máquina de corte láser convencional es capaz de cortar plástico (PP, PET, PC, PES, PA, etc.), gomas y caucho, cuero, madera y tableros de conglomerado e incluso metales, aunque en estos últimos se deja marca y los espesores a cortar son más limitados.

El láser no solo corta sino que puede grabar ciertos diseños sobre la superficie de la sección, lo que constituye una oportunidad a la hora de organizar, por ejemplo, un gran número de piezas usando un código específico grabado sobre ellas. Además, el corte CNC es un método de fabricación

eficiente, económico y rápido, lo que es muy importante para proyectos con plazos reducidos.

Esta técnica constructiva viene a representar, en cierto modo, una de las estrategias de trabajo y de resolución de problemas más conocidas: simplificar un problema grande en una serie de problemas pequeños. La estrategia de trabajo de la simplificación habla de tratar un problema que parece inabordable visto en su conjunto, abordando una parte más simple del mismo. Es un concepto abstracto y aplicable a muchas situaciones que sin embargo, a la hora de explicar el método de *sectioning*, se materializa de forma muy concreta: tenemos una estructura o forma de una determinada complejidad y dicha forma se descompone en una serie de formas simples, planas, que en su conjunto conforman el volumen final que se estaba buscando.

En el producto que aparece a continuación (**Fig.33**) nos encontramos con un ejemplo sencillo de seccionamiento. El volumen inicial que se pretendía conseguir es un paralelepípedo que se estrecha por el centro. Para ello, se ha dividido el volumen inicial en 16 secciones horizontales y 4 verticales. El objetivo es conseguir un diseño



**Fig. 33** - Lámpara fabricada usando el método constructivo de seccionamiento.



minimalista y que la luz se disipe obteniendo una luz ambiental cálida y suave.

Está fabricada en madera contrachapada de 3 mm de espesor y sus dimensiones generales son de 35x28x28cm. No es necesario ensamblarlo con ningún tipo de adhesivo ni tornillería.

En este caso, el número de secciones que se tiene y sus reducidas dimensiones no suponen ningún problema de fabricación ni a la hora de gestionar el material.

Sin embargo, en función de la complejidad del proyecto y del objetivo que se quiere alcanzar puede llegar a ser una técnica difícil de administrar, ya que se genera una gran cantidad de información al descomponer un conjunto en muchas secciones, las cuáles tratándose de algo complicado pueden variar mucho de una sección a otra. Por ejemplo, generando grandes estructuras con ondulaciones muy pronunciadas. Es en este aspecto donde Grasshopper resulta una herramienta muy potente y su aplicación en este campo se está extendiendo cada vez más.

La forma de aplicar esta descomposición en secciones depende del resultado que se quiera obtener y por lo general existen 3 lógicas de trabajo principales: **secciones paralelas**, **apilamiento** y **parrilla o waffle**.

**Secciones paralelas:** Este lógica es aplicable tanto en proyectos de escala pequeña, o tamaño a escala humana, hasta la construcción de grandes



Fig. 34- Vista interior del pabellón "Vaulted Cork". Foto realizada por Joao Morgado.

infraestructuras.

El pabellón Vaulted Cork (Fig.34,35) es un proyecto realizado por Pedro de Azambuja Varela, Maria

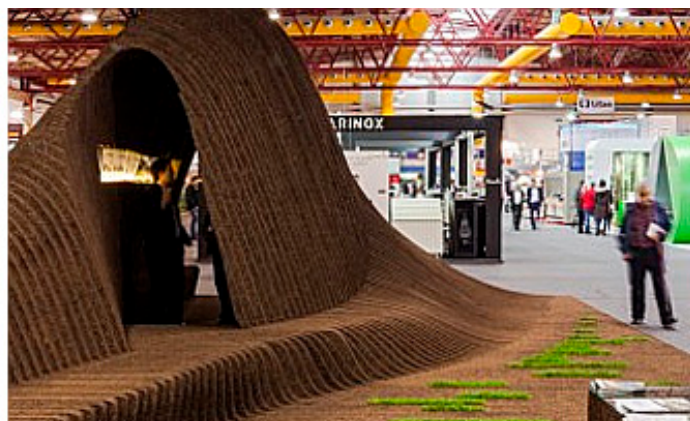


Fig. 35- Vistas generales del pabellón "Vaulted Cork". Fotos realizadas por Joao Morgado.





Fig. 36- Detalle de las ligeras variaciones entre una sección y otra. Fotos realizada por Joao Morgado.

João de Oliveira y Emmanuel Novo. Expuesto en la feria “Concreta 2013” y promovido por Amorim Isolamentos Lda.<sup>[19]</sup> Pretende plasmar una serie de investigaciones que realizaron los alumnos de un curso de Arquitectura Digital Avanzada en relación con las propiedades del corcho. Así, el pabellón muestra las cualidades tectónicas del corcho y las propiedades que presenta el material para crear bóvedas, utilizando un material translúcido compuesto con corcho y un sistema para la radiación y la optimización acústica. La forma crece desde el suelo y va creando una transición continua entre el suelo y el techo abovedado.

Es un proyecto que ejemplifica perfectamente la lógica de trabajo de las secciones paralelas. Queda claro que es una técnica bastante eficaz para generar geometrías que presenten bastante continuidad. En este caso se ha decidido que no haya separación entre una sección y otra, estando prácticamente pegadas. Esto sin duda contribuye a esa continuidad: cuantas más secciones, mayor sensación de suavidad en la transición pero más cantidad de material.

Por último, cabe destacar que se han alcanzado dimensiones bastante amplias a base de subdividir cada una de las secciones en más tramos, ya que difícilmente una máquina de corte láser podría abarcar tanto espacio. Se observa además que el espesor de las láminas es bastante ancho.

La lógica de trabajo del **apilamiento** consiste en poner una sección encima de otra para crear el volumen deseado. Es, básicamente, la lógica de

trabajo que se usa en la impresión 3D LOM vista en el apartado de las máquinas CNC. Recordemos que la forma de trabajo de esta impresora es cortar láminas del material e ir pegando esas capas una encima de otra.

En el apilamiento ocurre lo mismo, por lo que se trata de una técnica que necesita, por obligación, una frecuencia muy alta de secciones.

Se deduce que no es una práctica muy útil en según que situaciones ya que en función del tamaño con el que se trabaje el número de secciones puede suponer un problema. Es más adecuada para proyectos de pequeña-mediana envergadura.

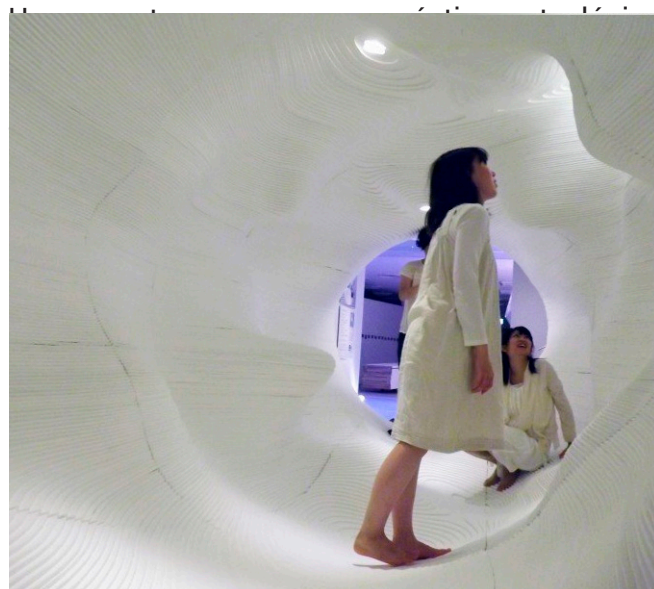
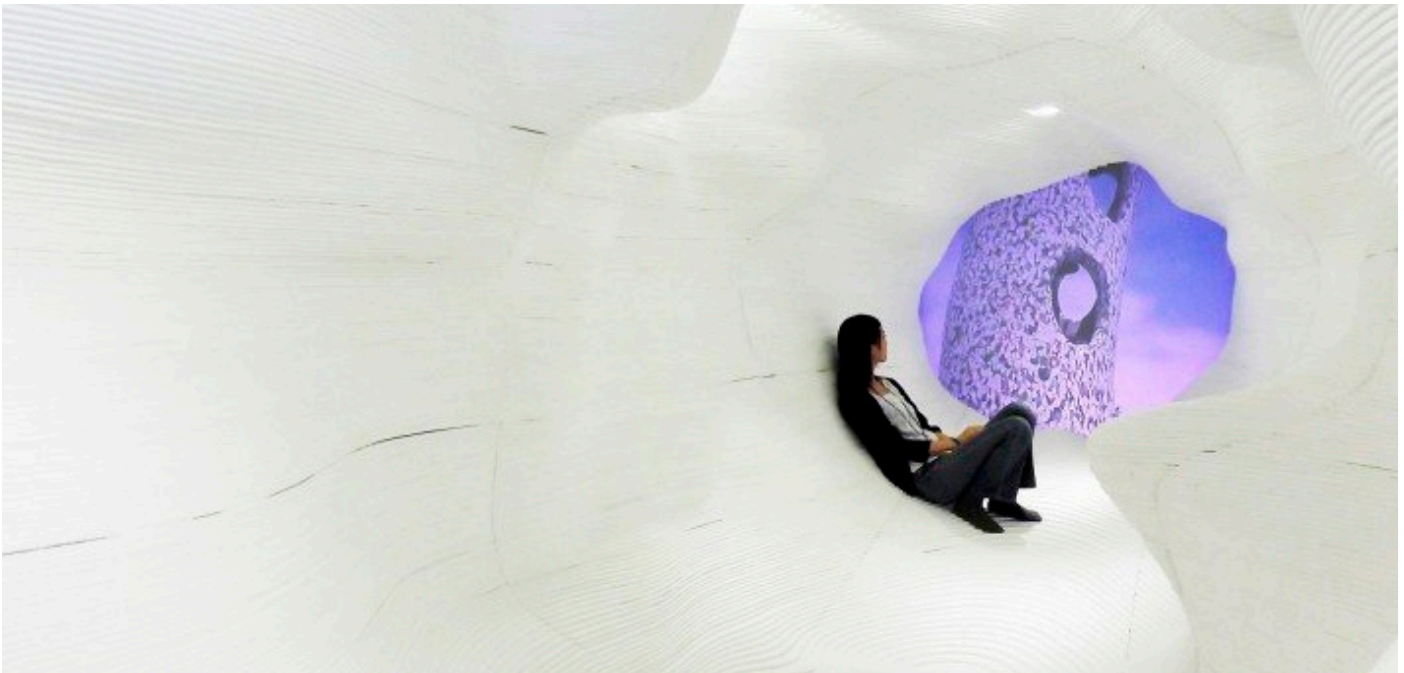


Fig. 37- “Artificial Topology” por dentro. Fotos realizada por Masahiro Hoshida.



**Fig. 38-** "Artificial Topography", imagen general del espacio. Fotos realizada por Masahiro Hoshida.

La idea es la de ahuecar el espacio contenedor para construir un espacio amorfo, imitando la topografía de una cueva con su geometría irregular y de inspiración natural.

Se crea un entorno ondulado suave a la vista y al tacto, que invita a pasar, relajarse dentro y experimentar con el lugar. Fujiki lo define como un espacio que no es sólo una obra artística sino un gran mueble, ya que todas las cavidades y salientes son como un sofá en el que te puedes sentar y adoptar una postura cómoda.

Para construirlo se utilizó el espacio de un contenedor de 12x2.40x2.60m, mediante la superposición de láminas blancas de poliolefina de 10mm siguiendo un patrón definido por el modelo 3D. Se usaron unas 1000 láminas que cogen el papel de "estratos" de la cueva artificial.



**Fig. 39-** Construcción de "Artificial Topography". La fabricación y ensamble de este tipo de espacios requiere de una meticulosa organización.

**Fig.40-** Vista en corte del container y la cueva.



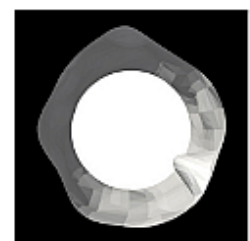
00



01



02



03



Con “Artificial Topography” se pone de manifiesto las características del apilamiento, y entre ellas se destaca la excesiva frecuencia en el uso de secciones lo que lo hace una técnica poco rentable y aplicable solo en situaciones muy determinadas.

Para terminar con el seccionamiento, se va a explicar la tercera lógica de trabajo con secciones: **la construcción reticular en dos direcciones, parrilla o waffle.**

Esta lógica de trabajo es la más extendida y versátil entre las construcciones basadas en el seccionamiento, y viene usándose desde antes de la existencia de la fabricación digital. El principio es muy sencillo: secciones en dos direcciones perpendiculares que van creando una malla o rejilla estructural.

De este tipo de proyectos se pueden encontrar una gran cantidad de ejemplos, tanto de diseño de producto como de arquitectura. Y es que se trata de una técnica aplicable tanto a proyectos de pequeña escala como a construcciones de gran envergadura.

Encontramos un ejemplo de waffle aplicado al diseño de producto en la mesa paramétrica “Sectionimal”<sup>[21]</sup> desarrollada por el estudio chileno

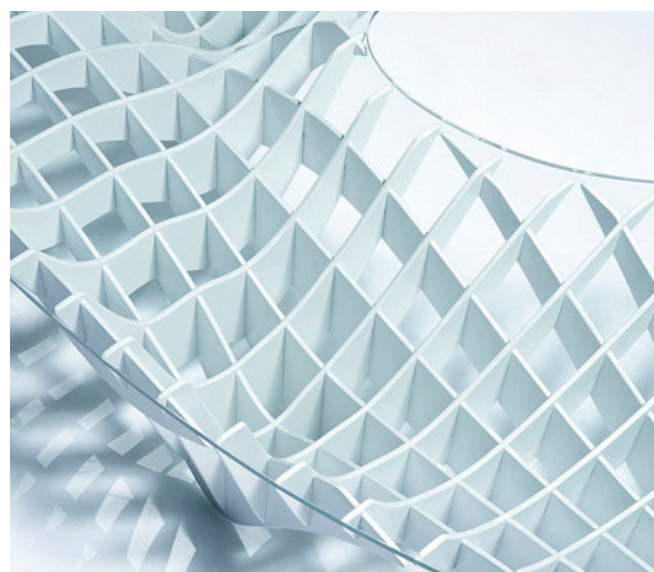


Fig. 41- Detalle de la mesa “Sectionimal”.

de diseño y fabricación digital gt\_2P (Fig.41 y 42)

Pertenece a una colección de muebles paramétricos y a pesar de que se pueda considerar más un objeto escultórico que un objeto funcional, sirve para vislumbrar las posibilidades que ofrece esta técnica de trabajo, que permite generar geometrías onduladas y retorcidas manteniendo la resistencia estructural.

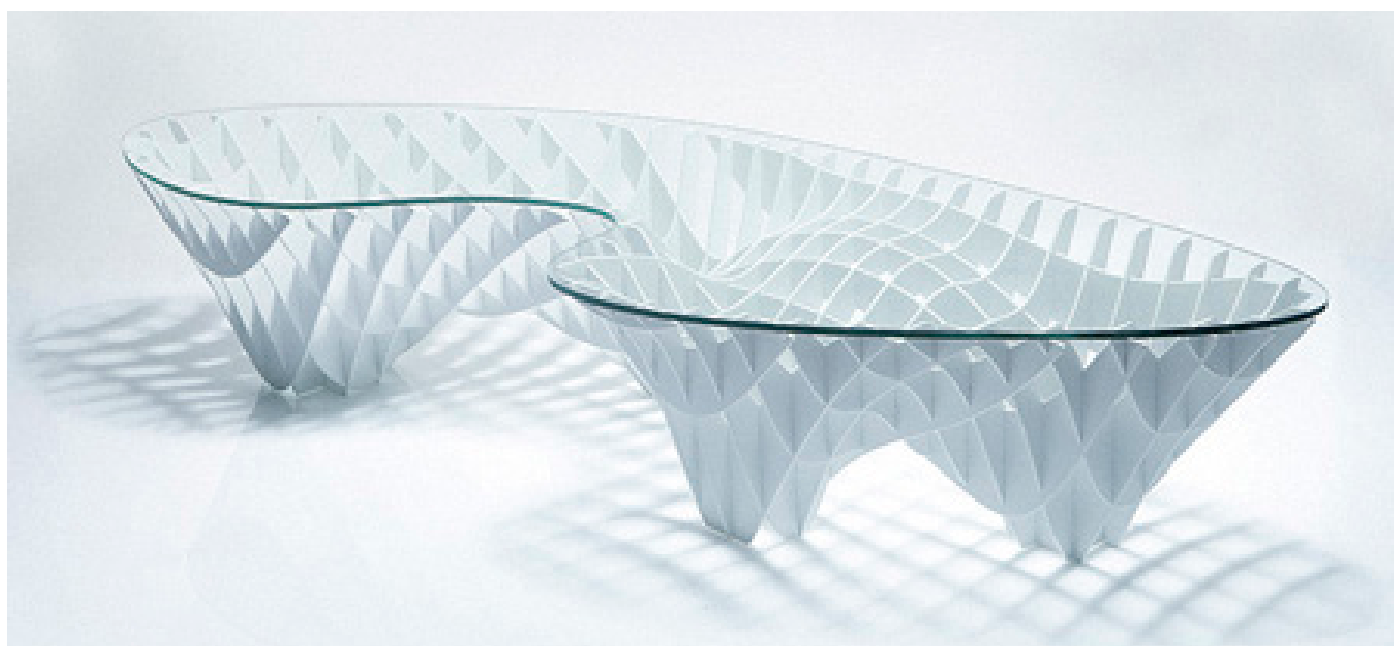


Fig. 42- Vista general de la mesa “Sectionimal”.

La escala que se puede abarcar en proyectos de este estilo puede llegar a ser muy grande, lo que afectará a aspectos importantes como el espesor necesario para las secciones, la resistencia mecánica de la estructura o la fabricación y desplazamiento de las diferentes piezas.

Encontramos un ejemplo de construcción reticular de mediana envergadura en el proyecto “Cave of books”<sup>[22]</sup> (La cueva de los libros). Se trata de un pequeño pabellón expositivo que recoge una colección de libros seleccionada por el arquitecto Toyo Ito. (Fig.43)

El pabellón-estantería se ha construido mediante tableros de madera “MDF” (Tablero de fibra de densidad media). La forma en que están dispuestas las secciones está inspirada en el proyecto del “Taichung Metropolitan Opera House” y es una muestra de como estará construido el esqueleto de esa obra arquitectónica.

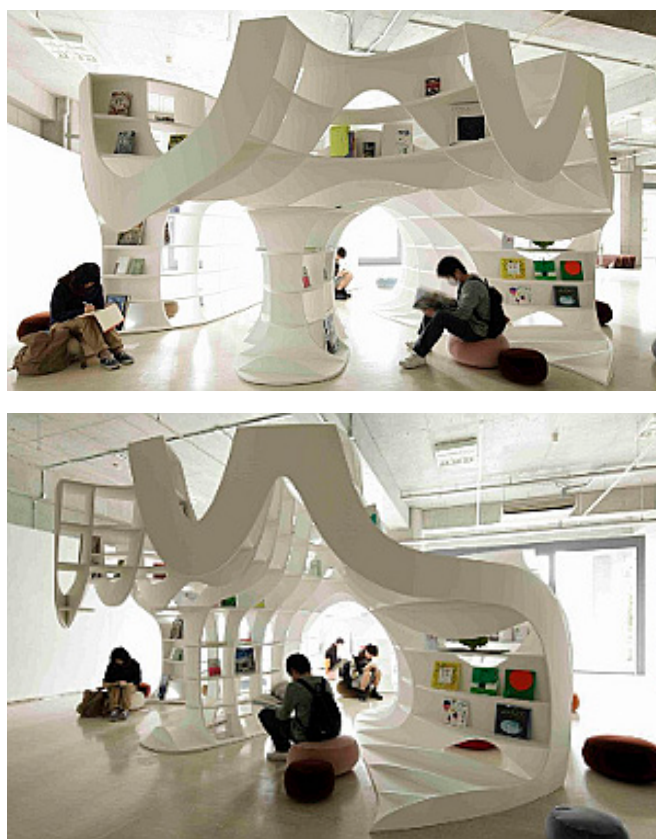


Fig. 43- Fotografías de “Cave of books”.

Para terminar, se muestran otros dos ejemplos donde se ha decidido aplicar este método constructivo, esta vez a gran escala, como es el “Metropol Parasol” de Sevilla (Fig.44) o el “Serpentine Gallery Pavillion 2005” (Fig. 45).



Fig. 44- Metropol Parasol en la Plaza de la Encarnación de Sevilla. Realizado por el arquitecto Jürgen Mayer con la colaboración de Arup.

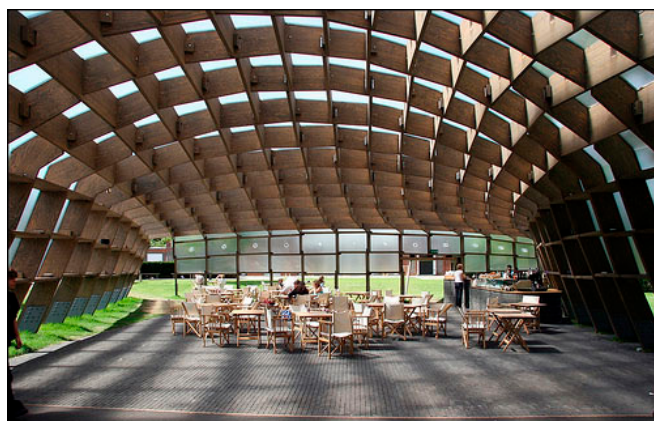


Fig. 45- Serpentine Gallery Pavillion 2005, por Alvaro Siza y Eduardo Souto de Moura, situado en los Kensington Gardens, Londres, donde cada año se construye un pabellón diseñado por reconocidos arquitectos.



## TESELADO (Tiling)

Consiste en la unión de entidades individuales que forman un conjunto de componentes que se conectan entre sí y crean un patrón de repetición. Esto se entiende fácilmente aludiendo a los mosaicos, baldosas y azulejos que se usan tradicionalmente desde hace siglos.

A lo largo de la historia ciertas culturas han tenido interés en el diseño de figuras geométricas que, mediante su combinación, utilizaban para cubrir alguna superficie plana sin dejar espacios, como una forma de decoración de interiores y exteriores de casas y templos. En la actualidad, las teselaciones se manifiestan en diversos escenarios, expresiones y situaciones como por ejemplo el embaldosinado de aceras o suelos.

El mayor exponente contemporáneo de estas producciones artísticas es el holandés Maurits Cornelius Escher.(Fig. 46)



Fig. 46 - Teselación 104 de Escher.

Lo más recurrente es crear una teselación a base de figuras geométricas simples o polígonos. Las diferentes teselaciones poligonales que existen están clasificadas, y a continuación se exponen brevemente las formas en las que aparecen<sup>[23]</sup>:

### Teselaciones poligonales regulares.<sup>[24]</sup>

La única forma de cubrir totalmente una superficie con un polígono regular es a base de triángulos, cuadrados o hexágonos, ya que la suma de los ángulos en un vértice ha de ser  $360^\circ$ .(Fig.47)

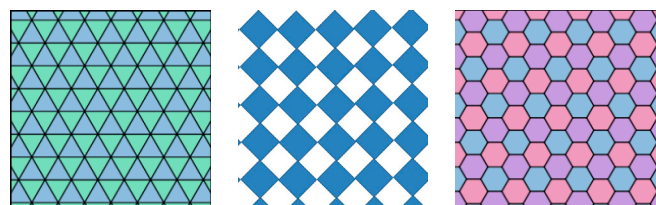


Fig. 47- Teselaciones regulares a partir de triángulos, cuadrados y hexágonos.

### Teselaciones poligonales semirregulares.

Son aquellas que contienen dos o más polígonos regulares. Están formadas por la combinación de polígonos regulares y existen 8 tipos. A continuación se muestran unos ejemplos (Fig.48)

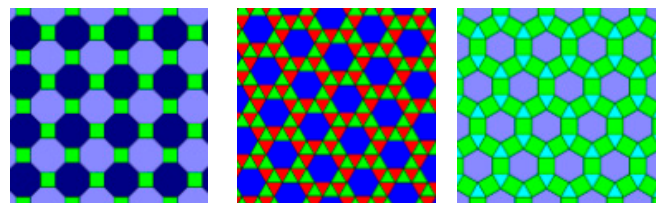


Fig. 48- Teselaciones semirregulares.

### Teselaciones poligonales no regulares.

Están formadas por polígonos no regulares, los cuales se han creado mediante la técnica del “mordisco”, que consiste en cortar en uno de los lados del polígono una figura y mediante desplazamientos y giros colocarla en el lado opuesto al corte, teniendo así la tesela. (Fig.49)

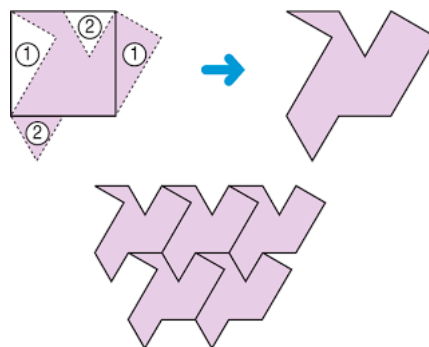


Fig. 49- Técnica del mordisco.

En el teselado digital se parte de la definición de un componente a partir del cual se modela una superficie. El componente definido se repetirá y se adaptará a lo largo de la superficie y podrá ir variando en orientación o tamaño. La geometría de dicho componente, así como la cantidad de componentes necesarios para generar la forma final, son decisiones de diseño que se tomarán en función de si se quiere conseguir una superficie más lisa y continua o, por el contrario, un efecto escalonado.

La ventaja de esta técnica es que permite construir formas complejas con materiales laminares y de tamaño estándar. De igual forma que con la técnica del seccionamiento se trabaja con un gran volumen de información que conviene administrar de forma lógica y ordenada.

Supone una alternativa cuyo principal punto fuerte es el impacto visual que causa al homogeneizar visualmente una superficie o forma compleja. No solo constituye una vía constructiva sino una potente herramienta estética, ya que puede complicarse tanto como se desee jugando con los cambios sutiles en la reflexión, la sombra y la luz que cada componente de la malla proyecta.

“ArboSkin - fachada de bioplástico”<sup>[25]</sup> es el resultado de un proyecto de investigación desarrollado por el Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) de la Universidad de Stuttgart y en él se ejemplifica el uso de un teselado poligonal regular a base de triángulos para generar un volumen que se retuerce sobre sí mismo. (Fig. 50, 51 y 52).

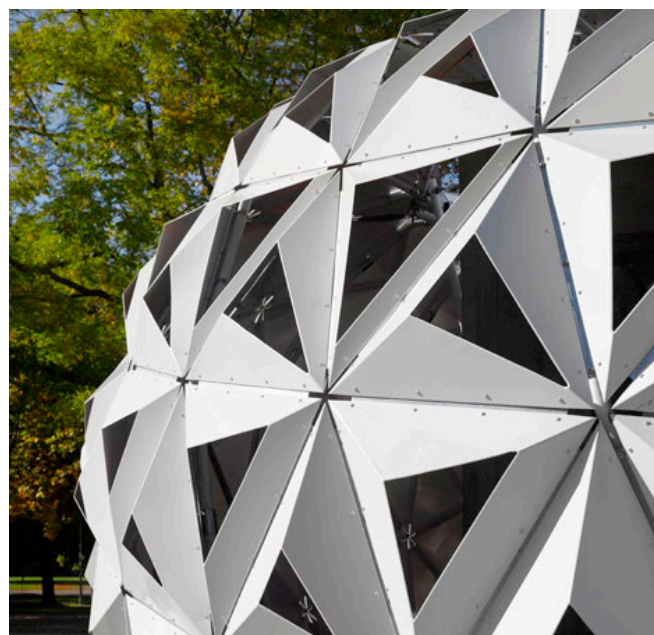


Fig. 50- Detalle de “Arbo-Skin”.



Fig. 51 - “ArboSkin - fachada de bioplástico” desarrollado por el Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) de la Universidad de Stuttgart - Alemania (2013)

En el pabellón se pretende demostrar las características estructurales de un nuevo bioplástico desarrollado especialmente para su uso en la construcción. Cada una de las teselas está creada mediante la extrusión de bioplástico y después termoconformado para hacer las formas facetadas.

Los cortes de algunas de las teselas se han realizado mediante corte CNC creando unas aberturas que varían de tamaño progresivamente de una tesela a otra. El material sobrante de este proceso se puede reutilizar convirtiéndolo otra vez en gránulos y volviéndolo a fundir.

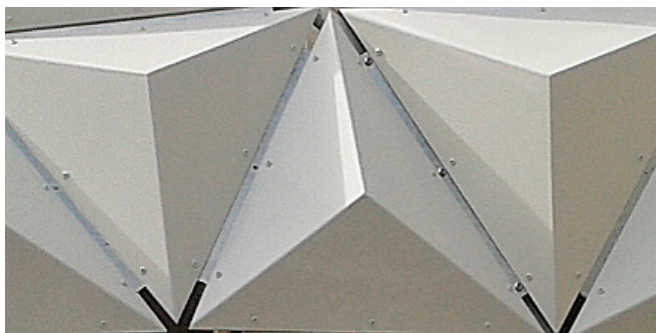


Fig. 52- Teselas que componen ArboSkin.

Desarrollado por el mismo instituto que ArboSkin, el Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE), en colaboración con el Institute of Computational Design (ICD), ambos pertenecientes a la Universidad de Stuttgart, el proyecto de un pabellón temporal biónico es otro ejemplo del uso del teselado. [26]

Se trata de un pabellón temporal resultado de un estudio de las estructuras orgánicas resistentes, con el objetivo de trasladar las condiciones observadas a un proyecto de arquitectura biónica inspirado en la naturaleza. (Fig 53 y 54)

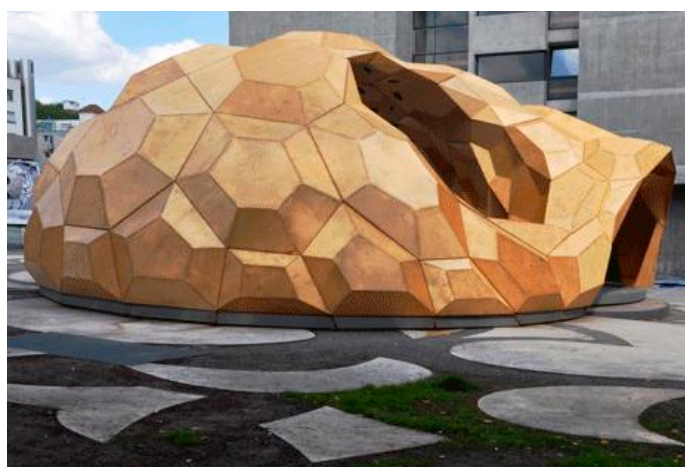
En este caso se usa como inspiración el esqueleto externo de un erizo de mar, compuesta por semi-cúpulas hexagonales que se fabrican a partir de tableros de madera contrachapada de 6.5mm de espesor, fabricados mediante maquinaria CNC con brazos robóticos.

En lo que se refiere al aspecto formal, se observa que las diferentes piezas se adaptan a una superficie muy irregular y curva, lo que provoca que cada tesela sea de una forma y un tamaño determinados. En un teselado de estas



Fig. 53-Temporary bionic research pavilion (Stuttgart university) Stuttgart – Germany (2011). Proyecto, Institute for Computational Design (ICD) and the Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE). Fotografías, ICD/ITKE Universität Stuttgart.





**Fig. 54-** Imágenes del proceso de fabricación, ensamble y resultado final del pabellón temporal biónico. Fotografías, ICD/ITKE Universität Stuttgart.

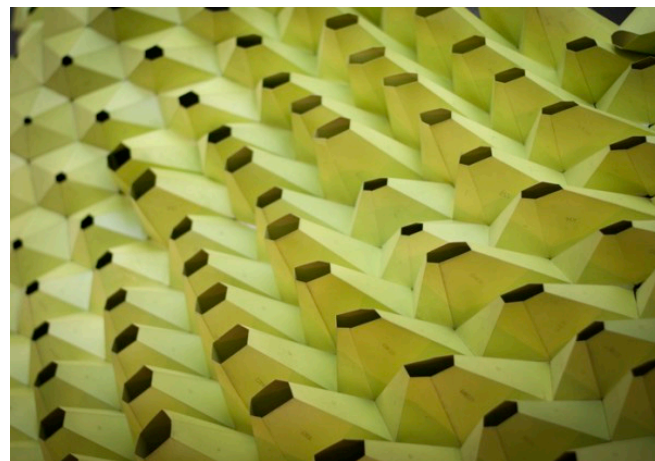
características es imprescindible contar con tecnología CNC y un software adecuado que permita gestionar la información y descomponerla de tal manera que se puedan fabricar las teselas independientemente para después ensamblarlas. Así pues, en la actualidad y gracias al diseño computacional el teselado ya no es una técnica usada simplemente para cubrir superficies planas sino que sus posibilidades de generación de formas y volúmenes complejos son mucho mayores.

La tendencia más reciente es la de experimentar con las diferentes formas que puede adoptar cada componente del teselado de forma independiente con el objetivo de obtener geometrías cada vez más sorprendentes, o incluso para cumplir algún requisito ambiental que se le imponga al modelo. Esto último es algo con lo que se

experimenta en algunos proyectos y es el hecho de crear una superficie “responsiva”, es decir, que reacciona a condiciones ambientales como la intensidad y dirección del viento, la radiación solar, etc. o patrones de interacción humana como flujos peatonales o niveles de ocupación. El objetivo es el de trabajar con un modelado dinámico que responde a unos parámetros del entorno determinados, siendo cada componente que conforma la superficie un elemento que se modifica libremente en tamaño y forma pero siempre manteniendo la continuidad con el resto de componentes.

Bajo esta idea se crean lo que también se conocen como “pieles responsivas”, y a continuación se muestran dos ejemplos.





**Fig. 55-** “Cellular Morphology Facade”, Prototipo diseñado por Sushant Verma y ensamblado por Apoorva Soni, Mohan Nath, Anand Gawali, Abhishek Singh, Swati Gautam.

En la imagen superior se encuentran las imágenes del prototipo de “Cellular Morphology Façade”<sup>[27]</sup>, un proyecto de una fachada situada en Nueva Dehli que pone de manifiesto las ventajas que supone trabajar con una superficie responsiva.

El prototipo expuesto es la representación de un algoritmo en el que se define una superficie compuesta por componentes con forma de pirámide hexagonal las cuales varían en sus

dimensiones (apertura, altura, ángulo de inclinación) en función de los requerimientos del edificio que están cubriendo, redistribuyendo la luz solar que incide sobre el mismo y cambiando la forma en que se calienta o la forma en la que entra la luz en los interiores. Luz, calor y visibilidad, desde y hacia el interior, son aspectos que pueden ser controlados y optimizados por el usuario valiéndose de esta superficie “inteligente”.



**Fig. 56-** “Translated Geometry”, Proyecto de Ece Tankal, Efilena Baseta and Ramin Shambayati, en el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña.

La arquitectura “adaptable” se está convirtiendo en algo cada vez más viable como resultado de la evolución reciente de las tecnologías y los materiales de construcción.

Así pues, otra forma de afrontar el diseño de una estructura responsiva es atendiendo no sólo a la geometría de los componentes sino a los materiales, como en el proyecto de “Translated Geometry”<sup>[28]</sup> donde se desarrolló un nuevo sistema basado en el uso de un polímero térmicamente responsivo para las juntas de unión

de los paneles que conforman la superficie, de tal manera que la estructura puede plegarse sobre sí misma o abrirse usando solo las características del material, lo que supondría una gran ventaja para grandes estructuras que tengan que ser transportadas.

Para poder realizar un prototipo funcional que pudiese plegarse tuvieron que realizar un estudio de la geometría a usar y finalmente basaron su diseño en una teselación triangular.

## PLEGADO (Folding)

El plegado es una técnica constructiva que transforma una superficie plana, bidimensional, en una tridimensional (**Fig.57**). Las formas en que se aplica esta técnica son muy variadas y por lo general su desarrollo y evolución ha estado siempre muy ligado al trabajo de la chapa metálica. Es una técnica muy económica, con posibilidades estéticas muy atractivas y aplicable en muchas escalas.

Se trabaja con un material base plano, para después generar una geometría en 3 dimensiones mediante desplazamientos, giros y traslaciones lo que supone una ventaja en cuanto al ahorro de recursos. el material gana rigidez cuando se pliega.

El material a usar en este método constructivo está restringido por condiciones de flexibilidad y maleabilidad. Además de la chapa metálica ya nombrada, los materiales que son susceptibles de ser plegados son cualquier tipo de papel grueso, plásticos varios, tela y madera (esta última mediante pequeñas incisiones o con vapor). En proyectos de este estilo, el comportamiento del material mantiene una estrecha relación con todas las fases del proceso de diseño, ya que hay aspectos como la máxima curvatura que se puede conseguir o el grosor de las láminas a emplear que son restrictivos, por lo que se debe tener en cuenta desde el principio.

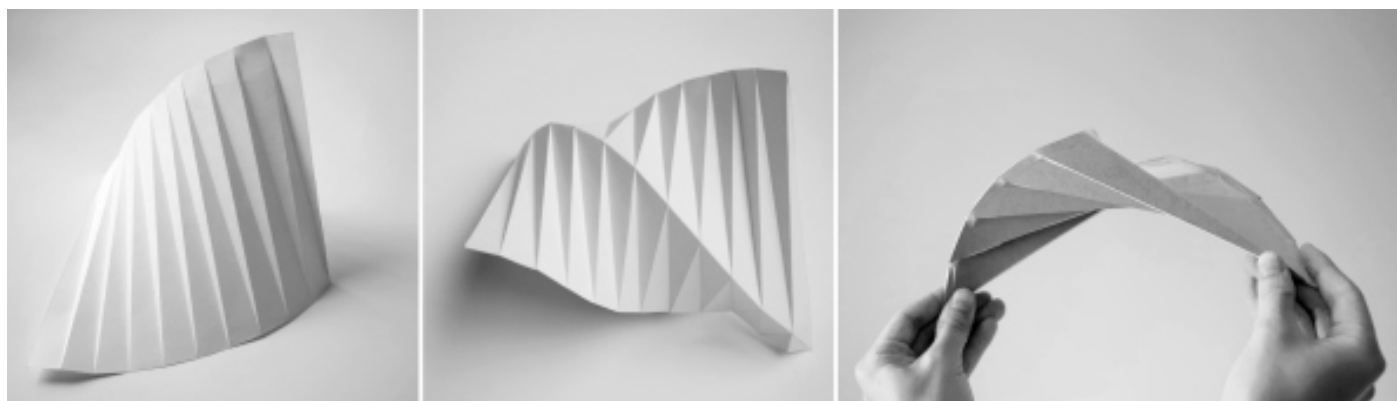
Si la tendencia más actual en la generación de

geometrías impactantes es la de las formas sinuosas y enrevesadas, que se retuercen sobre sí mismas, el plegado viene a ser el método de aplicación más directo de esta idea. Con el plegado se pueden conseguir formas curvas y retorcidas manteniendo siempre la continuidad, ya que estamos hablando de la misma lámina de material.

Con las nuevas herramientas de diseño y representación 3D la técnica de plegado ha evolucionado notablemente, y más aún con la implementación de los softwares de diseño paramétrico, que han ayudado en la visualización rápida y dinámica de las superficies fabricadas a partir de plegado.

La ventaja principal es la de poder modelar una superficie y luego gracias al programa obtener su desarrollo, es decir, la superficie desplegada en plano lista para ser cortada y plegada con maquinaria CNC.

El hecho de poder obtener la superficie desplegada ayuda al diseñador a comprender mejor y valorar conforme a requisitos de fabricación aquello que se está modelando. Muchos programas incorporan ya herramientas para trabajar con superficies desplegadas, entre ellos Rhinoceros o Solidworks. Algunos de esos programas tienen en cuenta el espesor del material y permiten hacer simulaciones o incluso etiquetar y marcar los pliegues.



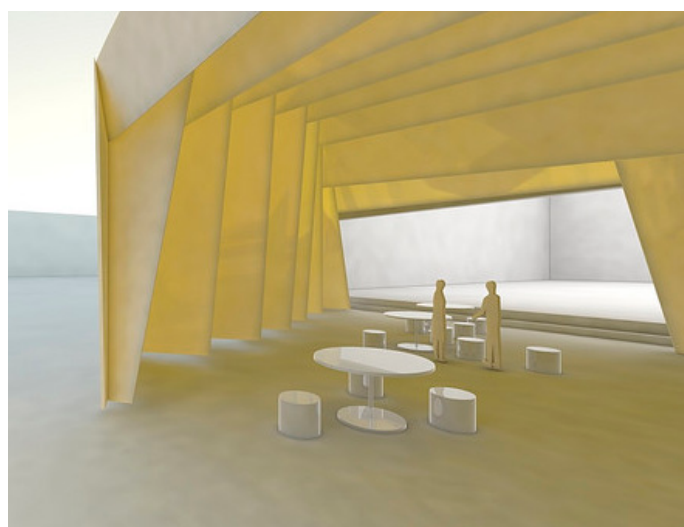
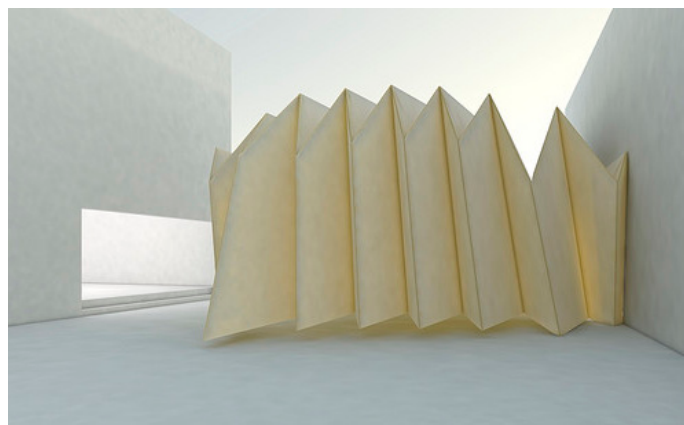
**Fig. 57-** “Folded Shell Structure” (Estructura-cáscara plegada) diseñada por Liane Ee

El concepto de origami (o papiroflexia) está muy unido a este método constructivo ya que sus principios fundamentales tienen mucho que ver. El origami es un arte de origen japonés, con muchos años de antigüedad, consistente en el plegado de papel sin usar tijeras ni pegamento para obtener figuras de formas variadas. <sup>[29]</sup>

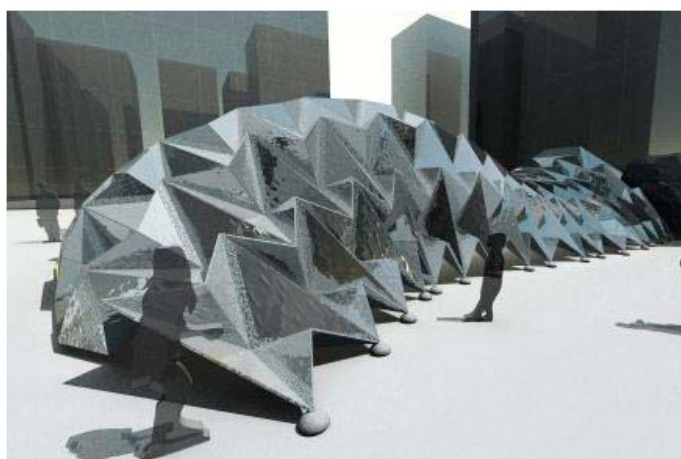
El funcionamiento del origami se usa experimentalmente como herramienta de modelado tridimensional, generando diseños geométricos muy interesantes. Un ejemplo de aplicación del origami al diseño de espacios es la “Rigid Fold Gallery” (Galería de pliegue rígido) diseñada por Tomohiro Tachi. **(Fig.58)**

La idea de la galería sería aquella de ser un espacio ligero y fácilmente transportable, al ser capaz de plegarse casi en su totalidad aprovechando las propiedades de su geometría, del material flexible del que está fabricado y de su diseño basado en los principios del origami.

Tomohiro Tachi basa sus proyectos en las propiedades del origami y del plegado y desplegado de superficies **(Fig.59)**. Tanto es así que incluso ha desarrollado un software específico de origami.



**Fig. 58-** “Rigid Fold Gallery” Imágenes de Tomohiro Tachi.



**Fig. 59-** “Rigid Origami Structures with Vacuumatics” Imágenes de Tomohiro Tachi.

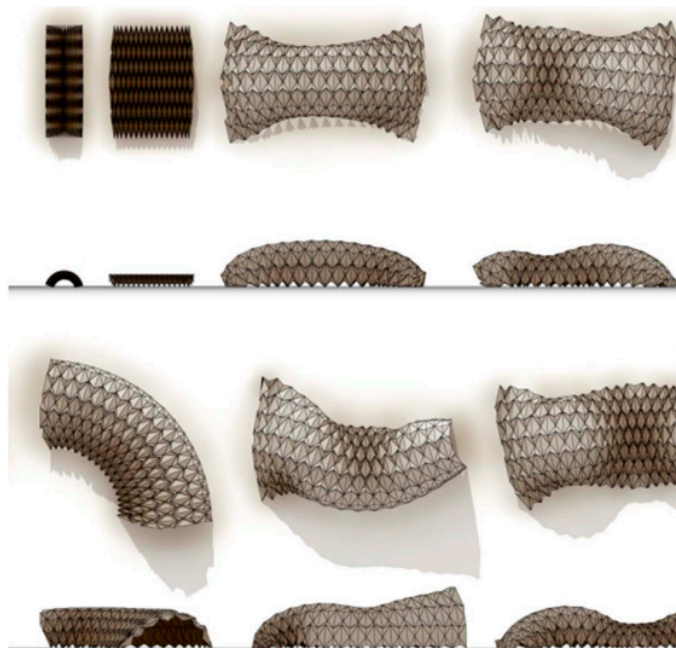






Fig. 60- "Cardboard Banquet". Proyecto de la Universidad de Cambridge.

Otro ejemplo de un pabellón que usa las técnicas del plegado es el "Cardboard Banquet" de la Universidad de Cambridge. (Fig.60 y 61) El departamento de Arquitectura planteó a los estudiantes el reto de diseñar un pabellón fabricado enteramente en cartón plegado. El pabellón se fabricó y ensambló en 3 días para después acoger un banquete.



Fig. 61- Interior de "Cardboard Banquet".

Para terminar, se expone otro ejemplo. Esta vez se trata de "Urban Beach", creado por Emergent y Tom Wiscombe en 2003, para el Moma de Nueva York. (Fig.62) El diseño del techo de la estructura está basado en una composición celular, en la que cada región o "célula" tiene una ubicación y geometría diferentes, determinadas por requisitos de sombreado locales o en función de

las células vecinas. Se crea así un toldo irregular de superficies plegadas, bajo el que se acogen diferentes espacios como piscinas o zonas de descanso. Además, durante la noche se ilumina con un juego de luces que resalta la estructura y su complejidad.

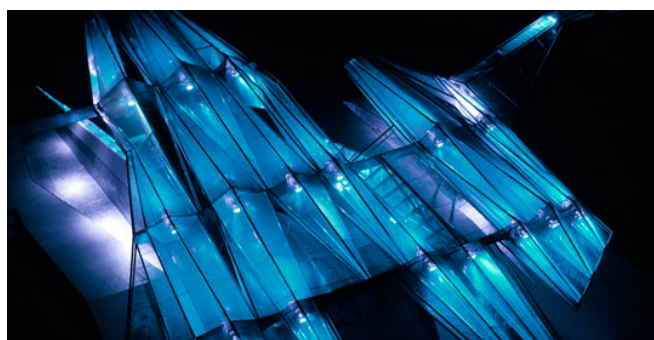
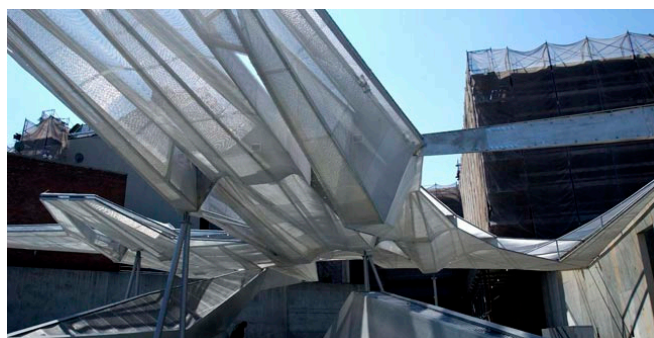


Fig. 62- Imágenes de "Urban beach".

## CONTORNEADO (Contouring)

La mayoría de los materiales tales como la madera o el acero, aluminio, etc. se presentan en láminas o planchas con diferentes espesores, pero al fin y al cabo se trabaja en dos dimensiones. El contorneado, sin embargo, permite ir más allá y crear volúmenes 3D a partir de la sustracción de material a bloques que son fresados mediante una máquina fresadora CNC. Por lo general se van fresando sucesivas capas de material hasta alcanzar la geometría final (**Fig.63**).

Esta técnica tiene una larga historia, puesto que en la antigüedad se usaba la talla para crear impresionantes esculturas o volúmenes complicados sustrayendo material de grandes bloques de madera o piedra. Por entonces, se trataba de un proceso largo y laborioso, que necesitaba de mucha mano de obra y de una técnica depurada de mano del artesano. Hoy en día solo se necesita un programa de CAD-CAM y una fresadora automática de 3 o 5 ejes que interprete el modelo 3D. Como se expone en el apartado de maquinaria CNC de este mismo trabajo, a una fresadora se le proporciona una serie de comandos que rigen la posición de la punta de fresado, cuantos más ejes tiene la máquina mayor libertad de movimiento tendrá para poder hacer recovecos o muescas.

El programa de CAM pide al usuario una serie de variables como el tamaño de la fresa, el material a cortar o la trayectoria que deberá seguir. Y es que hay muchas de formas de fresar un objeto, ya sea en espiral, paralelo, liso, estriado, etc.

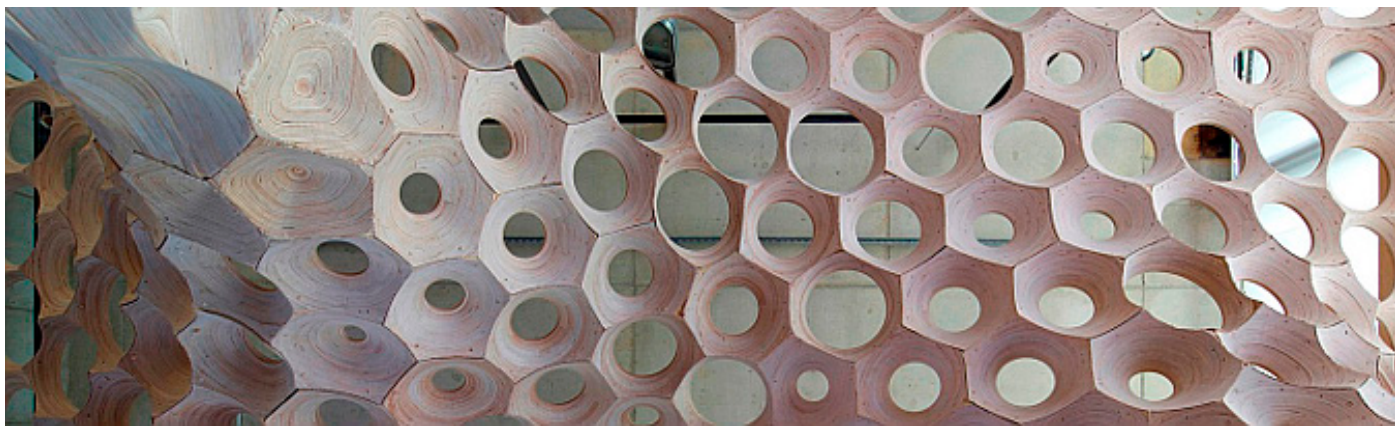
Este método es el medio más directo para obtener geometrías complejas, ya con el seccionamiento o el teselado solo se obtiene una aproximación, pero también requiere más tiempo de fabricación y a menudo una gran cantidad de material deshechado, por lo que puede no ser la más eficiente. La gran desventaja de esta forma de trabajo es la difícil optimización del material. Por otro lado, la aplicación del contorneado a la generación de grandes volúmenes suele ser inviable, ya que se debería disponer de una fresadora automática de exageradas dimensiones,

además de un bloque de material proporcional, y tener en cuenta el gran volumen de deshecho consecuente. Por esto es una técnica que suele combinar con otros métodos constructivos vistos anteriormente, con el fin de explotar sus ventajas y reducir al mínimo los deshechos o el tiempo de fabricación.



**Fig. 63-** Colección de mesas “Mercuric” diseñadas por la arquitecta Zaha Hadid para el salón del mueble 2013 en Milán. Estas mesas son un ejemplo de las posibilidades que ofrece el contorneado. En este caso se pretende imitar la precisión de la artesanía escultórica en el mármol creando esas formas onduladas.





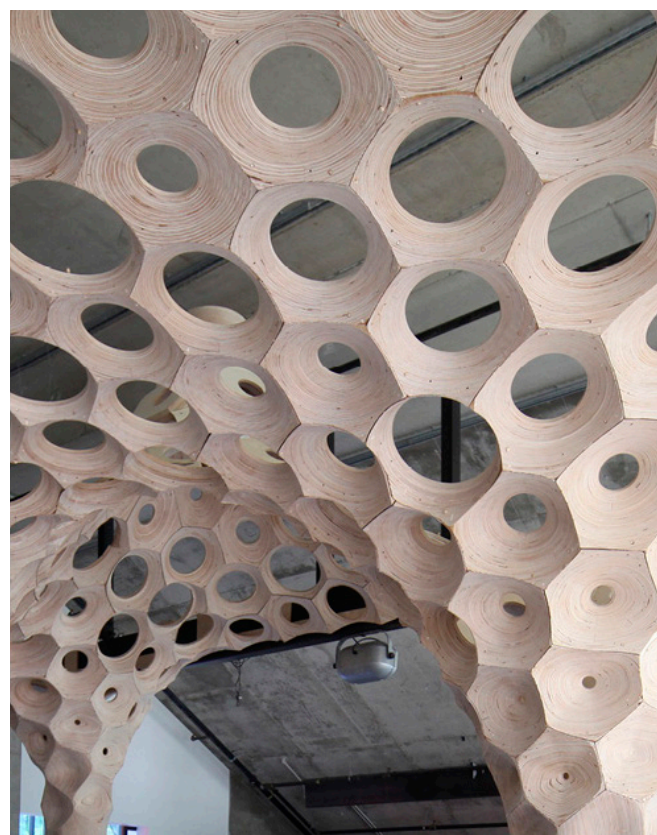
**Fig. 64-** La Voûte de LeFevre, experimental pavilion (Banvard Gallery: Knowlton School of Architecture) Columbus Ohio – United States (2012). Arquitectura, Brandon Clifford + Wes McGe

Encontramos un ejemplo de aplicación de este método en la fabricación del pabellón experimental “La voûte de LeFevre”, diseñado por Brandon Clifford + Wes McGee y expuesto en la Universidad de Columbus<sup>[30]</sup>. Es el resultado de una investigación en torno a la aplicación de técnicas tradicionales como la esterotomía (rama de la cantería que estudia el modo en que pueden tallarse, partirse y aprovecharse las rocas extraídas de la cantera en arreglo a su colocación específica en obras de arquitectura e ingeniería), con el objetivo de fabricar una estructura autoportante y estable mediante la talla de bloques sólidos con sistemas de cálculo, diseño y fresado computerizado (Fig.64 y 65)

Se basa en el uso de la bóveda entendida como una estructura sujeta a compresión calculada a

partir de un programa de simulación personalizada que determinaba cuánto de grande debían ser las aperturas de cada una de las “celdas” con el objetivo de ajustar su masa en relación con las celdas vecinas.

En este caso se han combinado dos métodos constructivos ya explicados en este trabajo: el teselado y el contorneado. Cada celda ha sido fabricada usando un método de fresado CNC, pero en conjunto forman una superficie ondulada a base de teselas hexagonales, es decir, una teselación regular que no deja huecos.



**Fig. 65-** Vistas detalle de La Voûte de LeFevre.



El siguiente ejemplo muestra una aplicación de este método constructivo en la fabricación de un proyecto de gran envergadura, en este caso una parada de bus. “The Amazing Whale Jaw”<sup>[31]</sup> es un proyecto realizado por el estudio NIO, en Holanda, teniendo como objetivo la construcción de una parada de bus en Hoofddorp, Rotterdam, cuya imagen fuese particular e impactante alejándose de las paradas de bus tradicionales. (Fig.67)

Se trataba de conseguir una forma continua, en la que los elementos horizontales y verticales se fusionan entre sí, dando lugar a una estructura única sin ningún apoyo intermedio. Está fabricada enteramente en espuma de poliestireno expandido (EPS), y después recubierta con poliéster. Está considerada como la mayor de la estructura exclusivamente sintética del mundo (51x10x5m). Según los ingenieros del proyecto, el EPS funciona como relleno, no contribuyendo así a la resistencia del conjunto. La cáscara de poliéster, con un espesor de 5-8 mm, es la que absorbe todas las tensiones generadas por la presión del viento, sobrecargas debidas a la nieve y otras acciones consideradas en el cálculo.<sup>[32]</sup>

Lo más relevante del proyecto es que toda la estructura está fabricada mediante fabricación digital, usando una fresadora CNC de 5 ejes que desbastaba piezas de 5x2x2m (Fig.66). Después se le aplicaba una capa de poliéster con spray a cada bloque. Una vez fabricados todos los bloques, se transportan hasta el lugar y se ensamblaban usando una estructura de madera contrachapada.



Fig. 66- Fabricación de The Amazing Whale Jaw.



Fig. 67- The Amazing Whale Jaw, por el estudio NIO, en Hoofddorp, Rotterdam, Holanda (2013).

Otra forma de aprovechar las posibilidades que ofrece el fresado CNC es la de tallar un molde en algún material relativamente económico para después reproducir un número ilimitado de piezas. Esto es lo que se conoce como **Conformado (Forming)**, y en algunas publicaciones lo consideran un método constructivo más, sin embargo no es un método de fabricación digital “puro” en el sentido de que no se fabrica directamente la pieza con maquinaria CNC, sino que se fabrica un molde en el que después se inyectará algún plástico. En cualquier caso, se sirve de una fresadora CNC por lo que se considerará una variante o alternativa del método de contorneado que se está explicando.

Podemos encontrar también numerosos ejemplos de conformado, uno de ellos el pabellón CocoonFs, diseñado por Julia and Göran Pohl en 2011.<sup>[33]</sup> Este proyecto es el resultado de un trabajo de investigación relacionado con la biomimesis (estudio de la naturaleza como fuente de inspiración), donde se buscaban aplicaciones en

arquitectura y diseño centrando el estudio, en este caso, en los microorganismos marinos, como las diatomeas, que forman parte del plancton.

El resultado es un pabellón con una cáscara ligera y resistente, formada a partir de piezas de FRP (*Fibre-reinforced plastic* - Plástico de fibras reforzadas), fabricadas mediante la técnica de conformado con una fresa CNC y ensambladas con unas fijaciones mecánicas.(Fig.68)

Como en el primer ejemplo, se observa que la estructura combina una teselación con el conformado. Las teselas que forman la superficie están creadas mediante un molde conformado, y la unión de todas ellas crea un mosaico con una forma irregular donde la pieza base va variando de tamaño pero manteniendo la continuidad.



**Fig. 68-** COCOON-FS pavilion (Frank Stella exhibition) Jena – Germany (2011). Arquitectura, Julia and Göran Pohl “Pohl Architekten”. Fotografías, pohlarchitekten.de



## ENTRELAZADO (Interlocking)

El quinto y último método constructivo que se va a explicar es el de interlocking (**Fig.69**). Es un concepto de diseño en el que elementos simples están organizados de tal manera que forman una estructura que se mantiene firme debido a las restricciones cinemáticas causadas por la forma y la disposición de los elementos, conectados entre sí.<sup>[34]</sup>

El uso del interlocking no es algo nuevo, y un ejemplo de la implementación de este método se remonta muchos siglos atrás, en la época de los Incas. Los Incas construían estructuras autoportantes sin ningún adhesivo ni uniones adicionales.

En el diseño de una estructura de este estilo hay que tener en cuenta dos aspectos fundamentales: el primero, la forma en que se unen las piezas para mantener la unidad estructural, que puede ser con muescas o encajes en la propia pieza o con uniones añadidas. El segundo aspecto es el de mantener estática la composición restringiendo todo movimiento.

Las ventajas que supone el uso de un sistema constructivo fragmentado es, por ejemplo, la

posibilidad de combinar materiales diferentes en la misma estructura en función de las necesidades de diseño que se presenten. Además, por su propia distribución, estas composiciones absorben las vibraciones al distribuirse éstas entre los elementos que la componen, siendo así sísmicamente resistentes.

Se conocen algunas formas de distribución en las que es posible suprimir bloques enteros sin tener que desmontar toda la composición, lo que supone una ventaja a la hora de reparar zonas concretas que hayan podido ser afectadas. Se considera un método constructivo eficiente al tratarse de la repetición de una o dos piezas, que pueden ser prefabricadas en serie y suponer así un ahorro de tiempo en la construcción, una característica idónea para construcciones temporales.



**Fig. 69-** Aero Pavilion (2011). Diseñado por Jonas Nielsen, David Thomsen, Mads Skak, Henrik Jacobsen, Phillip Klausen, Laura Bogstad.

Arriba: vista general. Derecha: Detalle de las piezas. Proyecto de fabricación digital basado en el método constructivo de interlocking, donde usaron 3 piezas: tableros verticales, tableros horizontales y piezas de unión (pasadores).





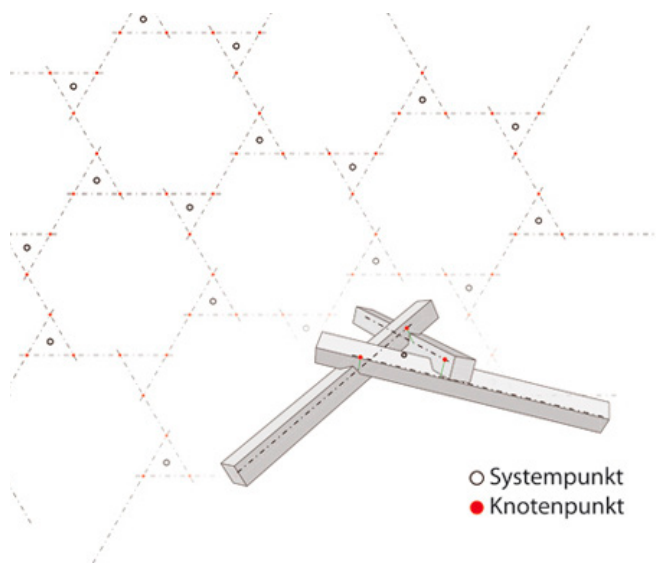


**Fig. 70-** SelfSupportingFramework" pavilion (Kassel University), Kassel –Alemania (2010). Diseño, Mischa Proll y Andreas Günther, Universität Kassel Fachbereich Architektur

Idear el sistema de unión de las piezas es el principal reto de este tipo de diseño, sobre todo cuando el volumen de piezas usadas es alto. En el proyecto del pabellón "SelfSupportingFramework"<sup>[35]</sup> se sirvieron de programas de diseño paramétrico y de cálculo para resolver este problema. Diseñado por Mischa Proll y Andreas Günther en 2010, en la Universidad de Kassel, mostraban las posibilidades del sistema "Reciprocal frame", una solución constructiva que permite crear estructuras autoportantes, como cúpulas o bóvedas, mediante la unión de barras de madera de longitudes y secciones mínimas.

Este método constructivo se practica desde el siglo XII en la arquitectura china y japonesa, y en este caso se rescata aplicando técnicas de diseño, cálculo y fabricación mediante máquinas de control numérico.

El resultado es una estructura estable y resistente, (**Fig.70**) un pabellón con forma de doble bóveda continua construida a partir de 180 barras de madera de sección cuadrada de 10cm de lado, cuyas longitudes son diferentes y con los encajes necesarios, de manera que cada barra es un elemento individual con su identificación. (**Fig.71**)



**Fig. 71-** SelfSupportingFramework" pavilion. Izquierda: detalle de las barras. Derecha: cálculo de longitudes y encajes.



Encontramos otro ejemplo de interlocking en el pabellón “Dragon-Skin” (piel de dragón) (**Fig.72**), desarrollado en colaboración entre los arquitectos Emmi Keskisarja, Pekka Tynkkynen, Kristof Crolla y Sebastien Delagrangre. La propuesta, el diseño, la fabricación y el montaje del prototipo, presentado en el marco “Tampere Architectural Week 2011” es el resultado del trabajo realizado en el taller “Material Design & Digital Fabrication Workshop” organizado por la escuela de arquitectura de la “Tampere University of Technology” [36].

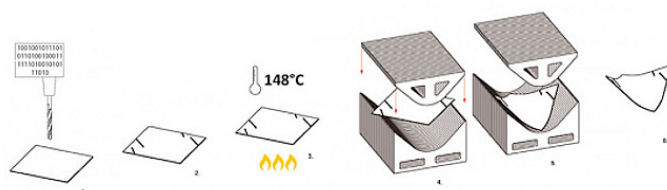
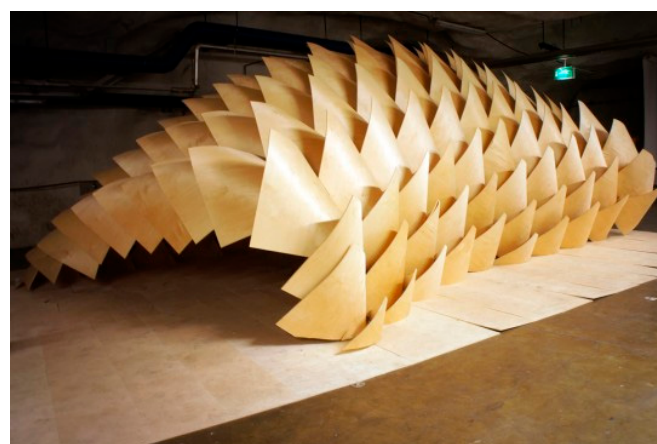
Una de las características relevantes, como en la mayoría de proyectos en los que se usa este método constructivo, es el diseño de los encajes en las piezas que forman el pabellón, que se conectan gracias a unas muescas, siendo la propia pieza el sistema de sujeción.

Así pues, se trata una vez más de una estructura autoportante, cuyo aspecto más característico es la forma de las piezas de madera, que han sido cortadas mediante maquinaria CNC y después plegada en caliente. Se pone de manifiesto así las posibilidades técnicas y estéticas de

la implementación del diseño aplicado a los materiales y a los procesos de fabricación digital.

Las piezas numeradas se encajan manualmente, de tal manera que la superficie puede ser montada, desmontada y reutilizada con facilidad. Obviamente cada pieza tiene los encajes necesarios en función de su posición, por lo que un cambio en la forma de la superficie también cambia la forma en que se distribuyen las piezas y sus encajes.

Nos encontramos una vez más ante una mezcla de métodos constructivos: plegado y entrelazado.



**Fig. 72-** Pabellón Dragon Skin, (Material Design & Digital Fabrication Workshop en Tampere, Finlandia Instalación temporal para la Tampere Architectural Week 2011). Diseñada por Emmi Keskisarja, Pekka Tynkkynen con Kristof Crolla y Sebastien Delagrangre.

## COMENTARIOS FINALES

Una vez expuestos los métodos constructivos más habituales empleados en fabricación digital, se concluye que ofrecen herramientas poderosas para la generación de estructuras.

Si bien se han clasificado en 5 métodos constructivos diferenciados (seccionamiento, teselado, plegado, contorneado y entrelazado) a lo largo del capítulo se ha mostrado que muchos de los proyectos eran mixtos, en las que se mezclaban varios métodos constructivos. Esta característica es una ventaja del diseño paramétrico y es la posibilidad de complicar un algoritmo de diseño todo lo que se desee, llegando a combinar diferentes métodos como el teselado, el plegado y el contorneado en un mismo modelado.

La clasificación que se ha realizado pretendía resumir y segmentar el gran abanico de alternativas constructivas que se pueden conseguir, con el fin de estudiarlas y comprenderlas mejor. No obstante, no se trata de una clasificación rígida sino que cada proyecto de fabricación digital se puede mover entre los diferentes métodos descritos.

Para la aplicación de la fabricación digital en el presente trabajo fin de grado se escogen, al menos, dos métodos constructivos que se usarán para generar la geometría de un espacio expositivo seleccionado. Del estudio anterior se deduce que la aplicación de métodos como el plegado requieren de una buena base en programación y en geometrías generativas, y para llevarlas a cabo se necesitaría profundizar y estudiar más a fondo los principios del plegado y el comportamiento de los materiales.

Por lo tanto, se decide que se aplicarán los métodos de seccionamiento y teselado, en combinación o por separado, para el diseño del stand. Ambos métodos son perfectamente viables y su aplicación real está a mi alcance con lo investigado hasta ahora. Además, permiten explorar muchas alternativas.

En cualquier caso, conviene no olvidar los otros métodos, puesto que es posible que para el teselado haya que plantearse alternativas donde intervenga una fresadora CNC o haya que tener en cuenta la conexión entre las diferentes teselas (entrelazado).

## CARACTERÍSTICAS MÁS RELEVANTES DE LOS MÉTODOS CONSTRUCTIVOS

**Seccionamiento:** Muy llamativo y de aplicación fácil. Montaje rápido y sencillo. Trabajo sobre láminas y planchas en dos dimensiones con máquinas de corte láser. Gran variedad de materiales (maderas, plásticos, metales, papel, textil).

**Teselado:** Geometrías complejas tratándose de superficies curvas. Mucha libertad formal. Montaje más laborioso, con la necesidad de una gran labor de planificación. Se puede trabajar con figuras planas fabricadas a partir de láminas del material o con geometrías en 3 dimensiones (fresadoras). De nuevo, gran variedad de materiales.

**Plegado:** Geometrías bastante impactantes, cuya característica principal son los pliegues. Menos libertad formal que con otros métodos. Montaje muy rápido y sencillo. Se trabaja con preformas en dos dimensiones (láminas y planchas). Muchas restricciones en cuanto a los materiales (maleables, ligeros, etc.)

**Contorneado:** Método con la mayor libertad formal de todos, solo restringida por el tamaño de la fresadora o del bloque de material. Se suele combinar con otros métodos como el teselado o el entrelazado, en solitario es poco viable para la generación de estructuras. Se trabaja con bloques de material, que pueden ser de madera, plástico e incluso metal.

**Entrelazado:** Estructuras muy llamativas, que dependen del diseño de la pieza unitaria. Requiere de una labor de diseño y cálculo más específica si se trata de una estructura compleja. La fabricación de las piezas puede ser por corte o por fresado. Los materiales a usar son muy variados.



# 2

## CASO PRÁCTICO

2.1 Temática del caso práctico

2.2 Elección y análisis de la marca

2.3 Materiales y dimensiones

2.4 Estudio de mercado

2.5 Especificaciones de diseño (EDP)

## 2.1 TEMÁTICA DEL CASO PRÁCTICO

*“La arquitectura efímera trata de crear una arquitectura con soluciones innovadoras en términos de miniaturización, autoconstrucción y nuevos materiales. Condiciones como ligereza, economía, rapidez y sencillez de montaje y desmontaje, ..., requieren utilizar el aspecto más innovador de la investigación arquitectónica.”* Willemin, Véronique (2004)<sup>[37]</sup>

Tras haber explorado las posibilidades que ofrece el diseño paramétrico con Grasshopper y haber profundizado en diferentes proyectos que giran alrededor de esta temática, llega el momento de decidir de qué iba a tratar el caso práctico.

Grasshopper ofrece infinitas posibilidades de diseño y puede ser aplicable a muchos campos, por lo que esta elección no resulta fácil. Haciendo ejercicios para comprender la herramienta se aprende que puede servir para modelar tanto una estantería o una mesa, como una gran estructura o fachada, al fin y al cabo todo puede ser parametrizable de alguna forma.

En cualquier caso el diseño paramétrico está cogiendo una fuerte presencia en el campo de la arquitectura y muchos de los proyectos de los que me he ido nutriendo eran de estructura y pabellones.

El objetivo de proyecto es el de explorar las posibilidades que ofrecen estas herramientas a un diseñador y por ello decidí centrarme en la arquitectura efímera, principalmente porque el diseño de estructuras de rápido montaje y desmontaje viene siendo históricamente una rama de la arquitectura donde tiene gran protagonismo la innovación y la búsqueda de nuevos métodos.

*“Se conoce como arquitectura efímera aquel arte o técnica de proyectar y construir edificios que son pasajeros, que duran poco.”*

Esa exploración de nuevas formas de generar espacios y estructuras es la característica que hace que resulte idónea para el objetivo de mi proyecto.

**¿Por qué se usa el diseño paramétrico en el proyecto de pabellones?**

Este tipo de ejercicios, rápidos, sutiles y muy

cargados formalmente, son una excusa perfecta para usar estas herramientas.

Porque posibilitan el desarrollo del proceso de proyecto-modelado 3D-dibujo-proyecto de una forma muy continua y permiten así una facilidad de iteración (diseño por ensayo-error) casi sin precedentes.

Porque tiene una capacidad de generación formal casi tan grande como los sistemas de modelado 3D convencional, pero con ciertos automatismos que legitiman el gesto.

Porque permiten con mucha facilidad la descomposición de lo formal en elementos geométricos de nivel inferior que ayudan a plantear los procesos constructivos.

En definitiva, es un tipo de proyecto que da la libertad necesaria para unificar mis conocimientos de diseño adquiridos en el grado y a la vez investigar y aprender nuevos métodos relacionados con el diseño paramétrico y la fabricación digital, que permite poner en práctica cualquiera de los métodos constructivos estudiados anteriormente, siendo a su vez abordable y realista en cuanto a mis capacidades.

Pero antes de empezar a generar conceptos hay que tener clara una serie de ideas:

**¿Para qué marca o empresa va a ser el stand?**

**¿Qué restricciones existen en el diseño de un stand?**

**¿Cuáles son las tendencias actuales?**

## 2.2 ELECCIÓN DE LA MARCA

La elección de la marca es la decisión más importante puesto que el resto de decisiones de diseño estarán condicionadas de una forma u otra por la identidad de la marca. Se selecciona la marca **NOMAD SKATEBOARDS** (Fig.73) por varios motivos:

- Es una marca de repercusión internacional en el ámbito del skateboarding, creada y afianzada en Zaragoza.
- El diseño está muy presente en sus productos, donde dan mucha importancia a los grafismos de sus prendas y tablas, con una fuerte apuesta por el branding y la identidad de marca.
- El contacto con la empresa para establecer comunicación entre el diseñador y la marca está al alcance de la mano.
- La temática del skateboarding se adapta bastante a las posibles soluciones formales que se pueden conseguir gracias al diseño paramétrico.

### NOMAD SKATEBOARDS

En 1999 un grupo de amigos de Zaragoza cuya pasión era el skateboarding empezaron a imprimir algunas camisetas propias. Soñaban con una marca que se enfocase en la calidad y originalidad de sus grafismos como alternativa a las marcas de skateboarding americanas y sus elevados



Fig. 73- Logo de Nomad.

precios. Querían construir su propio proyecto que sirviese además para apoyar la escena española, que ahora es una de las más activas en Europa.

Dos años después, en 2001, NOMAD SKATEBOARDS se creó como la primera marca de skateboard en España. Su nombre es una referencia al nomadismo, ya que la marca está basada en valores y experiencias adquiridas a partir de numerosos viajes, donde conocían skateboarders extranjeros y descubrían nuevos lugares.

Actualmente está establecida en más de 22 países, apoyando activamente la escena europea. Además, está muy involucrada con el ámbito artístico underground de Zaragoza, trabajando con diseñadores y artistas para darles la oportunidad de expresarse a sí mismos. En su progreso y evolución siguen manteniendo en mente que una marca no es solo un logo, sino unos productos que reflejan una forma de vivir y comportarse, lo que está fuertemente ligado a aquello que más aman: el Skateboarding.<sup>[38]</sup>



Fig. 74- Imagen publicitaria presentando la colección de tablas más reciente.





**Situación:** Zaragoza.

**Productos:** Camisetas, pantalones, sudaderas, chaquetas, gorras, tablas de skate, ruedas y más accesorios.

**Valores de la marca:**

Calidad

Diseño

Originalidad y variedad

100% Skateboarding, apoyo a la escena nacional

En sus grafismos predominan las combinaciones de geometrías, las figuras simples y sobre todo una cuidada selección de colores (Fig. 75). No obstante es difícil catalogar su estilo ya que muchos de sus diseños están hechos por diferentes diseñadores gráficos, cada uno con su propia identidad. Este es, en parte, uno de los aspectos más importantes de la marca: la oferta de variedad en cada nueva colección.

La imagen que se intentará transmitir será concorde a los colores neutros que predominan en sus catálogos, e intentando coger la tendencia más reciente hacia una marca de ropa de calidad, basándose en diseño elegantes y en su mayoría simples. La línea general tiende a ser elegante y minimalista.



Fig. 75- Productos de Nomad.

## ASPECTOS RELEVANTES EN EL DISEÑO DE UN STAND

Un stand es el espacio dentro de una feria o salón en el que una empresa expone y presenta sus productos o servicios. Es una carta de presentación de la empresa y en él se realizan acuerdos con clientes y negociaciones comerciales. Debe constituir el espacio en que la empresa se presenta ante sus clientes y ante su competencia por lo que debe reflejar fielmente su filosofía e imagen corporativa constituyendo a su vez un entorno ameno y atractivo. Cualquier decisión de diseño, formal, de materiales, etc. deberá estar justificada y relacionada con la marca.

Todo lo relativo al diseño de un stand pertenece al mundo del marketing y la publicidad y está fuertemente vinculado a una teoría conocida como “Stop, Hold and Close”<sup>[38]</sup> (Parar, mantener y cerrar). Esta teoría habla de la estrategia a seguir para cerrar acuerdos comerciales en 3 pasos:

**Stop:** Lo primero es hacer que el cliente se frene y se detenga delante de nuestro stand. Para conseguirlo se pueden emplear diferentes técnicas como ofrecer parte del producto o transmitir una imagen impactante.

**Hold:** Una vez parado el cliente debemos aprovechar ese minuto que nos da para ofrecerle toda la información que se quiera transmitir. Es importante que el mensaje sea claro y se identifique rápidamente, por lo que hay que hacer un ejercicio de síntesis para no saturar al cliente.

**Close:** Se refiere al momento en el que se cierra el acuerdo o venta. En un stand también podría ser el caso en el que un promotor deja su tarjeta o se acuerda una reunión.

En el mercado existen dos tipos de stand: stand modular o stand personalizado.

El **stand modular (Fig.76)** es aquel que se construye a partir de módulos provenientes de un catálogo, y suelen estar compuestos de unas guías de aluminio y unos paneles que limitan el espacio del stand. Las medidas de estos módulos están estandarizadas y se pueden acoplar tantos como se desee. La ventaja de este tipo de stands es el aho-

rrro económico que supone al no tener que contratar mano de obra especializada o tener que pagar un proceso de diseño. Sin embargo, el stand puede resultar muy básico y si se quiere impactar o llamar la atención puede ser insuficiente. Por ello las grandes empresas suelen exponer en stands personalizados.

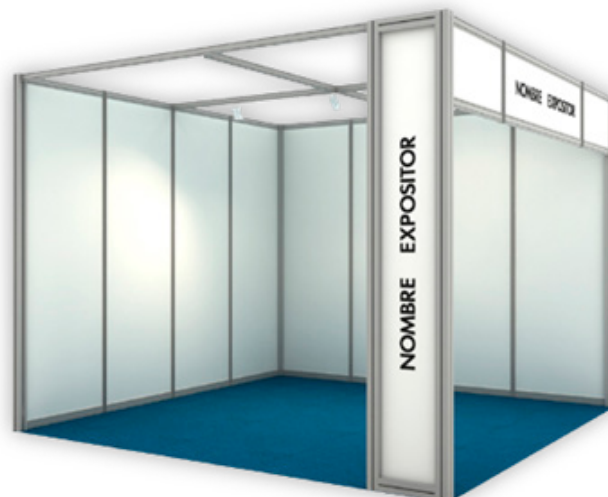


Fig. 76- Stand modular.

Un **stand personalizado (Fig.77)** es aquel que sigue un proceso de diseño y por lo tanto es mucho más libre. De esta forma se puede realizar un stand que represente mejor los valores de la marca y que transmita mucho más al cliente, pudiendo construir cualquier idea (siempre que sea viable, obviamente). Esta libertad formal es idónea cuando lo que se pretende es causar un impacto entre los visitantes a la feria.

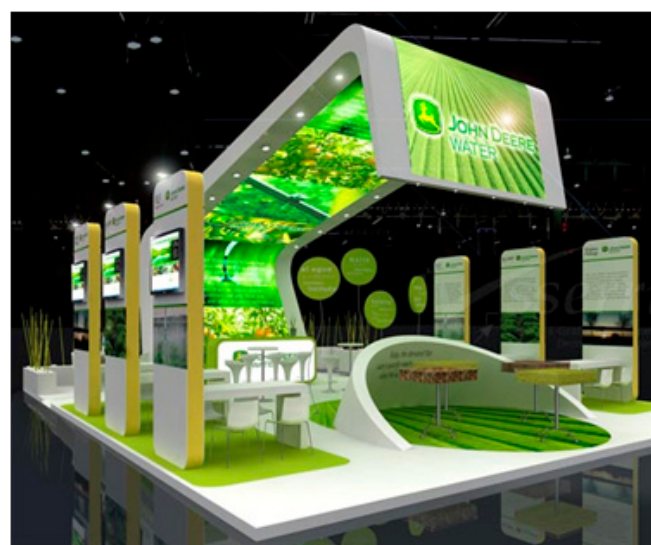


Fig. 77- Stand personalizado.

## 2.3 MATERIALES

A la hora de diseñar un stand personalizado nos encontramos con requisitos tales como el material en el que se van a fabricar los elementos del stand, el espacio asignado o el presupuesto disponible.

Los materiales a utilizar deben ser **flexibles o capaces de adoptar formas más atractivas** que simples líneas rectas. También hay que recordar que deben ser materiales relativamente ligeros, ya que el transporte y montaje se debe hacer en un corto período de tiempo, y por supuesto deben ser ignífugos.

En las ferias están prohibidos todos los materiales de albañilería: ladrillos, cemento, mezclas, yeso o cualquier tipo de construcción húmeda.

Los materiales que se suelen emplear para la construcción de los stands más sofisticados son **planchas de madera cortada y pintada (Fig. 78)**. Para el suelo se suele recurrir a tableros elevados unos centímetros, de melamina o madera revestida con moqueta coloreada.



Fig. 78- Procesos de construcción de stands en una feria.



### 2.3.1 TABLEROS DE MADERA

Visto que por lo general se suelen hacer los stands en tableros de madera, a continuación se estudian qué tipos hay y qué características tienen<sup>[40]</sup>:

**Contrachapados (Fig.79):** Tableros formados a partir de chapas o láminas de madera superpuestas, unidas entre sí con adhesivos, con las fibras en perpendicular unas respecto de otras. El número de chapas a utilizar ha de ser impar con el fin de equilibrar su estructura y que sean más estables.

- **Maderas típicas:** pino, abeto, sapeli, calabo, caoba, abedul, haya y roble.
- **Tipos:** de interior, de exterior, náutico o marino (okume) y estructural.
- **Características:** en general, son muy sensibles a los cambios de humedad y temperatura, y pueden llegar incluso a curvarse y a variar de volumen.



Fig. 79- Tableros de contrachapado.

**Laminados (Fig.80):** También está formado a partir de sucesivas capas de madera pegadas con un adhesivo, solo que en este caso las fibras de las diferentes capas son paralelas. Este tipo de tableros se usan más para aplicaciones estructurales. A veces pueden llevar las chapas exteriores (cara y contracara) con la dirección de las fibras perpendiculares al resto de las chapas que forman el tablero.

- **Maderas típicas:** chapas de 5 mm de espesor máximo de abeto, pino Oregón, alerce o pino amarillo del sur.
- **Características:** La característica principal del tablero / perfil laminado es la uniformidad de sus propiedades y su poco peso. De forma particular sus propiedades resistentes (en especial la resistencia al esfuerzo cortante) son buenas.



Fig. 80- Tableros laminados.

**Aglomerados (Fig.81):** También se conocen como tableros de virutas o de partículas. Están fabricados a partir de virutas de madera o de otros materiales lignocelulósicos (cañamo, lino, bagazo y similares), a los que se le aplica calor y presión, que junto con un adhesivo forman el tablero. Son estables y consistentes pero pueden romperse con facilidad. Por lo general, se presentan con alguna chapa de madera en cara y contracara, o plastificados con melamina.

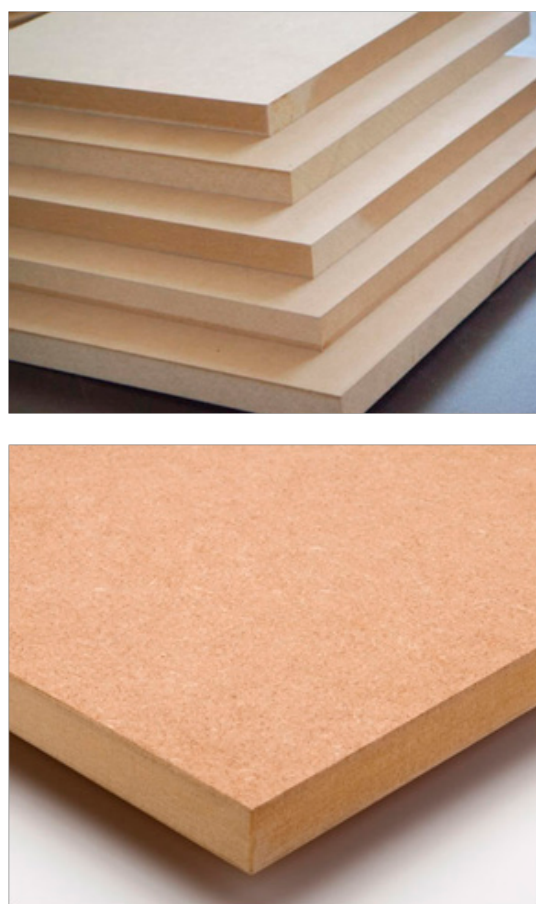


**Fig. 81-** Tableros aglomerados.

**Tableros de fibras (Fig.82):** Se fabrican a partir de fibras de madera muy desmenuzadas para obtener superficies más suaves, a las que se le aplica calor y/o presión a las fibras mientras se añade un adhesivo. A mayor cantidad de adhesivo, mayor peso. Los tableros se clasifican en función de su dureza o densidad: Tableros de densidad baja, media o alta.

**Tableros de densidad media (MDF):** Formado por fibras de madera seca (astillas molidas a las que se elimina la lignina- pegamento natural), aglutinadas con resinas sintéticas, que son compactadas en un proceso controlado que utiliza alta presión, tiempo y temperatura. Presenta una estructura uniforme y homogénea y una textura fina que permite que sus caras y cantos tengan un acabado perfecto. Se trabaja prácticamente igual que la madera maciza, pudiéndose fresar y tallar en su totalidad.

- **Maderas habituales:** pino.
- **Características:** No es apto para exterior ni condiciones húmedas. Existen placas de DM que llevan un tratamiento antihumedad (hidrófugo)



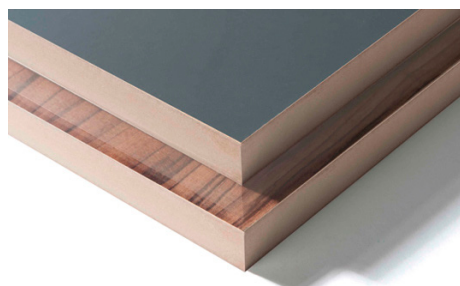
**Fig. 82-** Tableros de densidad media.

**Acabados de los tableros:** Los tableros pueden tener acabados superficiales que les den una mejor estética.

**Chapa de madera natural:** La selección de la chapa nos permite encontrar un producto de muy buena calidad, excelente terminación y variados diseños y la estética de la madera.

**Lacados:** Acabados con laca que les aporta una mayor resistencia a arañazos y un aspecto desde ultra mate hasta muy reflectante.

**Melaminados:** La melamina es un tablero aglomerado de partículas, recubierto por ambos lados con películas decorativas impregnadas con resinas melaminicas, lo que le otorga una superficie totalmente cerrada, libre de poros, dura y resistente, que soporta el calor, etc. Puede ser cortada, aserrada, perforada, clavada, atornillada, fresada y sus cantos cepillados.



**Fig. 83-** Acabados en chapa de madera (superior), lacado (en medio), y melaminados (inferior).

## TRATAMIENTO DE LOS TABLEROS

De los tipos de tableros vistos, la mayoría son susceptibles de ser tratados con Corte CNC. El corte láser se restringe a unos espesores determinados, y no en todos los tableros tiene un buen acabado puesto que el laser quema y puede dejar un contorno negro no deseable, sobre todo en tableros con un laminado que podría quemarse en exceso.

No obstante, el corte CNC se puede realizar con una sierra o una fresadora automática, cuyo rango de actuación es mucho más amplio. Existen seccionadoras de gran tamaño que pueden abarcar espesores de más de 30mm, una medida que no son capaces de cortar las máquinas de láser.

## RELACIÓN PESO-RESISTENCIA

En general, los tableros más pesados suelen ser los de MDF. Si se busca algo más ligero lo mejor es pensar en un aglomerado. No obstante, los aglomerados son más difíciles de mecanizar al

estar compuestos de virutas grandes pueden romperse antes.

El contrachapado también es una buena solución en cuanto a peso y resistencia, pero su precio suele ser más elevado.

En definitiva, cualquier tablero cumple las especificaciones en mayor o menor medida. Para comprobar esto, se realizará un análisis mecánico con el fin de determinar el material definitivo.

En cuanto a la estética, al contar con una infinidad de acabados en cualquier tipo de madera, se buscará un acabado en laminado o chapa de una madera bastante elegante y que no resalte demasiado, algo neutral.



## DIMENSIONES

Cada stand tiene una superficie asignada y esta asignación depende del presupuesto que cada empresa invierte en la exposición. En consecuencia, las empresas de prestigio suelen escoger espacios amplios.

Existe una gran variedad en cuanto al tamaño de parcelas que ofrecen las diferentes ferias, pero por lo general, tras leer algunas normas de ferias, se observa que la mayoría de los stands están restringidos en altura hasta unos 4m, 4,50m. Existen excepciones de stands de hasta 6 y 7 metros, pero no suele ser lo normal.

Los stands más pequeños suelen ser de 2x3x2.8m, 3x3x2.8m (parcelas de 6m<sup>2</sup> o 9m<sup>2</sup>), y los más grandes pueden llegar a abarcar una superficie muy amplia, de hasta 300m<sup>2</sup> (incluyendo dos pisos).

Las restricciones dimensionales también vienen dadas por los métodos de fabricación. Si se quiere trabajar con tableros de madera, hay que tener en cuenta que las dimensiones máximas de un tablero de MDF en el mercado son de alrededor de 3500x2000mm, y de un espesor de hasta 60mm.

Por otro lado, si se desea cortar ese tablero con una máquina de corte CNC, también hay que tener en cuenta el plano de trabajo de la máquina, el cual no supera los 3000x1500mm en las máquinas de corte más grandes, aunque también existen máquinas de corte industriales de 4000x10000mm pero no son muy accesibles. Las fresadoras CNC más grandes que se encuentran son de 3100/4100 x 1000mm, aunque también existen excepciones poco accesibles. Por ello, si se trabaja con proyectos de gran envergadura, lo más probable es que se tenga que plantear uniones de varios tableros o piezas.

## 2.4 ESTUDIO DE MERCADO

Se elabora un estudio de las últimas tendencias y modelos de stand para que sirva tanto de análisis de los cánones que se siguen a la hora de diseñar un espacio expositivo como de inspiración acerca de formas y acabados que se pueden llegar a conseguir.

El estudio de mercado se va a dividir en 3 grupos:

**Stands de diseño innovador:** se realizará una búsqueda de aquellos que sean especialmente rompedores y se analizará el por qué.

**Stands de diseño paramétrico:** algunos ejemplos de espacios expositivos donde se ha aplicado el concepto de diseño paramétrico y fabricación digital, con el objetivo de ver en qué se puede mejorar e innovar.

**Stands o tiendas de skate:** para observar como exponen sus productos o realzan sus virtudes otras marcas del sector.

### Elementos de un stand (Fig.84):

Por lo general, un stand debe tener varias zonas diferenciadas:

Mostrador para recepción o atención al cliente.

Zona amplia y diáfana para recibir a los visitantes en la que se pueden disponer diversos muebles (mesas, sillas, taburetes, etc.) e incluso, una pequeña barra para servir aperitivos. En esta zona se muestra el producto y se pone a disposición del visitante la documentación promocional.

Zona reservada, separada por un biombo o mampara para mantener conversaciones privadas con clientes.

Almacén para guardar los productos, bebidas y material promocional.



Fig. 84- Render de un stand diseñado por Comunicación&Diseño para GPtech.

## STANDS DE DISEÑO INNOVADOR



**AMEGA Biotech (Fig.85)**

Stand de mediana envergadura, donde el espacio envuelve al visitante con una estructura que da importancia a la estética del material (el recubrimiento de madera) y la mezcla de éste con el color naranja corporativo.

### Claves:

Buena visibilidad del logo  
Espacio amplio  
Forma llamativa

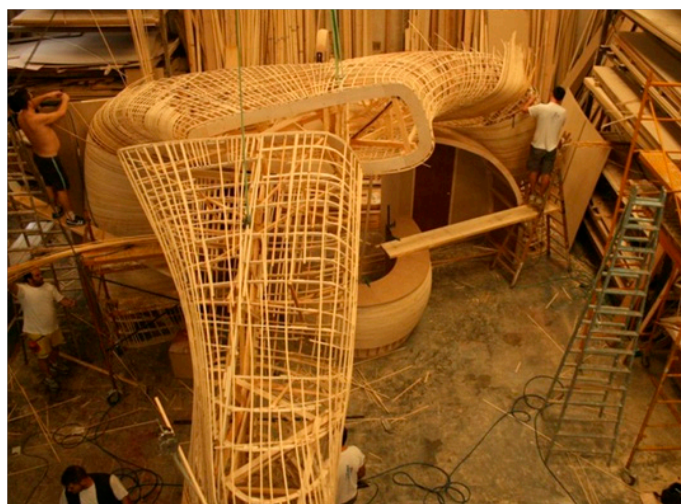
**ACINO (Fig.86)**

Stand de grandes dimensiones fabricado mediante un entretezado de varas de madera, que representa una fusión entre la artesanía tradicional utilizada en las fallas valencianas que se llama "vareta" y las más innovadoras formas orgánicas.

Diseñado para la empresa farmacéutica Acino, pretende evocar las montañas de Suiza, país de origen de la marca.

### Claves:

Espacio muy acogedor y llamativo  
Forma innovadora de construcción de un stand



**Fig. 85-** Arriba. Foto del stand para Amega Biotech.

**Fig. 86-** Derecha. Imágenes del stand para Acino y fotos de la construcción del mismo.





### TOYOTA (Fig.87)

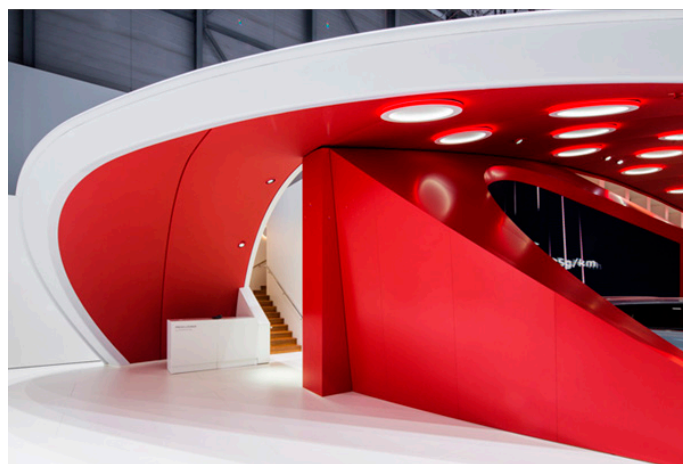
El diseño del stand “The Wave” para Toyota es una gran superficie blanca envolvente, coronada por el logo, que recoge una fachada de LEDs y de espacios interactivos. La fortaleza de este diseño reside en la simpleza del concepto, con un forma continua, suave y nada sobrecargada, en contraposición con la complejidad que supone el reto ingenieril de construir esas formas.

#### Claves:

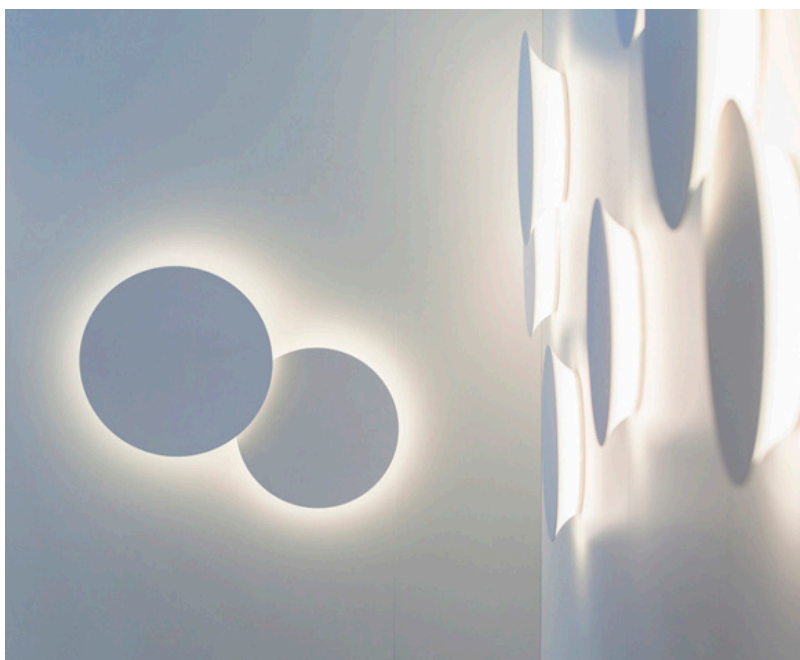
Sencillez visual

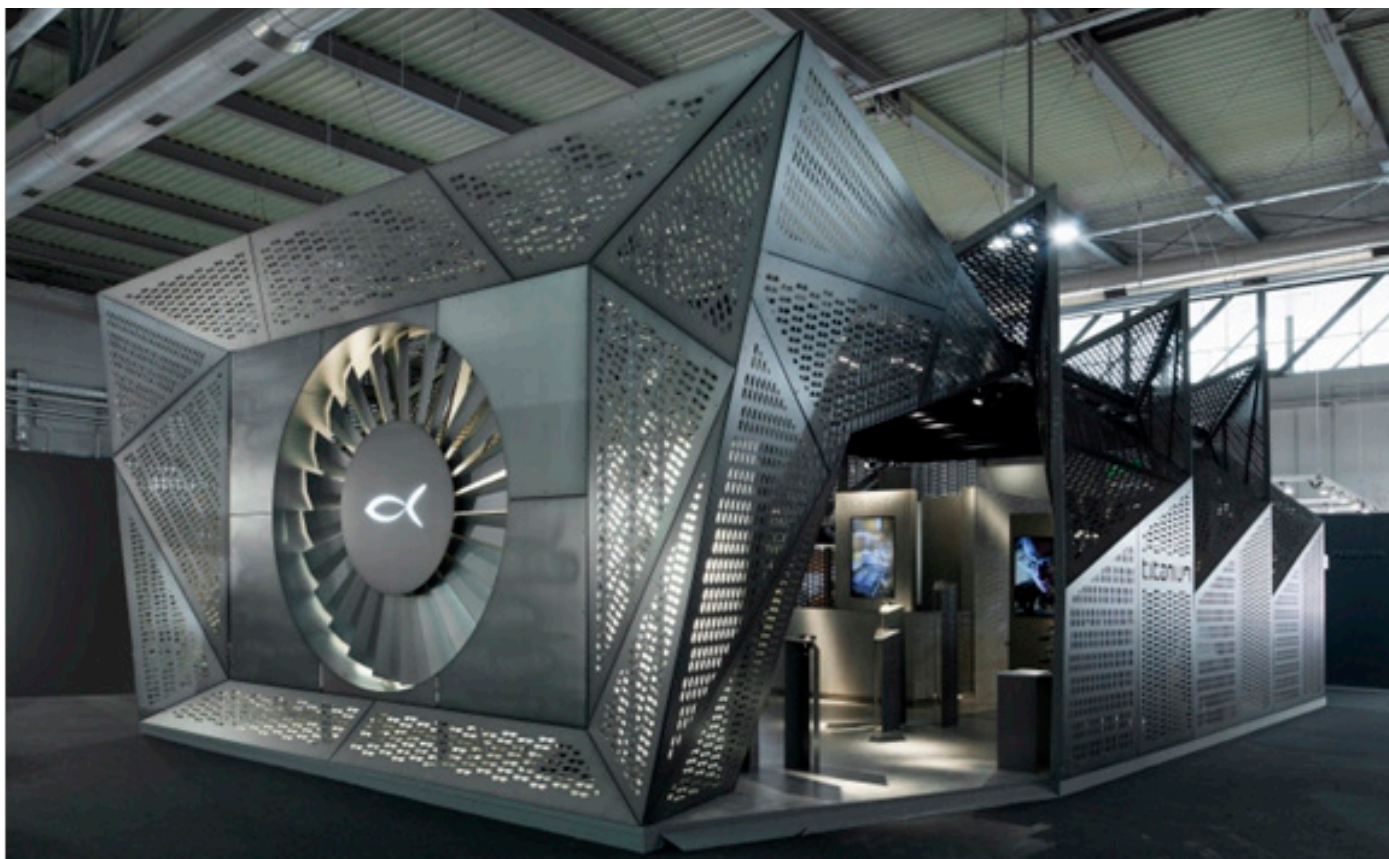
Materiales e iluminación muy cuidados.

Grandes dimensiones y formas curvas.



**Fig. 87-** Toyota “The Wave” global stand, hecho por Déri Design.





### BLACKFIN (Fig.88)

Stand para la marca italiana Blackfin Titanium Eyewear, que fabrica gafas de alta calidad usando titanio. Con el diseño se propone una imagen impactante, como de una máquina de gran potencia, transmitiendo fortaleza y tecnología, lo que se consigue con el uso de materiales como la chapa perforada o el efecto hormigón del suelo.

#### Claves:

- Cuidada selección de los materiales
- Gran impacto visual
- Inclusión de elementos externos (turbina)



Fig. 88- Imágenes del exterior e interior del stand para Blackfin





### CERRO VERDE (Fig.89)

Stand fabricado para la empresa Cerro Verde donde predomina el uso de un material reciclable (madera blanca de pino y chapas de cobre) como señal del compromiso de la empresa con el desarrollo sostenible.

Destaca la geometría rectilínea del stand creada a partir de bloques modulares que se van alternando, creando los espacios de exposición y de descanso de los visitantes de la feria. Además de paneles, se incluyen elementos móviles para favorecer la interacción del usuario.



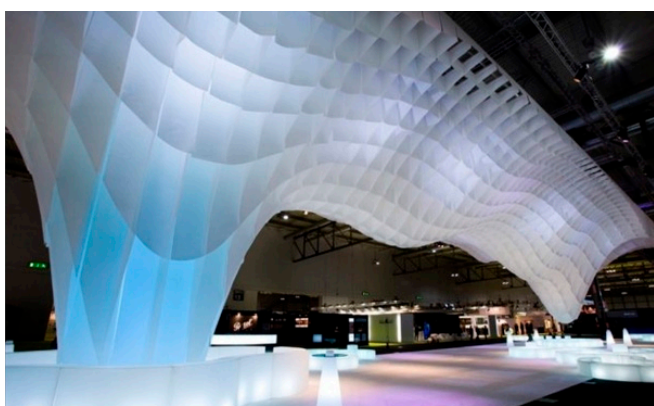
Fig. 89- Imágenes del exterior e interior del stand de Cerro Verde.



## STANDS DE DISEÑO PARAMÉTRICO

Aunque la conocida como smart geometry y la fabricación digital se están explotando en mayor medida en el mundo de la arquitectura o en la construcción de pabellones, algunas empresas deciden usarlo para el diseño de sus stands.

Sin embargo, no se encuentran numerosos ejemplos de la aplicación del diseño paramétrico para un stand comercial, quizá porque no se ha sabido explotar bien su potencial o no se ha sabido dar una coherencia entre la imagen de la marca y las formas que se pueden conseguir con estas herramientas.



### MIDO (Fig.90)

Una de las empresas que confió en las posibilidades de la smart geometry es MIDO, una marca internacional de óptica, optometría y oftalmología. Para su stand en la feria de Milán se utilizaron 2200 piezas de papel cortadas, consiguiendo una estructura que abarcaba hasta 4600m<sup>2</sup>, donde se mostraban diferentes modelos de gafas y se proporcionaba una zona de descanso.

El resultado final se asemeja mucho a la construcción vista en el apartado de fabricación digital, el Metropol Parasol de Sevilla (pag 19), es decir una construcción basada en el método del seccionamiento. La diferencia en este caso reside en el uso de la iluminación interna, que gracias al material y a su disposición crea efectos visuales muy llamativos cambiando las tonalidades.

#### Claves:

- Seccionamiento en dos ejes
- Estructura de gran envergadura
- Espacio diáfano
- Iluminación y efectos visuales muy conseguidos

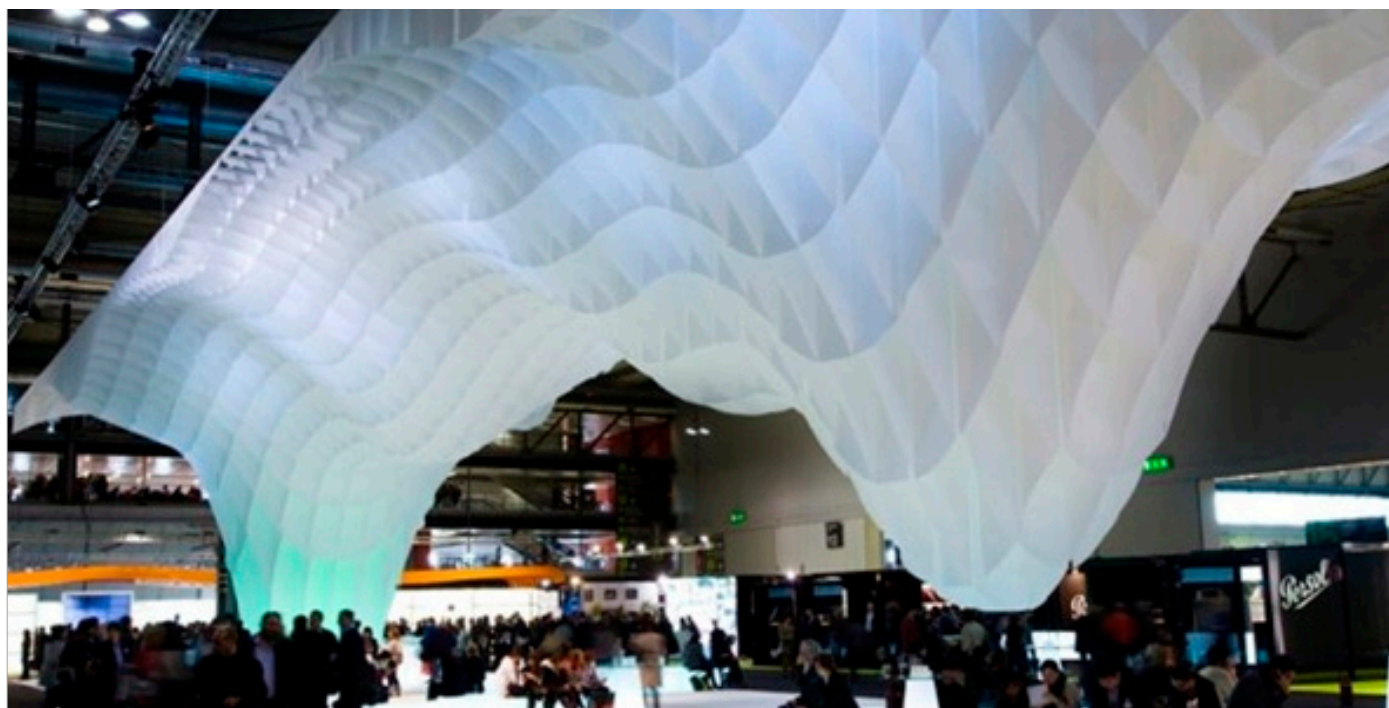


Fig. 90- Estructura iluminada del stand para MIDO.

## TOYOTA (Fig.91)

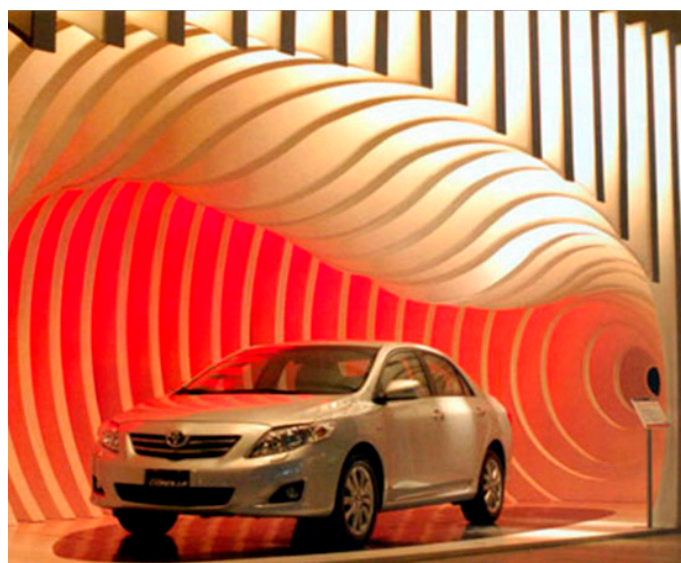
De nuevo un stand para diseñado para Toyota, esta vez en en la exposición ArteBA 2008 (Buenos Aires), el stand tiene como centro de toda la estructura la nueva línea de coches que por entonces se lanzaba al mercado. Encontramos un ejemplo de la aplicación del seccionamiento para el diseño de un stand, y es que se trata de una de las técnicas más recurrentes.

En este caso la idea es la de ahuecar un sólido, dejando el espacio para exhibir el coche que se concibe como un objeto de diseño, tecnológico, donde predomina la calidad. Y una vez más se usa la iluminación que varía en tonalidad y que se esconde entre las secciones, lo cual da un resultado muy satisfactorio.

### Claves:

Stand minimalista

Seccionamiento e iluminación intermitente, técnicas que combinan muy bien



**Fig. 91-** Imágenes del stand para Toyota en la feria ArteBA 2008.





### BAERLOCHER (Fig.92)

En el stand que se diseñó para la marca Baerlocher, uno de los proveedores de aditivos plásticos más importantes del mundo, se puso en práctica herramientas de fabricación digital y software 3D. Debido a que no tienen ningún bien de consumo ni producto concreto que exhibir, el propio stand se convierte en el producto exhibido.

De esta forma usaron el símbolo químico de una molécula de plástico como elemento de una compleja y repetitiva estructura donde se ponía de manifiesto el slogan de la empresa “Añadimos carácter al plástico”.

#### Claves:

Tema del stand muy bien seleccionado  
Innovación en la aplicación de técnicas de fabricación digital (evitando las soluciones más directas)



Fig. 92- Interior del espacio expositivo para Baerlocher.



## STANDS Y TIENDAS DE SKATE Y ROPA DEPORTIVA



O'NEILL (Fig.93)

Para el stand de O'neill expuesto en la feria ISPO de Munich de ropa deportiva, se usa también una técnica parecida al seccionamiento. El espacio del stand viene determinado por una estructura a base de secciones de madera cortadas y con diferentes inclinaciones que sirven como estantería para exponer los últimos productos de la marca.



Fig. 93- Stand de O'neill para la ISPO de Munich diseñado por el estudio Hpyssos.



## VANS (Fig.94)

VANS es una marca de skateboarding reconocida mundialmente y suele estar presente en la mayoría de ferias de ropa deportiva. En sus stands predomina la sobriedad, los colores neutros y el uso mayoritario de la madera. Grises, blancos y negros se mezclan para transmitir una imagen elegante pero sin perder la informalidad característica de la ropa urbana.

El espacio está ideado como si fuese una tienda y los muebles que se usan son simples y directos, mesas y estantes rectos y en madera, con detalles muy sutiles. A destacar la ausencia de maniqués.

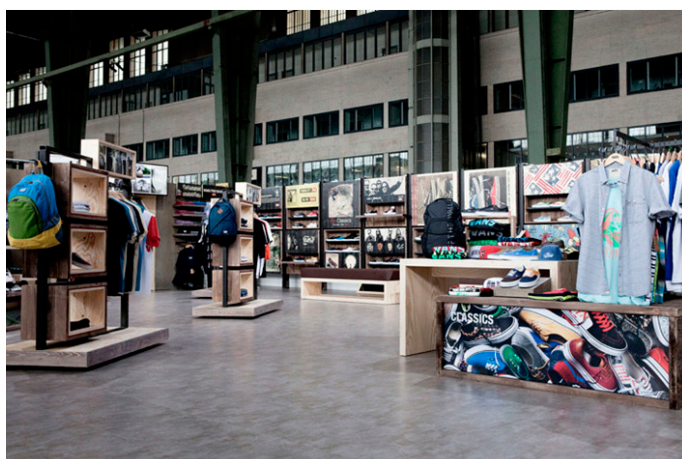
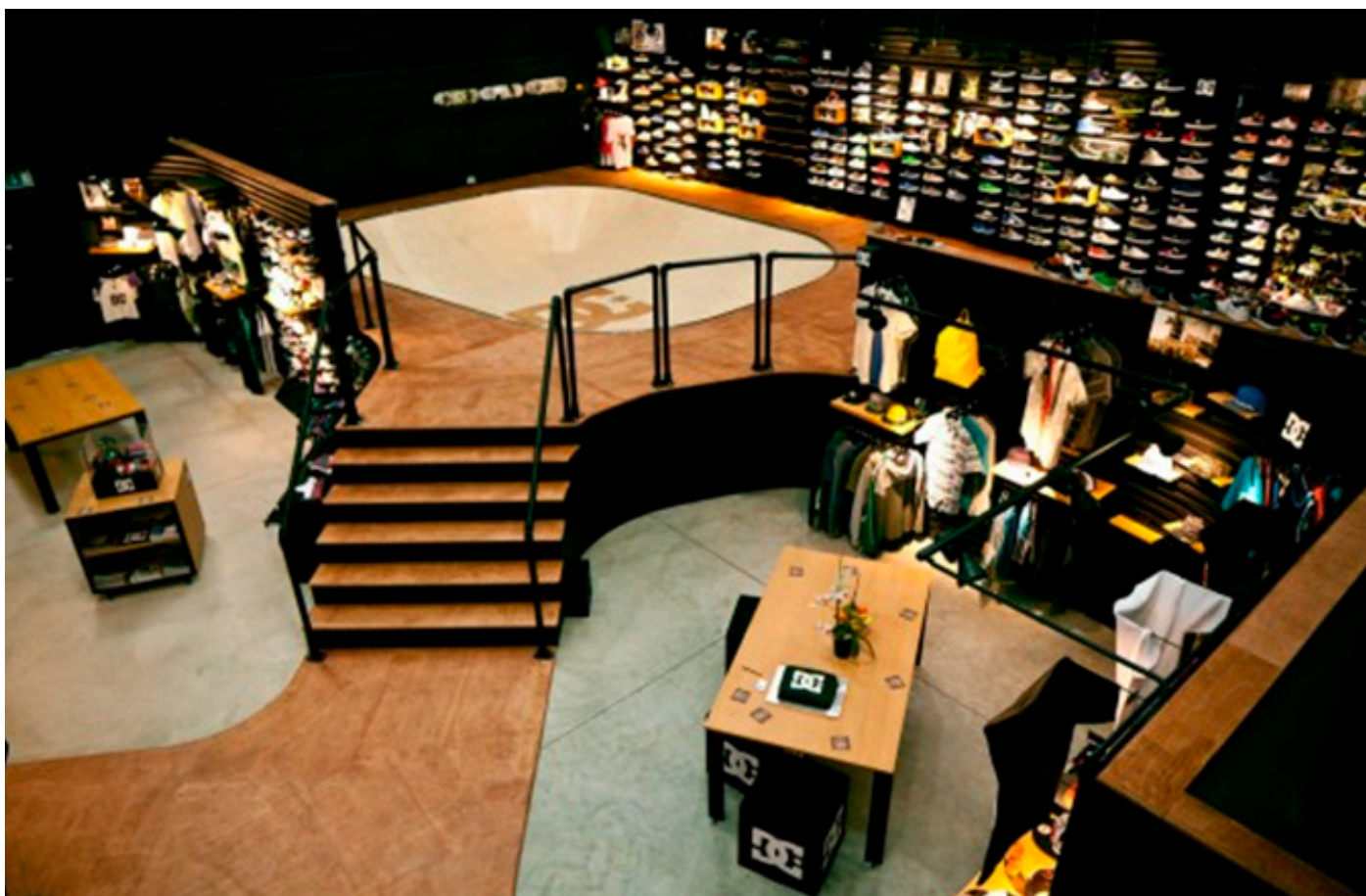
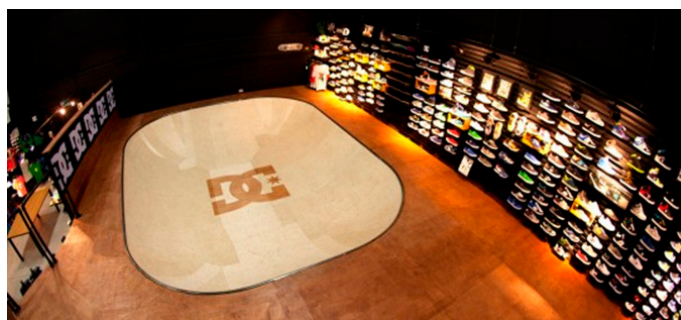


Fig. 94- Espacio expositivo de Vans.



**DC SHOES (Fig.95)**

Sala de muestra de la marca DC Shoes, donde se decide incluir una rampa de patinaje para poder probar in situ los nuevos productos. El aspecto general de la sala destaca de nuevo por el uso de la madera y colores neutros, así como luz focalizada hacia las zapatillas y camisetas. También se recurre al uso de elementos urbanos como barandillas.



**Fig. 95-** Sala de muestras de DC Shoes.



## RIP CURL (Fig.96)

Rip Curl es una marca de ropa de surf y snowboard, y en el stand de ISPO Munich 2011 apostó por abarcar un gran espacio con doble piso, donde las zonas del mismo estaban diferenciadas según las diferentes colecciones que se presentaban.

Se repite el logo a lo largo de todo el stand y se observa una gran cantidad de productos expuestos, así como diversas pantallas repartidas por el espacio



Fig. 96- Espacio expositivo de Rip Curl.

## CONCLUSIONES

Es recomendable intentar evitar las disposiciones tradicionales (mostrador, zona apartada, etc.) y buscar una organización del stand en función del producto.

Se evitarán las formas cuadriculadas que limitan el espacio por módulos.

Hay que buscar una continuidad en todo el espacio y mantener una coherencia en el uso de materiales, colores e iluminación. Se intentará evitar por lo tanto zonas diferenciadas de forma brusca.

Es mejor exponer pocos productos e información que exponer muchos y saturar al cliente. Se buscará un espacio abierto, diáfano y con los elementos necesarios para no proporcionar una información excesiva.

El aspecto estético debe ser elegante, usando materiales como la madera y plástico mate (en colores negros, blancos y grises).

Se puede recurrir al uso de elementos urbanos, siempre de una forma más insinuada y como detalle evocativo, nunca de una forma directa (sería una solución poco creativa).

El apoyo gráfico debe ser simple y directo.

En el uso de herramientas de diseño paramétrico y fabricación digital es necesario buscar un plus de originalidad y buscar formas o combinaciones con la iluminación que no se hayan hecho hasta ahora.

El logo debe ser visible desde cualquier zona del stand y puede repetirse varias veces.

## 2.5 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

### CRÍTICAS

Materiales ignífugos, ligeros y que puedan ser cortados o manipulados con máquinas de fabricación digital: tableros de contrachapado, mdf o aglomerado.

Dimensiones del stand: 6 x 15 x 4.5m

Dimensiones máximas de piezas a fabricar:

Cortadora láser: 3000x1500mm, espesor entre 17 y 30mm.

Cortadora-fresadora: 2440 x 1220mm, altura 200mm, espesor entre 17 y 30mm.

Fresadora automática: 4270 x 2310 x 1730 mm.

Presencia del logo.

Uso de dos de los métodos constructivos vistos en la Fase I: Seccionamiento y Teselado.

Destacar última colección de tablas y camisetas (por lo que debe haber soportes para la exposición de una gran cantidad de tablas y de algunas camisetas).

Montaje rápido y bien planificado: elaboración de unas instrucciones de montaje y un diseño con un ensamblaje claro.

Visualmente muy llamativo.

### DESEABLES

Zonas interactivas donde el visitante participe.

Colores oscuros y neutros, combinación con la madera.

Transmitir calidad, diseño, marca cercana al usuario, skateboarding.

Organización innovadora del stand, alejándose de las disposiciones tradicionales.

Transmitir la idea de una marca que ha evolucionado y posee mucho potencial.

Coherencia y continuidad.

Apoyo con elementos gráficos o fotografías impresas a gran escala.



# 3

## FASE DE DISEÑO

3.1 Generación de conceptos

3.2 Desarrollo de la estructura

3.2.1 Modelado del sólido

3.2.2 Algoritmo sectioning

3.2.3 Análisis mecánico

3.3 Desarrollo del interior del stand

3.3.1 Modelado y algoritmos

3.3.2 Muebles y distribución

3.4 Renders

3.5 Montaje

3.6 Maqueta

3.7 Conclusiones, trabajo futuro y  
opinión personal

# 3.1 GENERACIÓN DE CONCEPTOS

## INTRODUCCIÓN

Después de adquirir una serie de conocimientos acerca de la fabricación digital, el software a utilizar, materiales y tendencias, se puede empezar a plantear el diseño del caso práctico, en el que se pretende plasmar todas las conclusiones extraídas de las dos primeras fases, así como aprender verdaderamente como se trabaja en el caso proyectos reales de estas características.

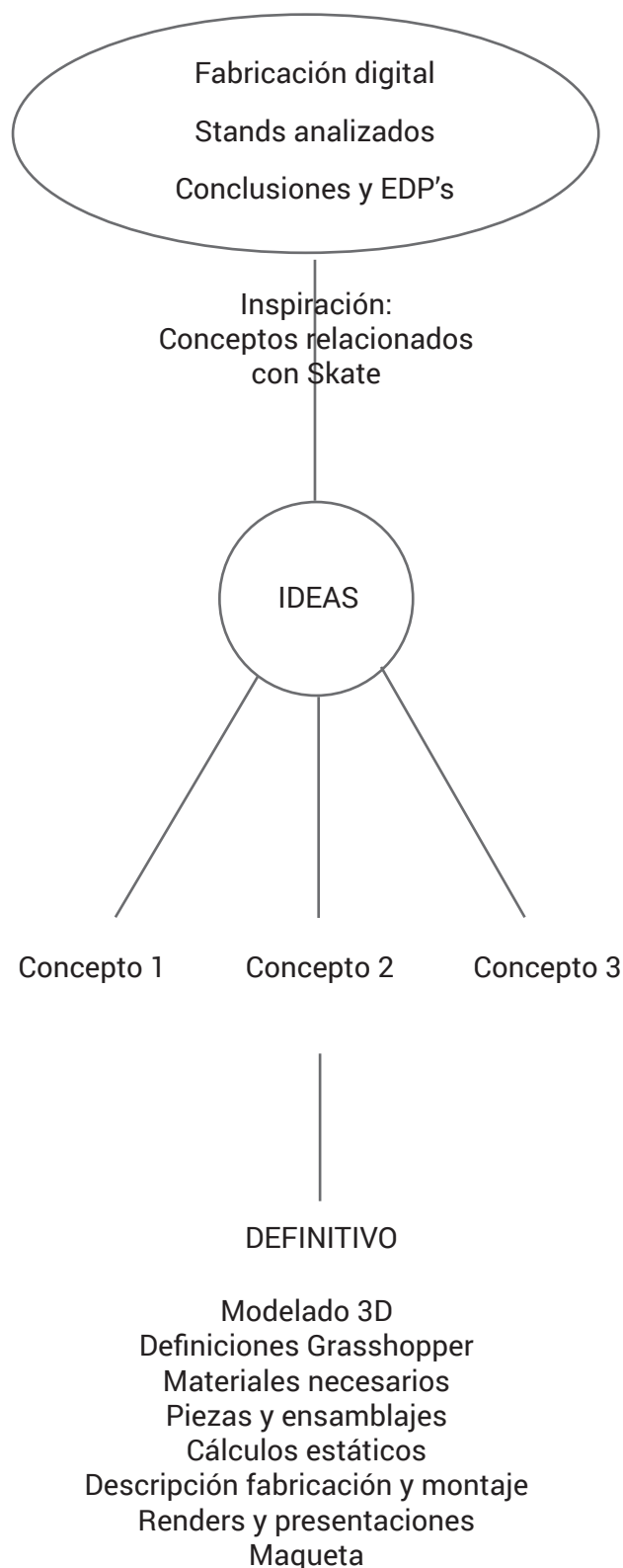
El diseño que se realizará a continuación viene a ser la materialización de todo lo aprendido hasta ahora, de manera que sirva como método para completar el proceso de aprendizaje, esta vez mediante la puesta en práctica.

## PROCESO DE DISEÑO

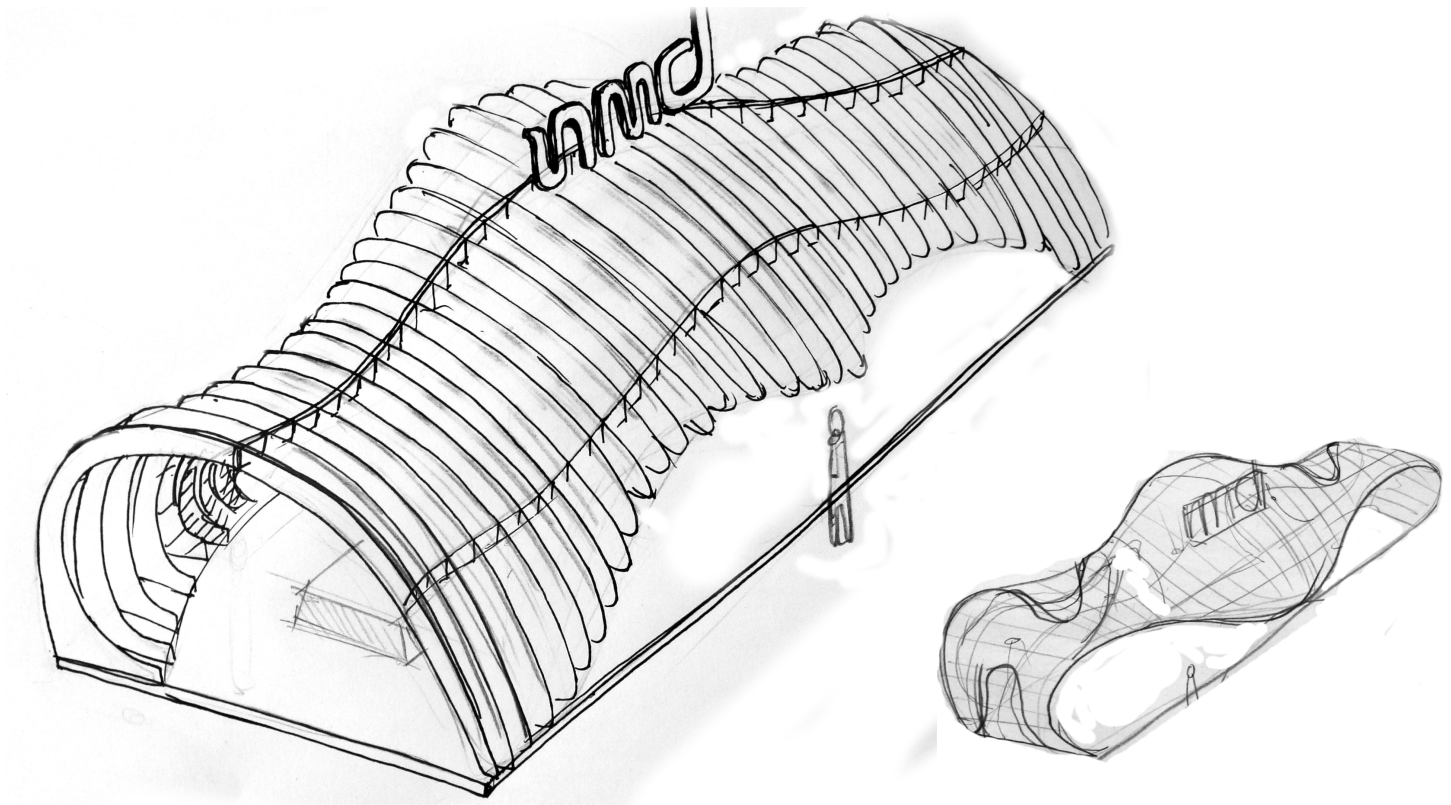
Se seguirá un proceso de diseño basado en una generación inicial de ideas. Estas ideas serán abstractas al principio, puesto que se está trabajando sobre formas para una arquitectura efímera, no sobre un problema concreto que haya que solucionar. Aplicando todo lo visto hasta ahora, unido a algunos conceptos relacionados con el skate, surgen ideas sobre diferentes geometrías y espacios expositivos. **(Fig. 45 )**

Después, se clasifican dichas ideas en 3 conceptos claramente diferenciados, para después realizar una valoración y seleccionar finalmente el concepto a desarrollar.

La parte principal del proceso de diseño en este trabajo se encuentra en el desarrollo del modelado 3D y los algoritmos que lo sustentan, así como en la selección de los materiales y el diseño de los ensamblajes.



## CONCEPTO 1



### ESTRUCTURA ENVOLVENTE

**Leif motif:** Trayectoria de la tabla de skate.

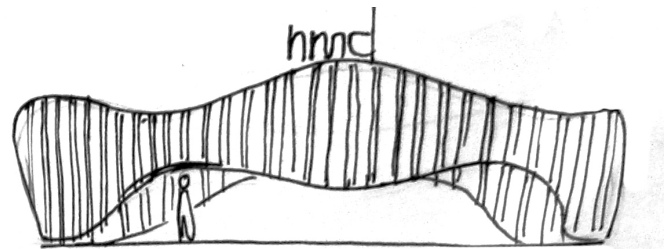
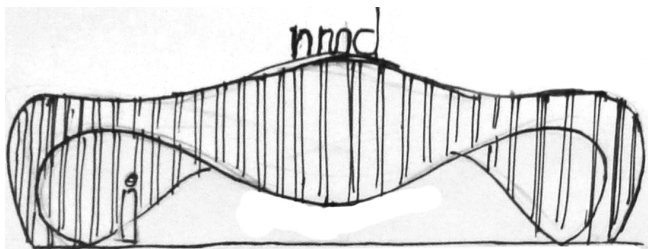
El primer concepto se inspira en la trayectoria que sigue la tabla de skate cuando se realizan trucos con ella (**Fig.97**) o se patina a lo largo de un skatepark. Las líneas enrevesadas y curvas de la trayectoria sirven de base para generar un volumen complejo, teniendo así una especie de carpa irregular que hace de techo y llama la atención del visitante .

Se pretende además explotar al máximo la potencialidad del método constructivo del seccionamiento con un volumen que cambia y que adopta una forma orgánica y cambiante. Es un



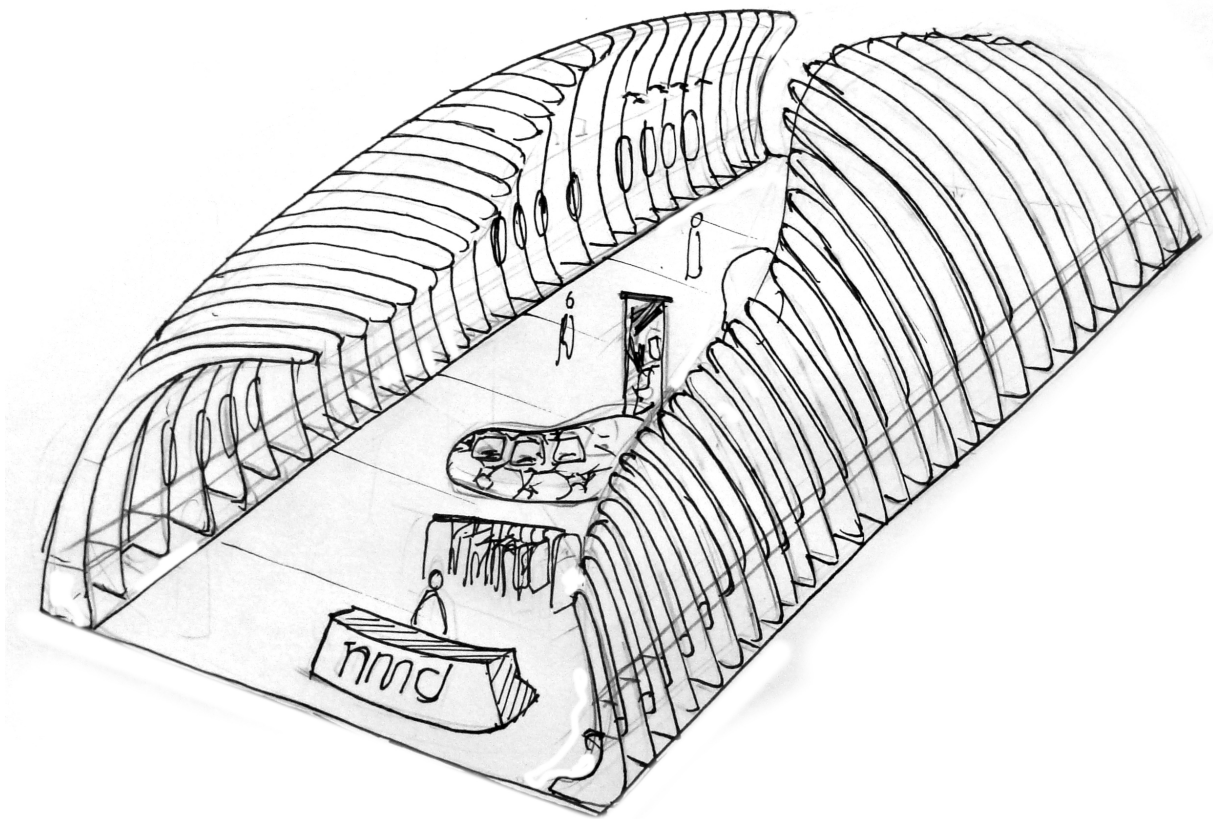
**Fig. 97-** Foto de la trayectoria de una tabla.

concepto que puede ofrece mucha libertad a la hora de generar alternativas, ya que hay una infinidad de trucos y trayectorias en las que fijarse.





## CONCEPTO 2



### PASILLO CAMBIANTE

**Leif motif:** Interior de un skatepark.

Se pretende que el visitante se vea dentro de una pista de skate que se insinúa mediante dos volúmenes que cambian y evolucionan, encerrando entre sí el espacio del stand. La idea es que se sienta el dinamismo del skateboarding y el visitante se sienta atraído por las formas cambiantes que presentan los volúmenes laterales, los cuales interactúan entre sí y cambian en función de la forma que va adoptando el otro.

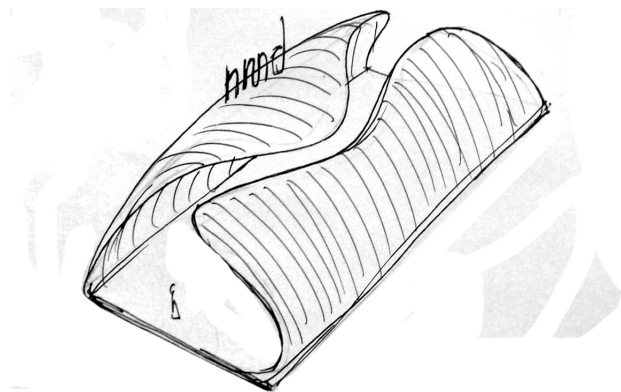
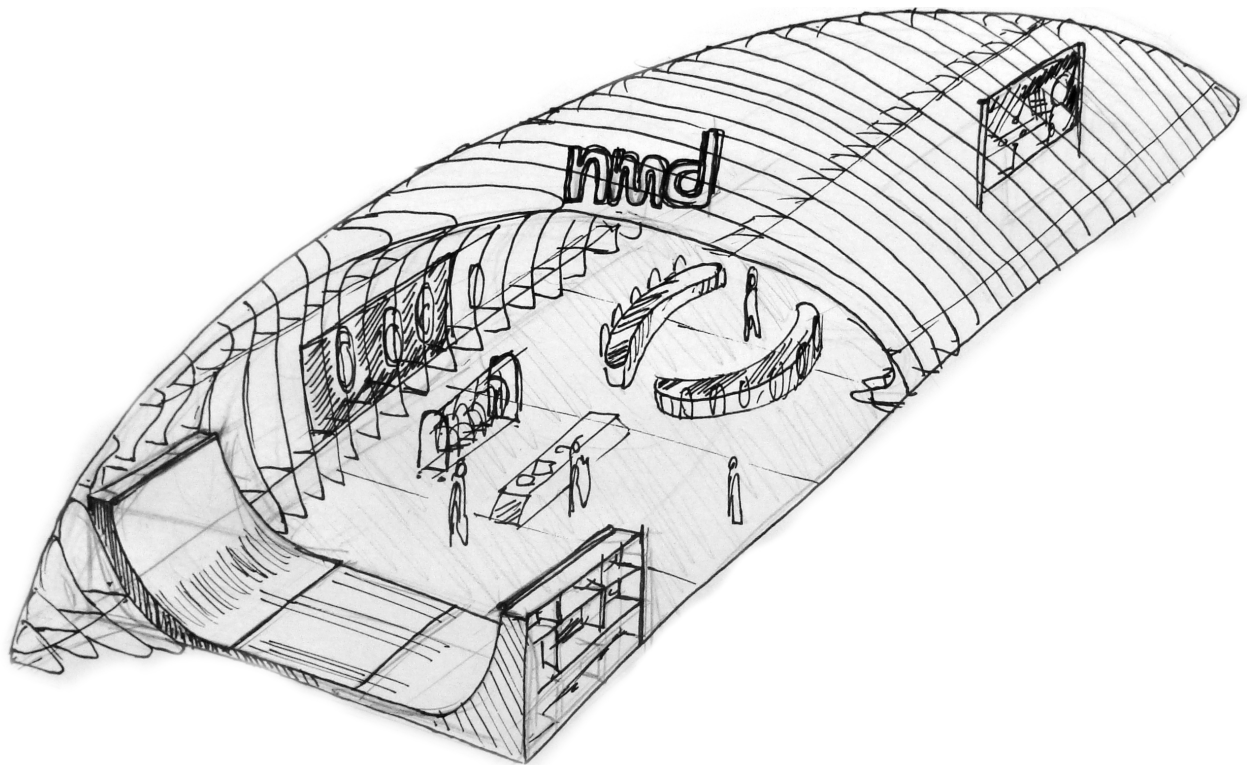


Fig. 98- Imágenes de un skatepark

## CONCEPTO 3



### LOOPING

**Leif motif:** Looping con una rampa integrada.

En el tercer concepto se pretende generar una estructura más simple sin dejar de llamar la atención, con una superficie basada en un movimiento de looping y en el que se integra una mini-ramp, de manera que resulte visualmente atractiva al visitante. Se quiere plasmar el dinamismo de una acrobacia con el skateboard y se caracteriza por crear un espacio amplio y abierto, donde la estructura se funde con la mini-ramp, dando a entender que es una continuación de la misma.

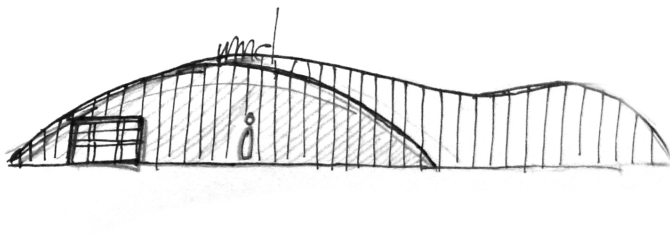


Fig. 99- Imágenes de un loop y una mini-ramp.

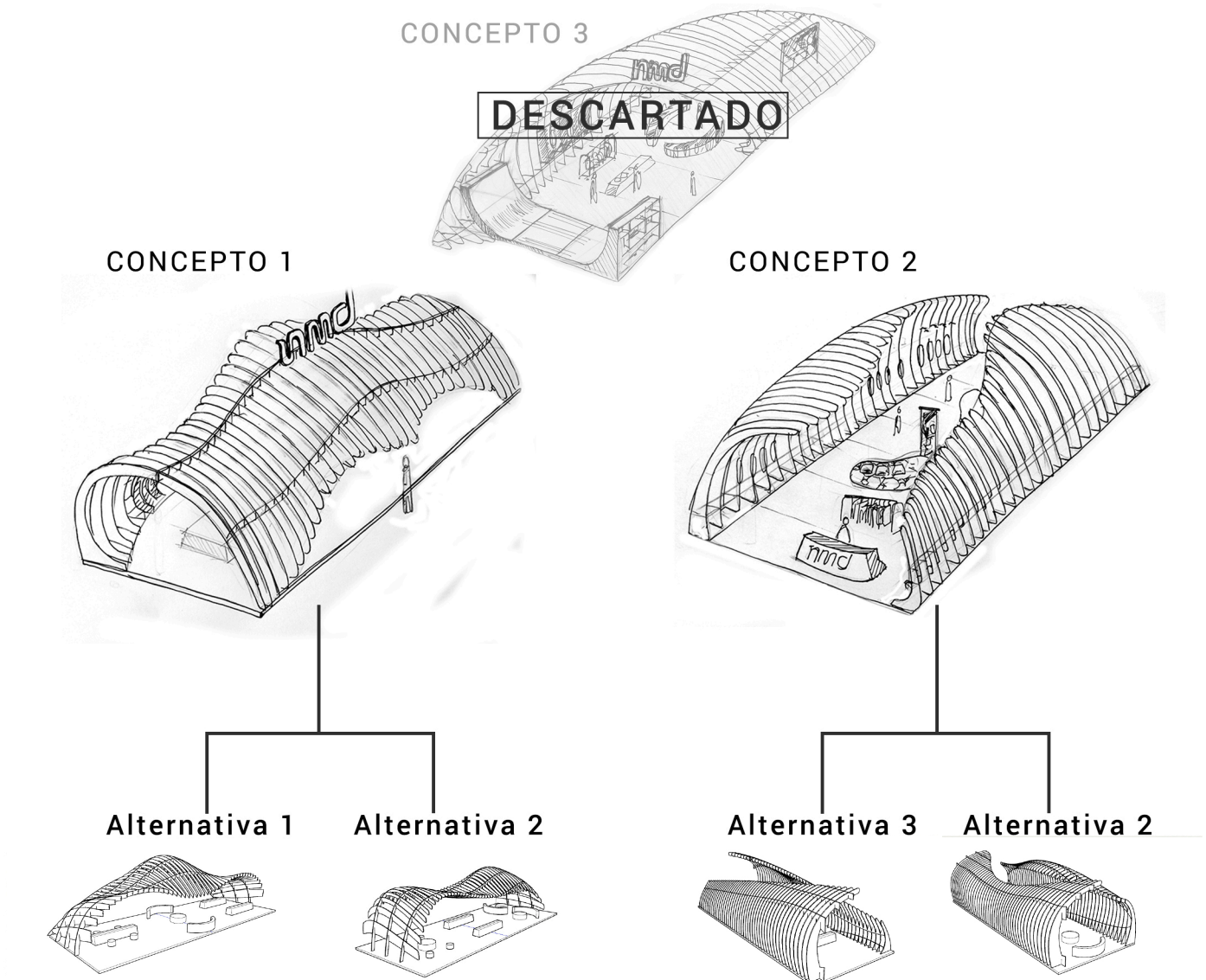


En un primer balance se decide descartar el Concepto 3 (“Looping”) por los siguientes motivos:

El impacto visual que causa no es tan fuerte como el de los otros dos conceptos al no tratarse de una superficie con tantas ondulaciones, teniendo una forma menos compleja. El objetivo del proyecto es expresar las posibilidades de Grasshopper, por ello se tiene preferencia por formas más elaboradas.

El leif motif quizá se aleja algo más de la imagen de la marca y la inclusión de la mini-ramp no es una solución muy adecuada. Se considera que los otros dos conceptos resultan más coherentes con la imagen de stand que se pretende conseguir.

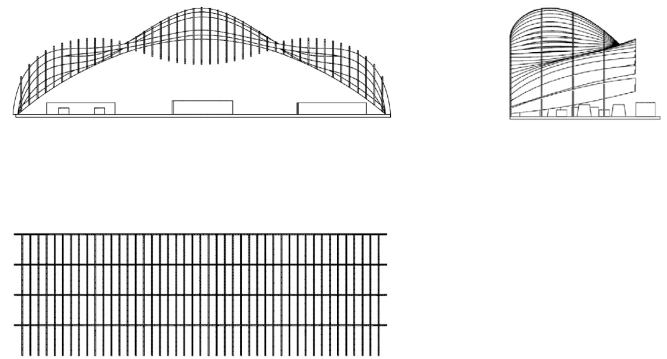
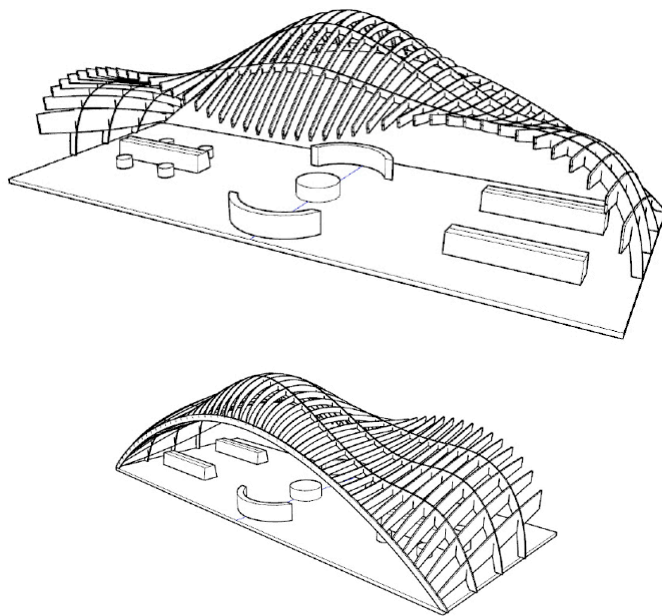
Una vez descartado el tercer concepto, queda valorar los otros dos restantes. Con el objetivo de observar mejor las formas que se pueden conseguir y las proporciones de las estructuras se procede a modelar con Rhino+Grasshopper los dos conceptos. Se decide modelar dos alternativas de cada concepto, es decir, dos para el concepto 1 y dos para el concepto 2 (**Fig.100**). Posteriormente se ponderarán según unos criterios para seleccionar la mejor alternativa de las 4 evaluadas.



**Fig. 100-** Esquema del proceso de diseño.



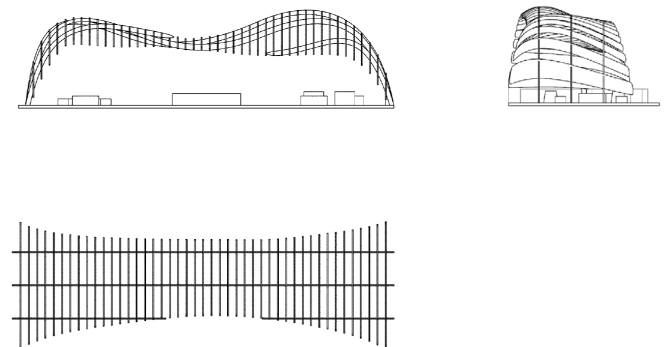
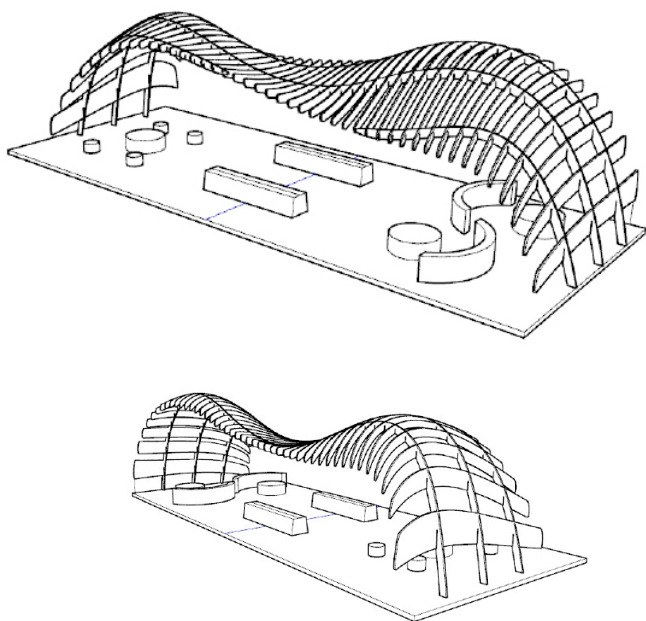
## ALTERNATIVA 1



Las líneas inspiradas en el movimiento de la tabla en este caso son curvas que busca una armonía y una continuidad, creando una superficie simétrica y llamativa (**Fig.101**).

Fig. 101- Alternativa 1 de seccionamiento.

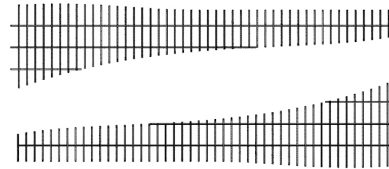
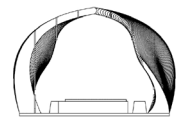
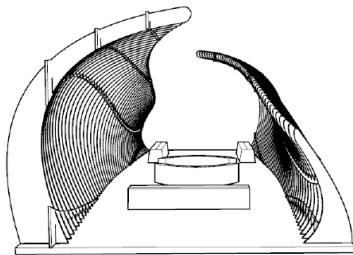
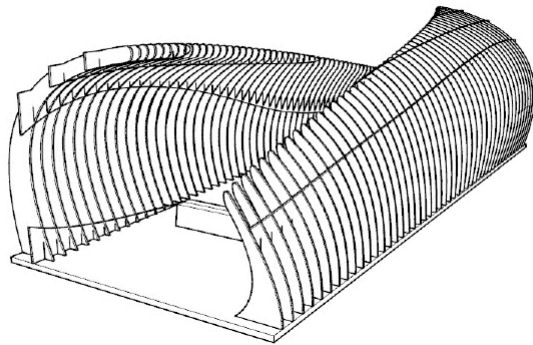
## ALTERNATIVA 2



En este caso se ha querido huir de la simetría, creando una estructura que transmita un desequilibrio y un mayor dinamismo, siempre usando las líneas curvas inspiradas en movimientos de la tabla (**Fig.102**).

Fig. 102- Alternativa 2 de seccionamiento.

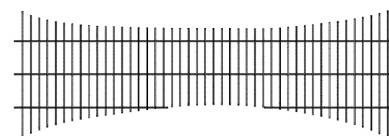
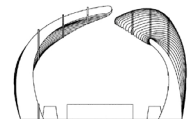
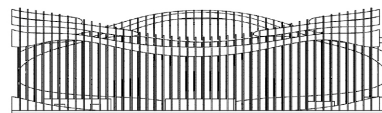
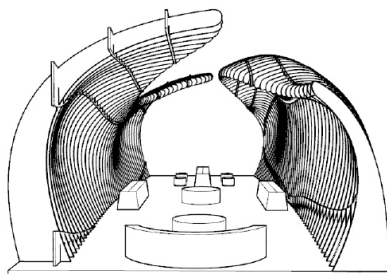
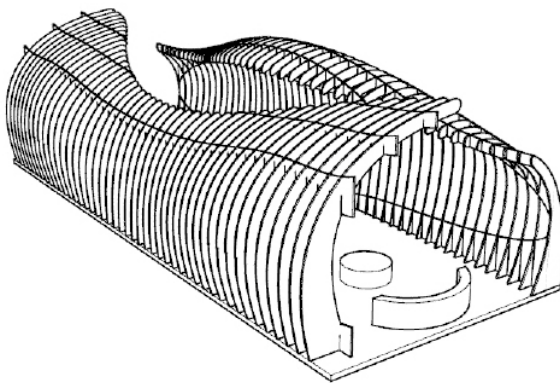
## ALTERNATIVA 3



Se genera un pasillo que alberga el stand gracias a dos superficies laterales que van evolucionando hacia diferentes alturas. Las dos estructuras son la misma, invertida (**Fig.103**).

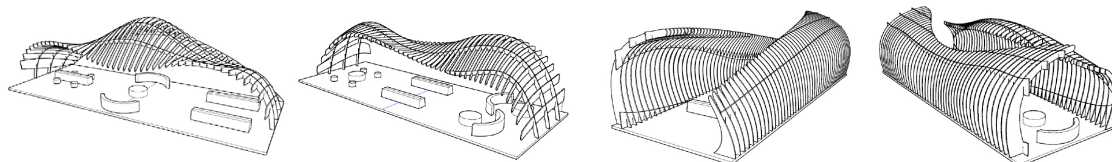
Fig. 103- Alternativa 3 de seccionamiento.

## ALTERNATIVA 4



En este caso se ha querido huir de la simetría, creando una estructura que transmita un desequilibrio y un mayor dinamismo, siempre usando las líneas curvas inspiradas en movimientos de la tabla (**Fig.104**).

Fig. 104- Alternativa 4 de seccionamiento.



	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Impacto visual	3	1	2	3
Facilidad de fabricación	2	2	1	1
Accesibilidad	3	3	1	1
Visibilidad desde cualquier parte	3	3	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>6</b>

Para seleccionar la definitiva, se evalúan las alternativas del 1 al 3 según los siguientes criterios:

**Impacto visual:** se valora la estética general de la estructura.

**Facilidad de fabricación:** se valora en positivo la sencillez de las secciones y la facilidad en cuanto al montaje.

**Accesibilidad:** al tratarse de un stand, se valora positivamente el acceso al mismo desde cualquier lado.

**Visibilidad:** es muy importante que sea visible, tanto el interior como el exterior del stand.

Gracias a esta evaluación, realizada por el autor por las características del proyecto, se tienen en cuenta aspectos de los diseños que se estaban pasando por alto y se llega a la conclusión de que **la primera alternativa es probablemente la mejor solución.**

Aquellos aspectos que han sido realmente determinantes son la accesibilidad y la visibilidad, ya que tanto la alternativa 3 como la alternativa 4, ambas procedentes del concepto del "Pasillo

Cambiante", tienen las desventajas de una accesibilidad más limitada y el interior del stand no se aprecia tanto desde cualquier punto de la feria, si bien eran muy llamativas se decide prescindir de ellas. Además, la fabricación es otra característica excluyente puesto que se requieren más secciones para poder fabricarlas, además de un montaje, a priori, más difícil de llevar a cabo.

Así pues, se decide continuar con la primera alternativa, que se desarrollará hasta su completa definición. Sabiendo como es la estructura exterior, se puede organizar la configuración del stand y el diseño de los elementos que conformarán el interior del mismo.

La fase de diseño ahora se divide en 3 frentes a solucionar:

El modelado definitivo y optimización de la estructura externa.

La organización del stand según la importancia de lo que se quiere enseñar, y el mobiliario necesario para ello.

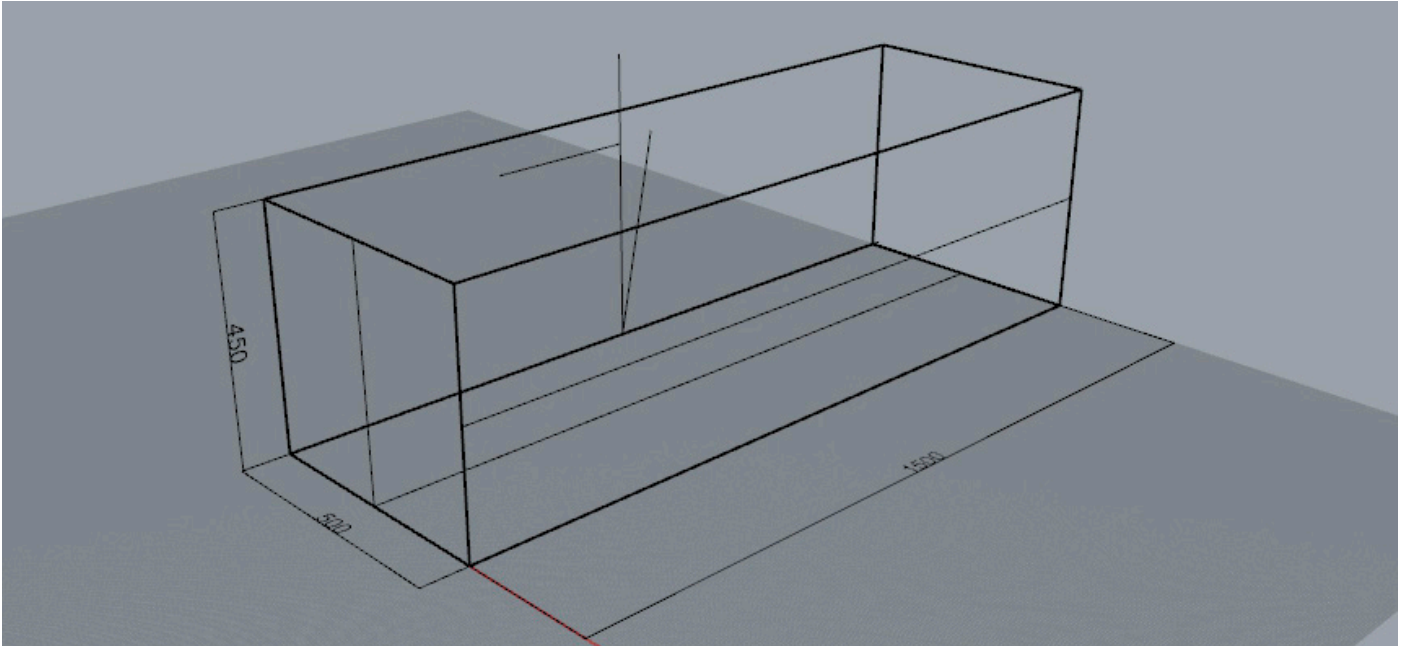
Diseño de un elemento donde se aplique el método constructivo del teselado.



## 3.2 DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA

La forma en que se va a desarrollar y definir por completo el diseño final es empezando a modelar en Rhinoceros y tomando las primeras decisiones en cuánto a dimensiones y formas finales.

### 3.2.1 MODELADO DEL SÓLIDO



**Fig. 105-** Caja delimitadora con las dimensiones generales de la estructura: 1500x450x500mm

El modelado del volumen principal se consigue gracias a la libertad que ofrece Rhinoceros en el modelado de superficies. Se genera un sólido que no es más que una combinación de superficies curvas que se retuercen. Las herramientas de modelado a partir de curvas 3D que pueden adoptar posiciones con inclinación sobre los 3 ejes permiten la generación de este tipo de superficies.

El primer paso consiste en la creación de las curvas que definirán el volumen. Para ello, se crea una caja con las dimensiones máximas del stand (15x5x4,5m) a modo de control (**Fig.105**).

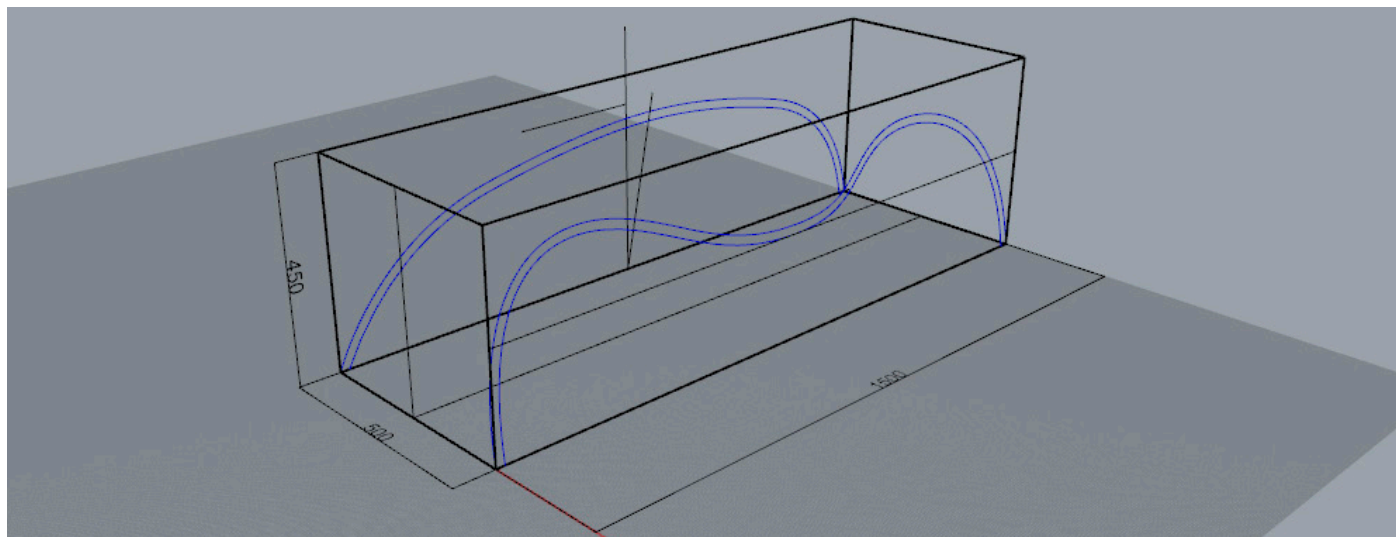
Esta caja restringe el espacio y nos da la posibilidad de ajustar las curvas a las dimensiones máximas.

Desde la idea inicial plasmada en los bocetos hasta el modelo 3D hay que realizar un ejercicio de comprensión y descomposición de la forma en un lenguaje de curvas y superficies.

Para generar las superficies se decide usar la herramienta “Superficie a través de red de curvas”. Es una de las herramientas más versátiles de Rhinoceros a la hora de crear formas orgánicas, y se basa en el uso de curvas en dos direcciones para componer una superficie.

Se plantean las dos curvas principales, o curvas longitudinales, que se dibujan en los extremos de la caja (**Fig.106**).

Estas curvas definen los extremos de la superficie en el eje longitudinal, y a partir de ellas se crean las curvas transversales. Al ser simétrico el volumen, se crean solo las curvas transversales de un lado y luego se reflejan con la herramienta “Reflejar”.

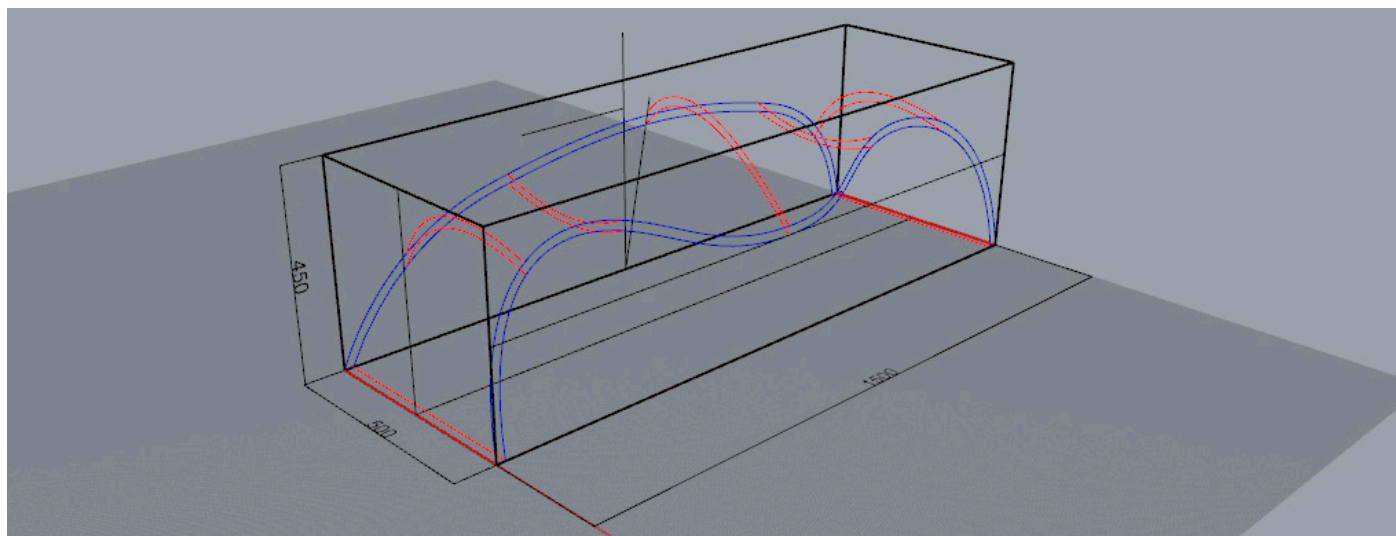


**Fig. 106-** Curvas longitudinales delimitadas por la caja contenedora.

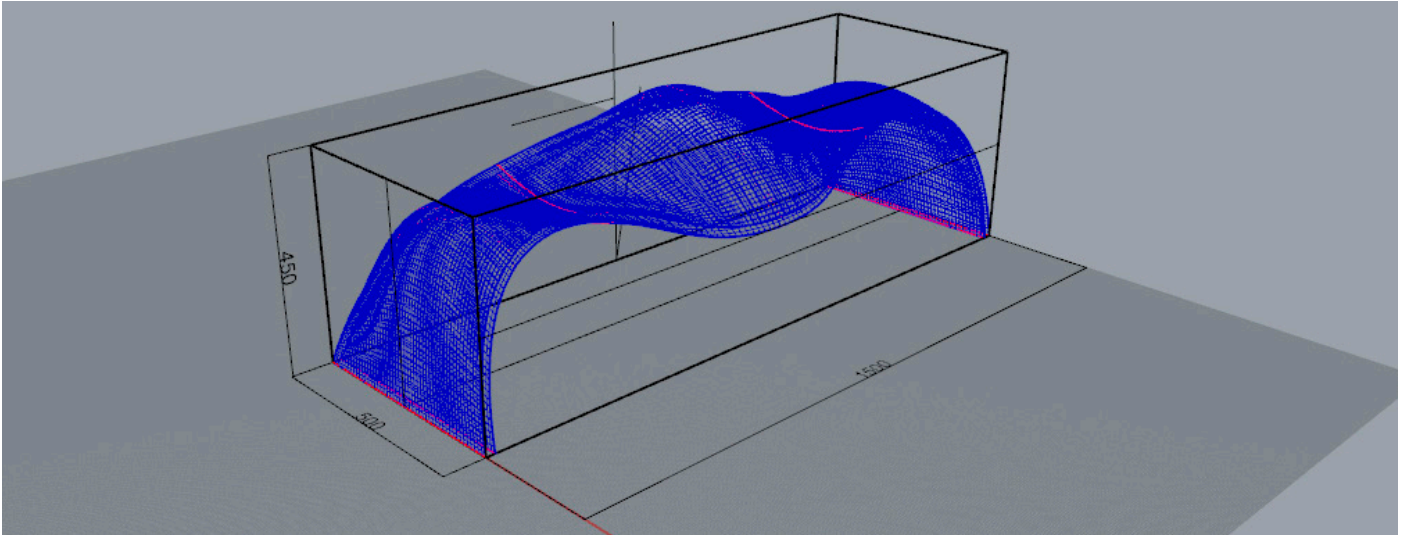
Las curvas transversales le dan al volumen las variaciones geométricas y la transición entre zonas cóncavas y zonas convexas.

Como se ve en la imagen (**Fig.106**), se han dibujado dos grupos de curvas que definen el grueso y la sección del sólido. El motivo es que lo que se

genera a partir de la herramienta de “superficie a través de curvas” es una superficie plana, y se necesitan varias superficies para crear un sólido. La estrategia a seguir en este caso es la de crear dos superficies desfasadas (**Fig.107**).



**Fig. 107-** Curvas transversales creadas basándose en las curvas longitudinales de referencia.



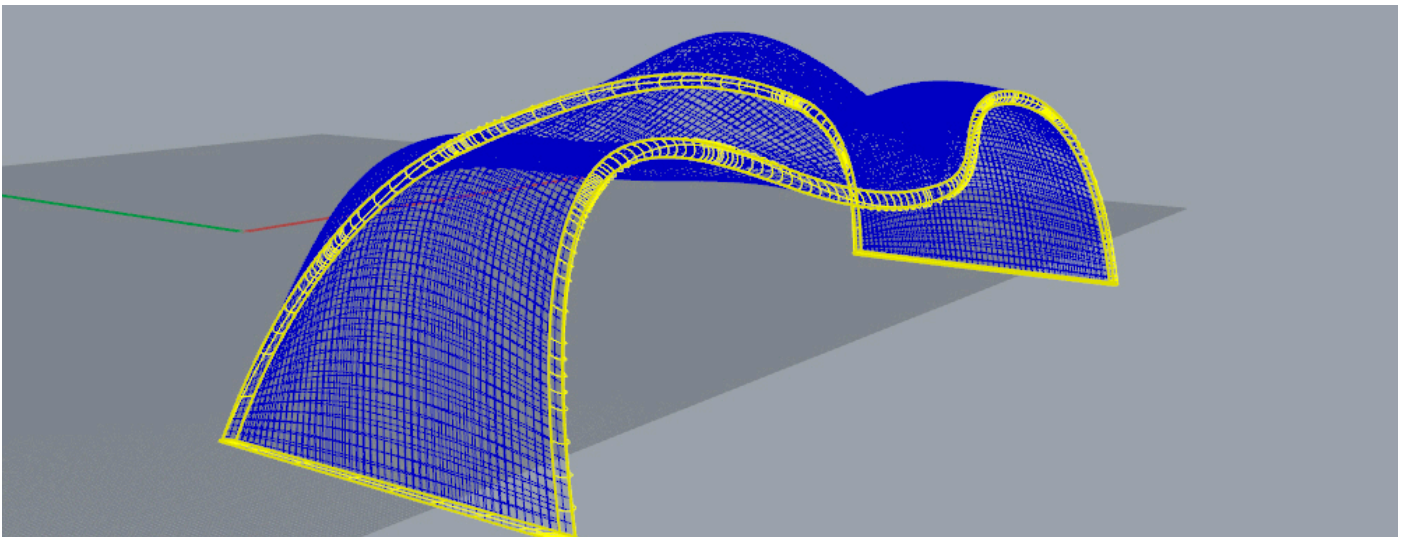
**Fig. 108-** Superficies generadas a partir de las curvas.

El último paso es el de cerrar el volumen. Para ello se unen las dos superficies desfasadas con la herramienta “Mezclar superficies”. Esta herramienta crea una superficie de unión entre dos límites, obedeciendo a unos parámetros que controlan su geometría.

Estos parámetros tienen que ver con el grado de curvatura de la superficie generada y los puntos de control que la definen.

El resultado que se obtiene es un “parche” de unión (**Fig.109**), siendo ya un conjunto de superficies que forman un sólido.

Rhinoceros considera que un conjunto de superficies abiertas, unidas de tal forma que encierran un volumen, se puede tratar ya como una polisuperficie cerrada, o sólido.

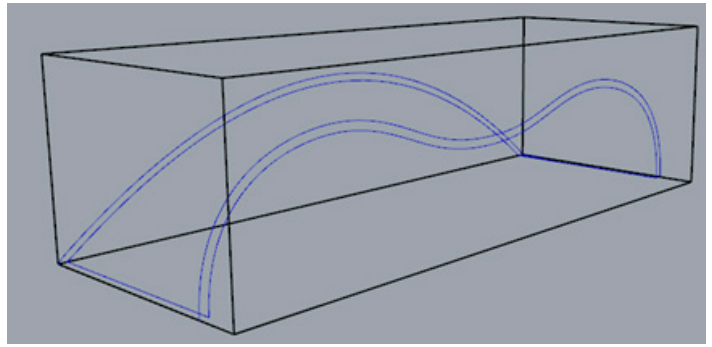


**Fig. 109-** Superficies de unión (en amarillo) entre las superficies principales. Al unir todas estas geometrías se obtiene una polisuperficie cerrada.

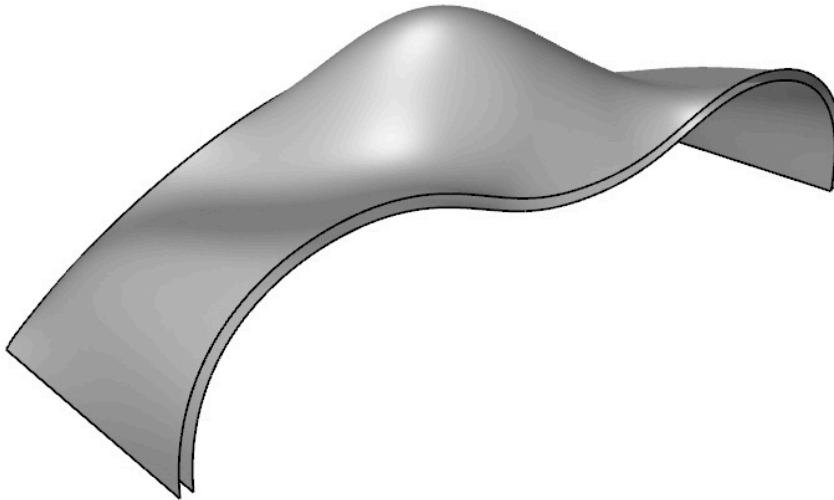


Para llegar a la forma final hubo que hacer más de una prueba, modificando la geometría de las curvas, intentando comprender como afectaban las variaciones al aspecto final.

El primer modelado (**Fig.110**) era un volumen bastante atractivo, pero que tenía ciertos problemas, y el más evidente era la forma plana en sus caras frontal y posterior, lo que le daba aspecto de bloque cuadrículado.



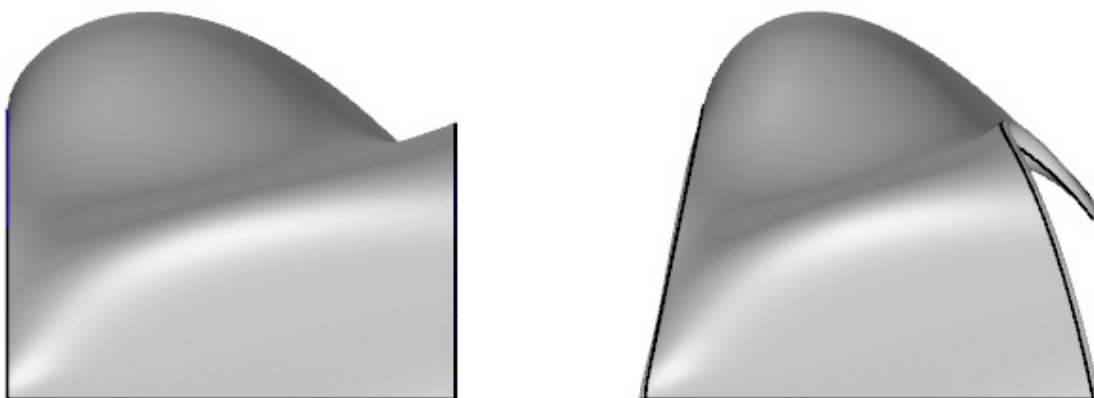
**Fig.111-** Curvas longitudinales del primer modelo.



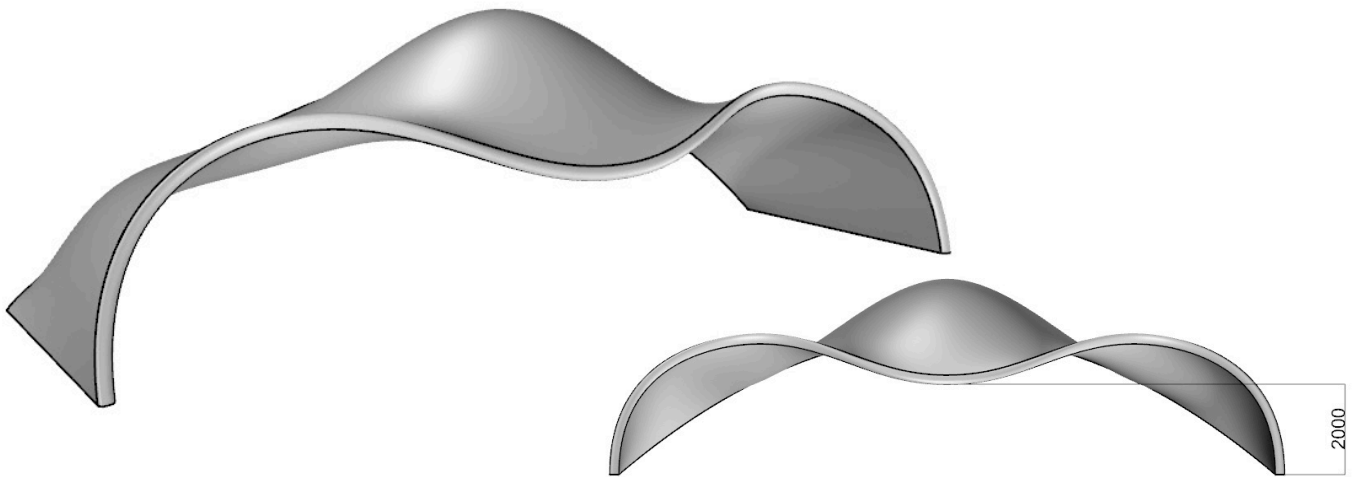
**Fig. 110-** Volumen resultante de la primera prueba.

En un primer momento las curvas longitudinales se dibujaron en un solo plano (las caras frontal y posterior de la caja delimitadora)(**Fig.111**). Esto causaba que la forma final fuese plana en sus extremos.

Para corregir esto simplemente se le dió inclinación a las curvas longitudinales, metiéndolas hacia dentro y en diferentes posiciones. El cambio es bastante notable como se observa en la imagen inferior.(**Fig.112**)



**Fig. 112-** Diferencia entre el volumen con las curvas longitudinales planas (izquierda) y el volumen con las curvas longitudinales inclinadas (derecha).

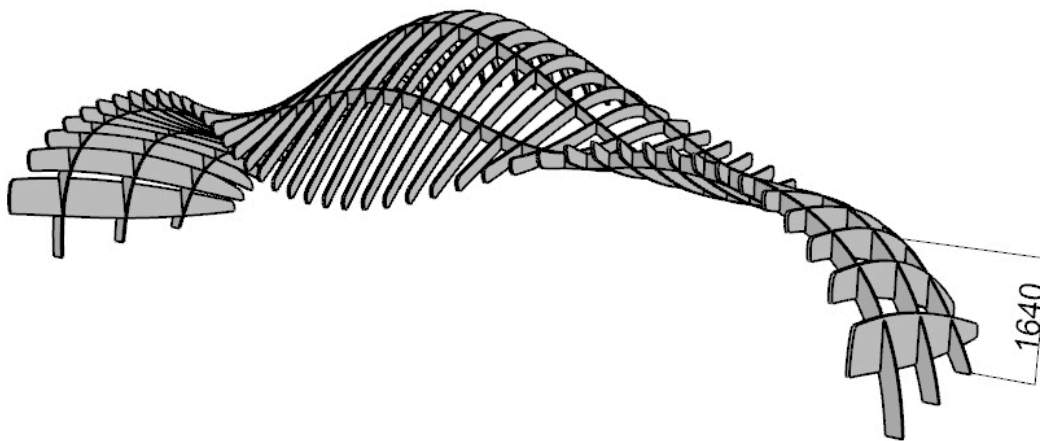


**Fig.113-** Segundo sólido modelado.

El segundo sólido solucionaba el problema de la inclinación y resultaba mucho más orgánico y atractivo (**Fig.113**). Sin embargo, seguía teniendo un problema que no se había tenido en cuenta antes: la altura que alcanzaban algunos puntos del sólido.

Si bien se había establecido un mínimo de 2m en el dibujo de las curvas, lo cual de por sí ya es relativamente poco, no se tuvo en cuenta la

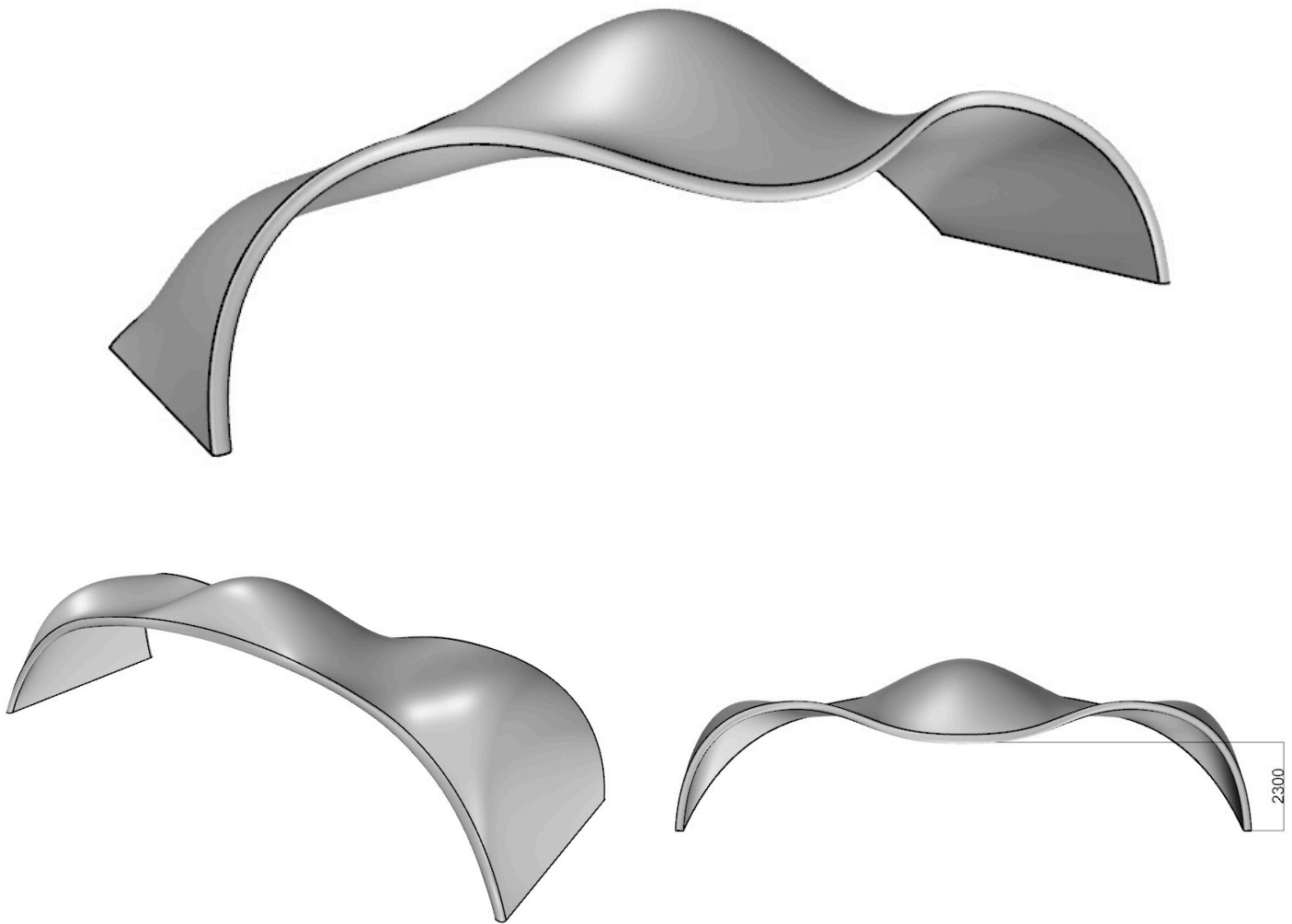
forma que iría tomando cuando se dibujaron las curvas de la parte posterior. Como se aprecia en la siguiente imagen, el sólido iba reduciendo altura en sus laterales, llegando a tener alturas más de bajas de 1,70m (**Fig.114**).



**Fig. 114-** Imagen con las alturas mínimas del segundo sólido.

Se deciden corregir esos errores dibujando curvas más amplias, cuya progresión era más brusca y vertical, y estableciendo el límite en 2,30m. Con esto se intenta aumentar el volumen encerrado por la estructura, ya que el del primer modelado era escaso. El resultado final es el que se ve a continuación.

Este es el sólido que se decide tomar como definitivo (**Fig.115**), con una forma más estilizada y con los problemas de la inclinación y del volumen encerrado ya solucionados. A partir de aquí empieza la parte del modelado de Grasshopper, que tomará este sólido como geometría de referencia.



**Fig. 115-** Sólido definitivo tras las correcciones.

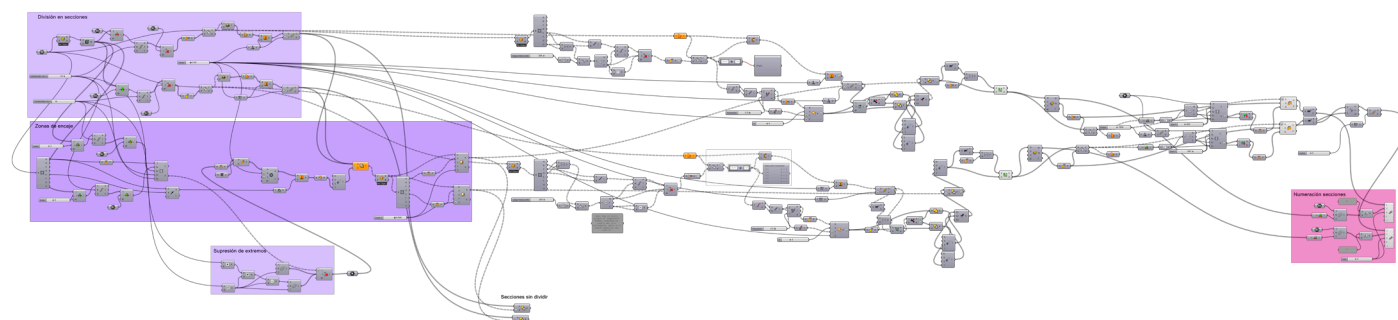


### 3.2.2 ALGORITMO SECCIONAMIENTO

En este capítulo se explica la definición que permite dividir el sólido dibujado en una serie de secciones que se ensamblan entre sí.

Para crear el algoritmo se necesita una preparación previa para reflexionar acerca de cuál es el camino más corto a seguir. En la primera fase ya se hablaba de una de las grandes ventajas de Grasshopper: la comunidad que hay en internet. Gracias a toda la información y a la ayuda de gente que comparte sus conocimientos en la elaboración de algoritmos, se ha podido diseñar una definición muy completa y funcional.

La definición usada está basada en una creada por Víctor Leung y expuesta en el foro de Grasshopper. Se tomó esta definición como base sobre la que construir una más completa, tomando también ideas del tutorial “Grasshopper Waffle Script” subido por rd2tutorials.<sup>[41] y [42]</sup>



**Fig. 116-** Aspecto general de la definición de Grasshopper para el seccionamiento de un sólido.

En la imagen superior (**Fig.116**) se observa una vista alejada del algoritmo diseñado. Se trata de una mezcla de ideas cogidas de los tutoriales y de ideas desarrolladas por el autor.

La complejidad de las operaciones a realizar hacen que sea una cadena bastante larga y que la cantidad de información a procesar sea muy grande. Es una de las desventajas de querer abarcar muchos aspectos y que todos ellos estén sujetos a parámetros variables.

Antes de explicar el funcionamiento de la definición en profundidad, se expone un breve resumen:

La definición coge el sólido de Rhinoceros y considera la caja que lo contiene, para poder situar planos en un eje y otro y “cortar” el sólido mediante operaciones booleanas, obteniendo finalmente las secciones.

Como todo programa tiene una serie de inputs y de outputs.

#### Inputs:

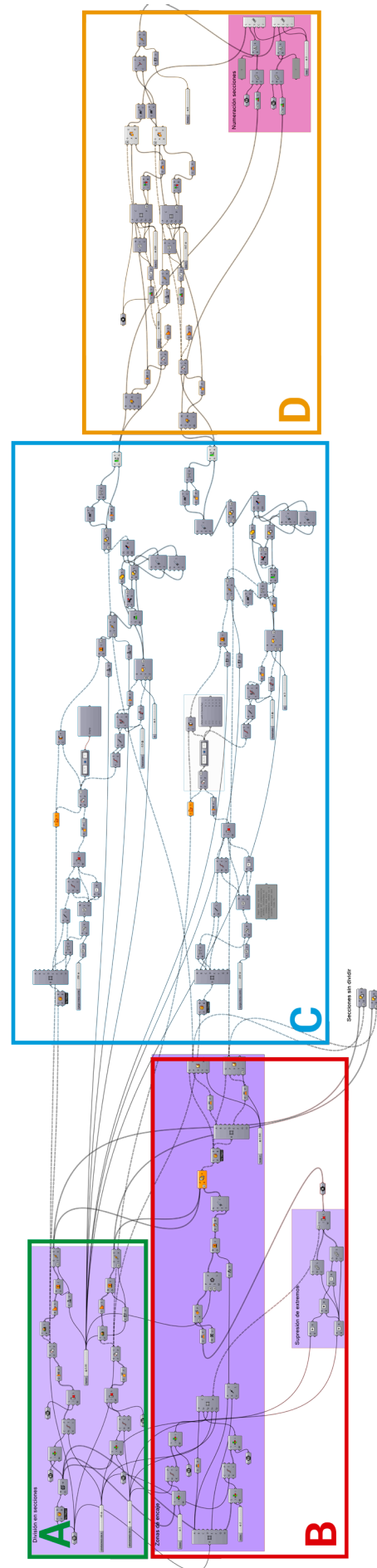
- Sólido de Rhinoceros a dividir.
- Número de divisiones en X.
- Número de divisiones en Y.
- Grosor de las secciones en X.
- Grosor de las secciones en Y.
- Anchura máxima del tablero.

#### Outputs:

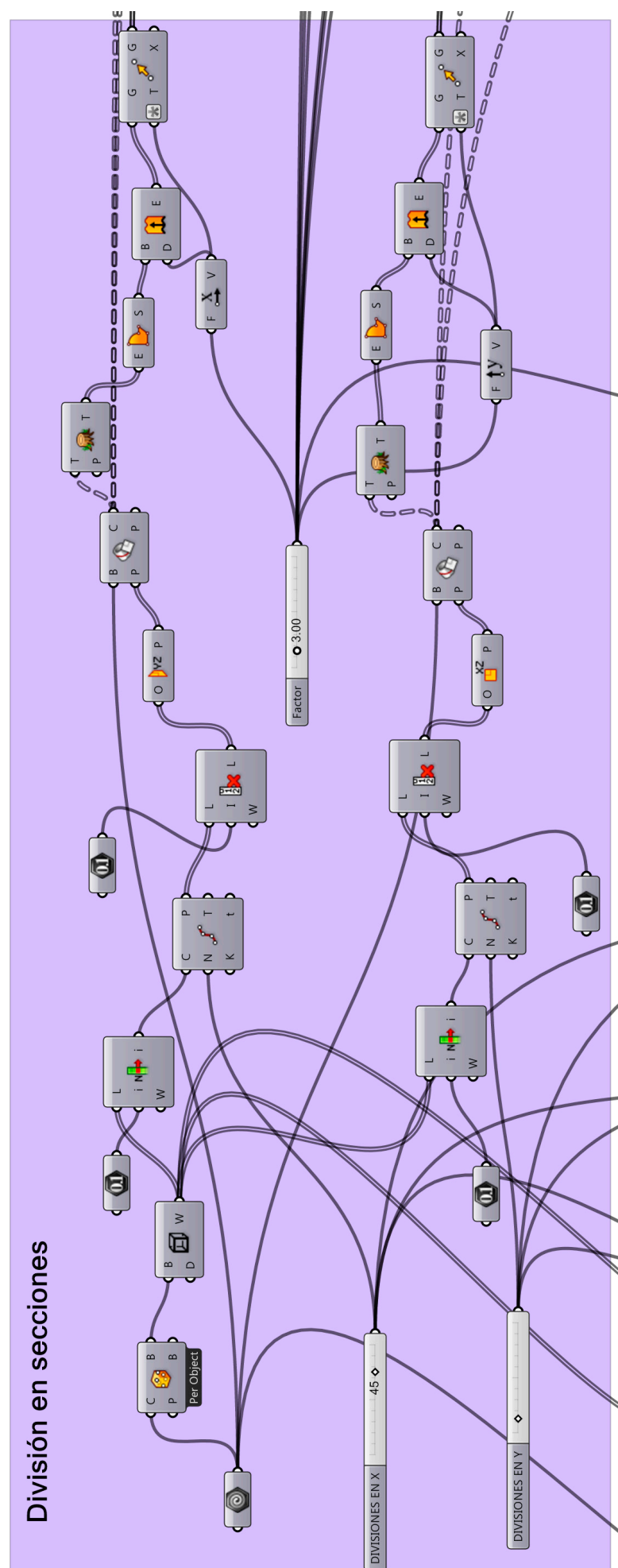
- Secciones en X en sólido.
- Secciones en X en plano.
- Secciones en Y en sólido.
- Secciones en Y en plano.
- Zonas de encaje entre ambas.
- Numeración y ordenación de ambas.

- A - División del sólido en secciones
- B - Creación de las uniones
- C - División de las secciones para ser fabricables
- D - Ordenación, numeración y puesta en plano de las secciones para el corte.

- A - División del sólido en secciones
- B - Creación de las uniones
- C - División de las secciones para ser fabricables
- D - Ordenación, numeración y puesta en plano de las secciones para el corte.



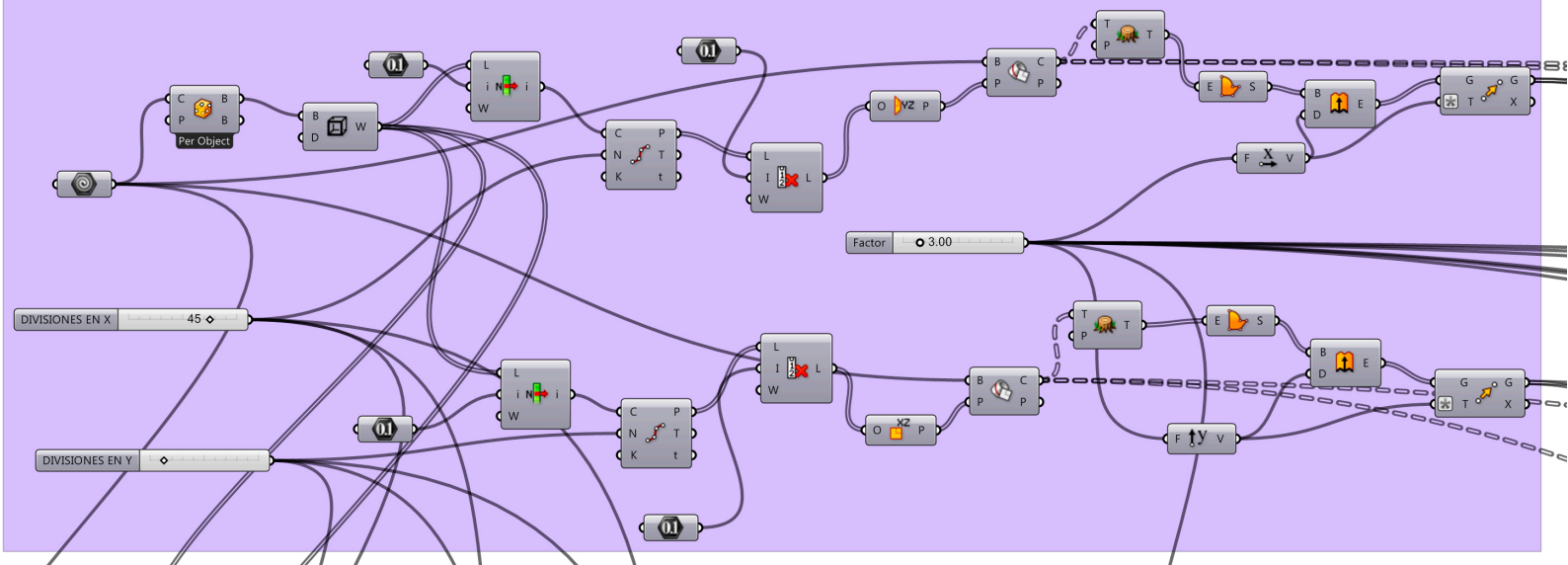
**Fig. 117-** División de la definición por zonas.





## A - División del sólido en secciones

### División en secciones



La primera parte del algoritmo toma el sólido y define la caja que lo contiene. Después, selecciona dos aristas, una en el eje x y otra en el y, de esa caja contenedora para dividir las en una serie de puntos. Los puntos se encuentran a una distancia igual los unos de los otros, ya que se divide la longitud de la arista entre el número de puntos. **(Fig.118).**

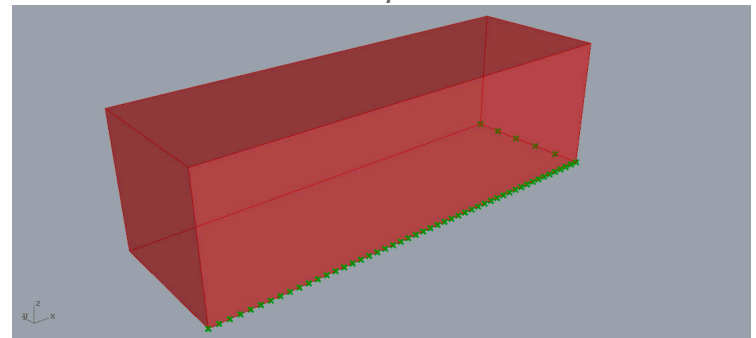


Fig. 118- Caja contenedora

Ese número viene determinado por los inputs:

Número de divisiones en X.  
Número de divisiones en Y.

De esa serie de puntos se eliminan el primero y el último. Después, se sitúan planos paralelos a XZ y YZ en cada punto. Estos planos cortan el sólido de referencia, creando curvas planas **(Fig.119)**. Al tratarse de curvas planas, éstas pueden generar una superficie y dicha superficie puede ser extruída.

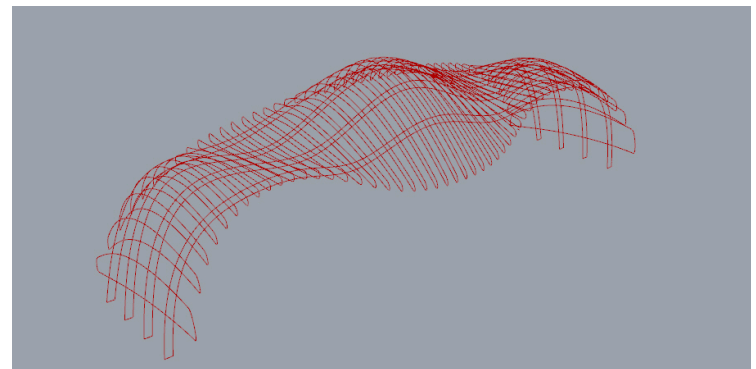


Fig. 119- Curvas de intersección de los planos con el sólido.

Ahora ya tenemos las secciones sólidas que forman la estructura **(Fig.120)**.

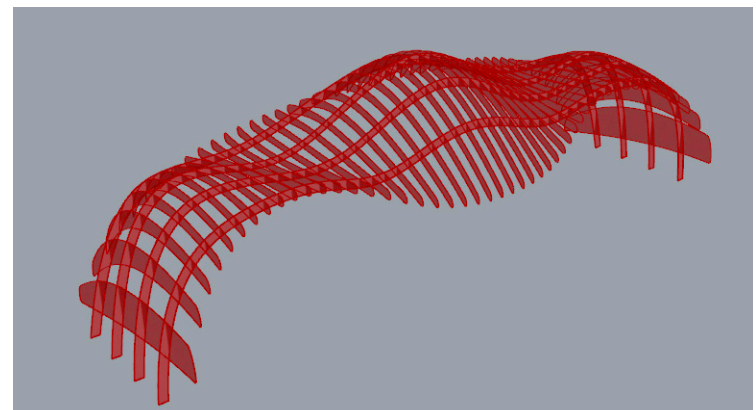
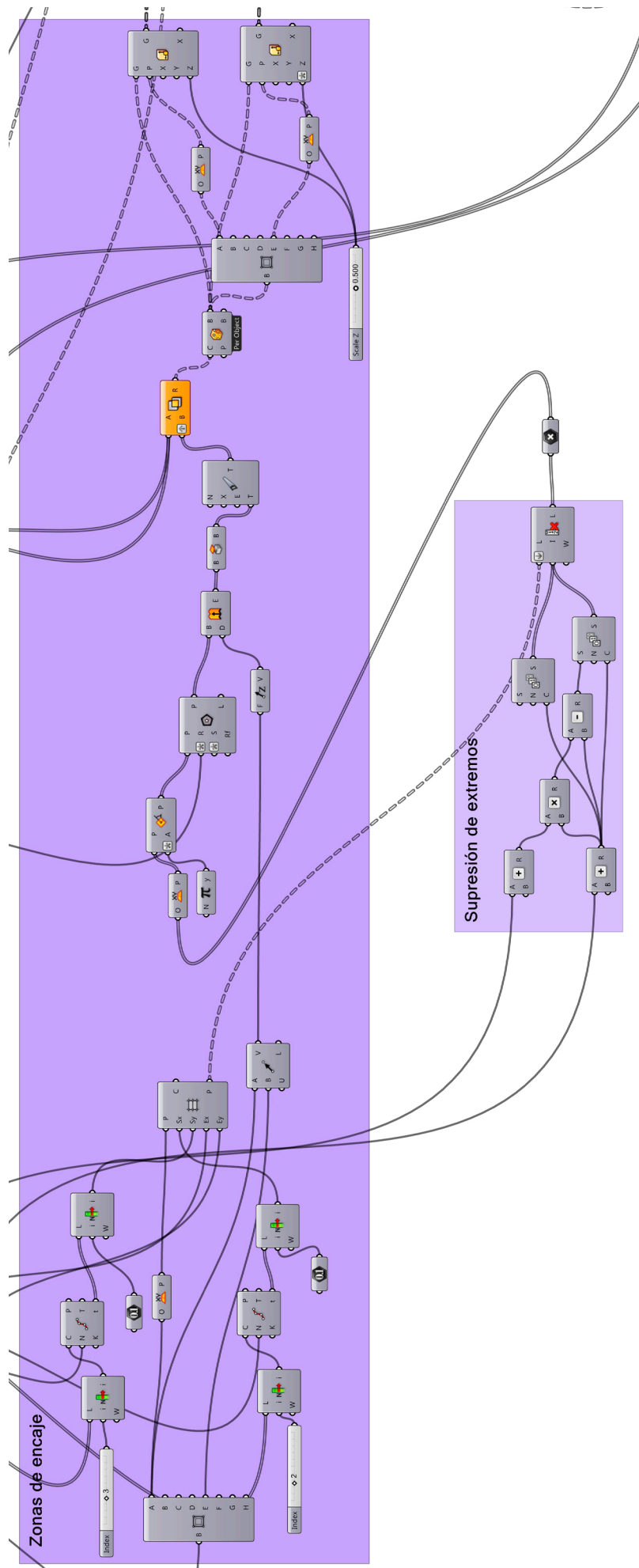
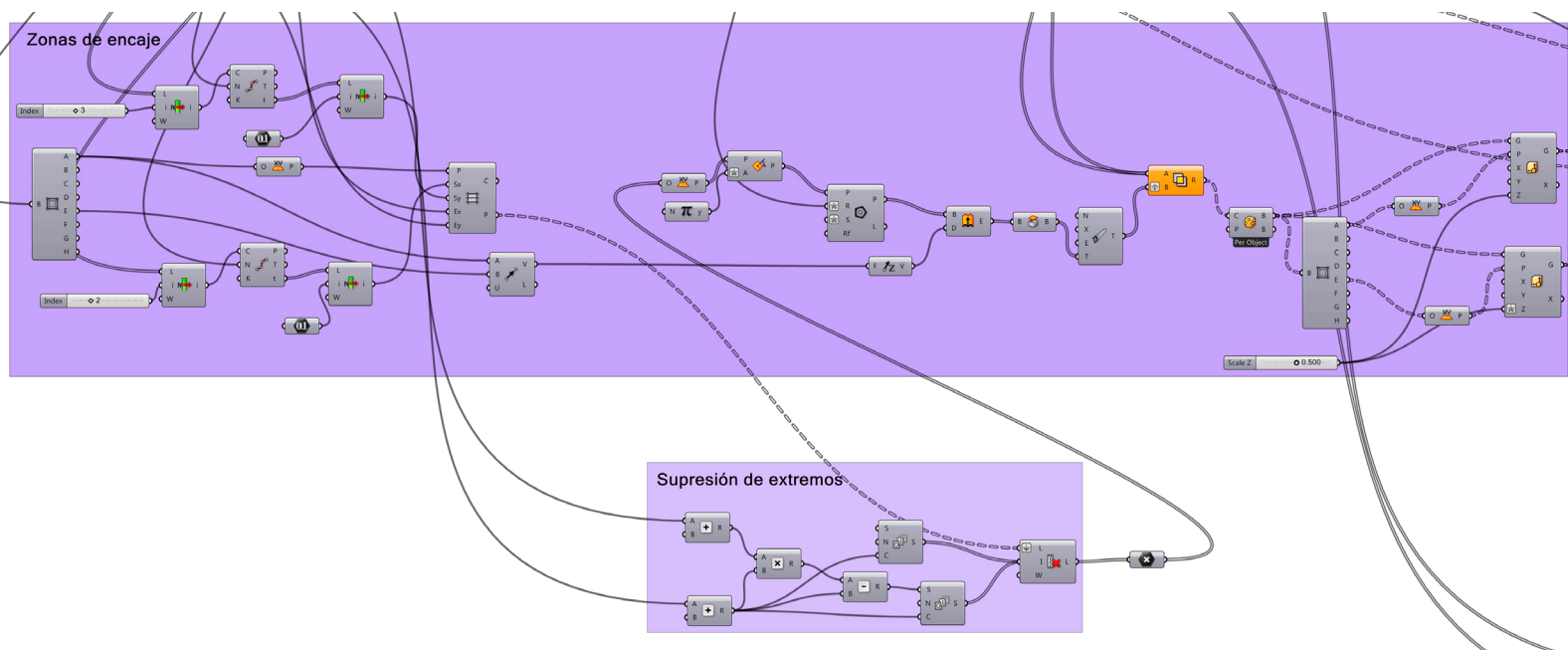


Fig. 120- Curvas extruídas formando el sólido.



## B - Creación de las uniones



En esta parte se crea una red o matriz de puntos en el plano XY (la planta o suelo), con X puntos en función del parámetro "Número de divisiones en X" e Y puntos en función del parámetro "Número de divisiones en Y".

Este componente crea celdas planas cuya dimensión en X es la distancia entre los puntos de X repartidos, y lo mismo para la dimensión en Y. Las celdas son por lo tanto rectángulos que se repiten en una malla regular. De esa malla regular se extraen todos los vértices o puntos que nos van a servir (**Fig.120**).

Se suprimen los puntos extremos y el resto se usan para situar cuadrados cuyo centro es cada uno de los vértices. Estos cuadrados se extruyen una longitud igual a la altura total del sólido.

Ahora tenemos una matriz de prismas extruidos (**Fig.121**), que intersectan con las secciones obtenidas en la parte A. Como se intersectan, se puede realizar una operación booleana en la que cada prisma sustrae materia de cada sección.

Cada prisma se escala dos veces en el eje Z a partir de su plano medio, una vez hacia arriba y otra vez hacia abajo, teniendo como resultado dos prismas divididos. Con los prismas superiores, se extrae materia a las secciones en X. Con los inferiores, se extrae materia a las secciones en Y (**Fig.122**).

Ya tenemos las zonas de encaje creadas.

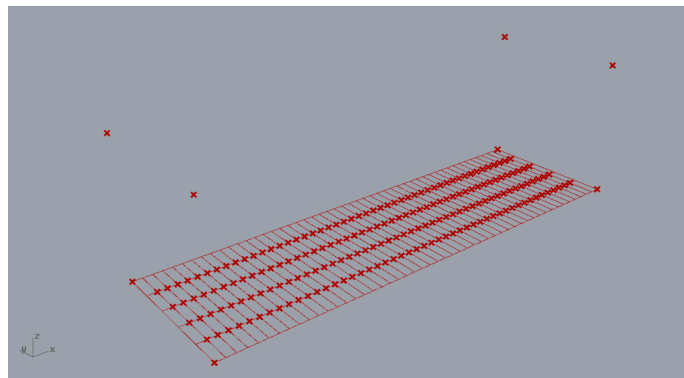


Fig. 120- Malla rectangular.

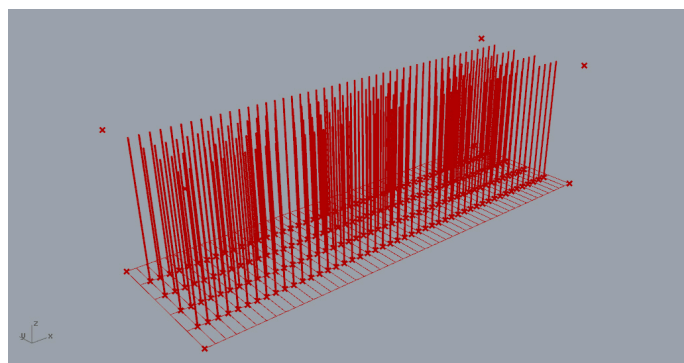


Fig. 121- Matriz de prismas extruidos.

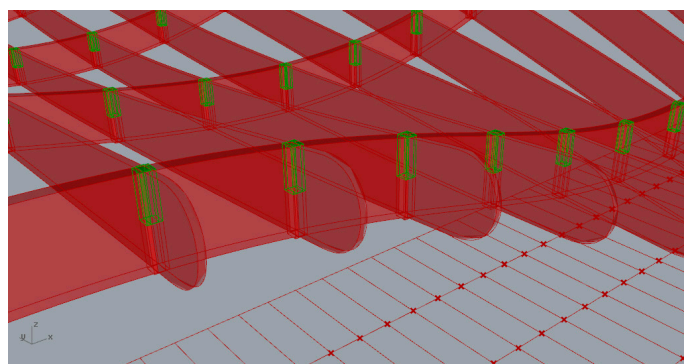
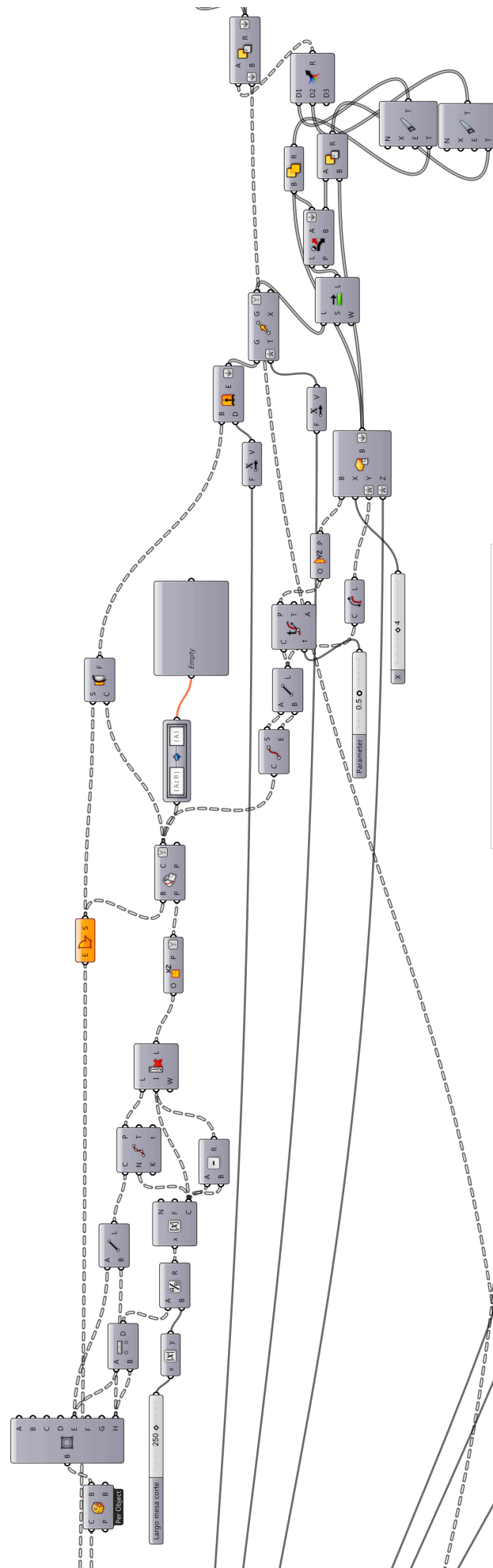
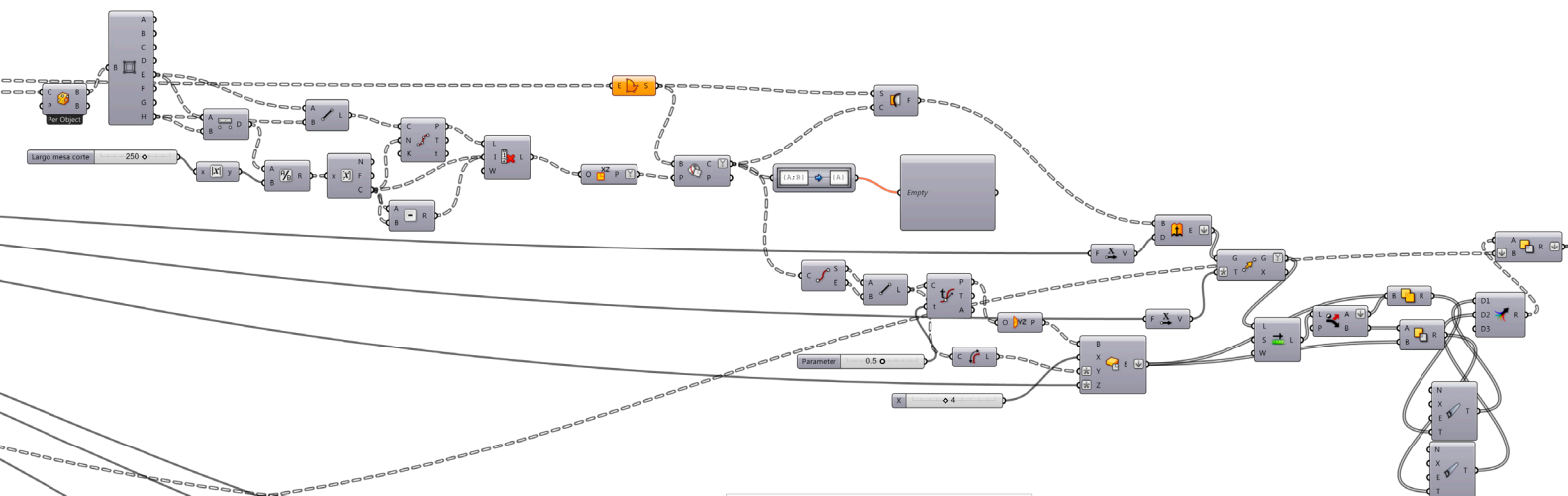


Fig. 122- Prismas divididos cortando el sólido.





## C - División de las secciones para ser fabricables



En esta parte se toman las secciones con sus zonas de encaje ya creadas. Se obtiene la caja contenedora para cada una de las secciones y se analiza si cabría o no en un tablero comercial.

Para ello, se divide la longitud mayor entre el ancho de tablero, que es un input o parámetro. Si el resultado es 1, la sección permanece igual ya que significa que cabe dentro de la longitud del tablero, por el contrario si es un número mayor, significa que longitud de la sección es tantas veces mayor que la del tablero.

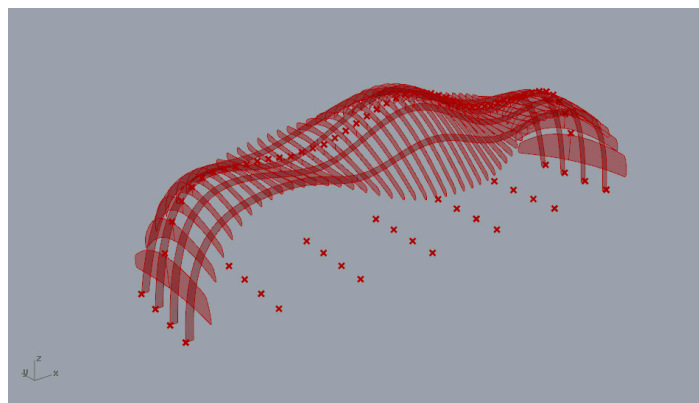
La sección entonces se divide entre el resultado de la división de la longitud máxima entre la longitud del tablero, redondeando al mayor (**Fig.123**).

Con la sección dividida, se crean en los puntos medios de las líneas divisorias unos prismas rectangulares del mismo grosor que la sección. Estos prismas sirven para crear los puntos de unión entre las diferentes partes de una sección (**Fig. 124**).

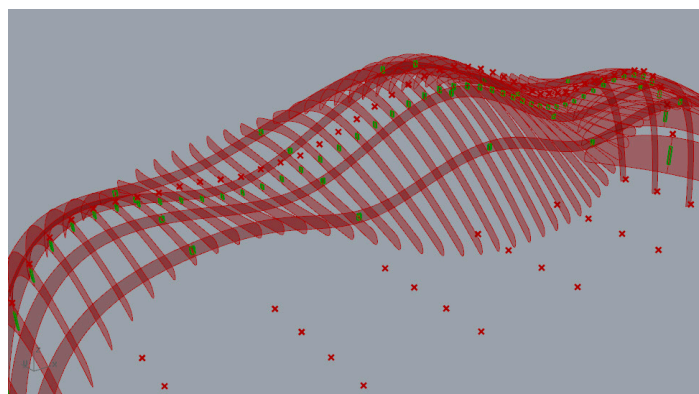
Para ello, se añade o se sustrae material usando los prismas. A las partes de una sección que son pares, se le suma el material del prisma, mientras que a las partes impares se le sustrae el material.

Así pues quedan finalmente las secciones divididas en función de su longitud y de la longitud del tablero, consideradas como piezas independientes y perfectamente fabricables (**Fig.125**).

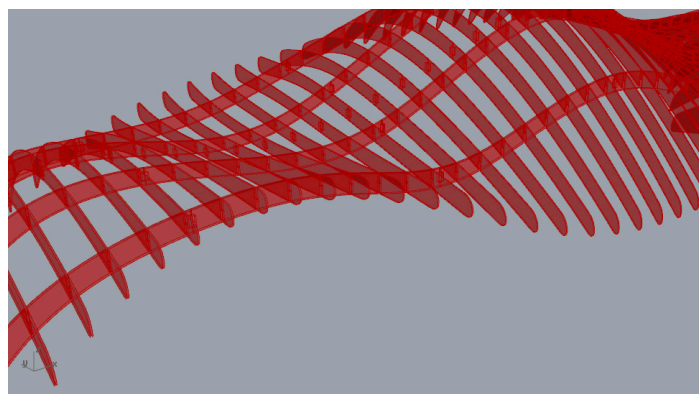
**Fig. 125-** Secciones divididas con su zonas de unión.



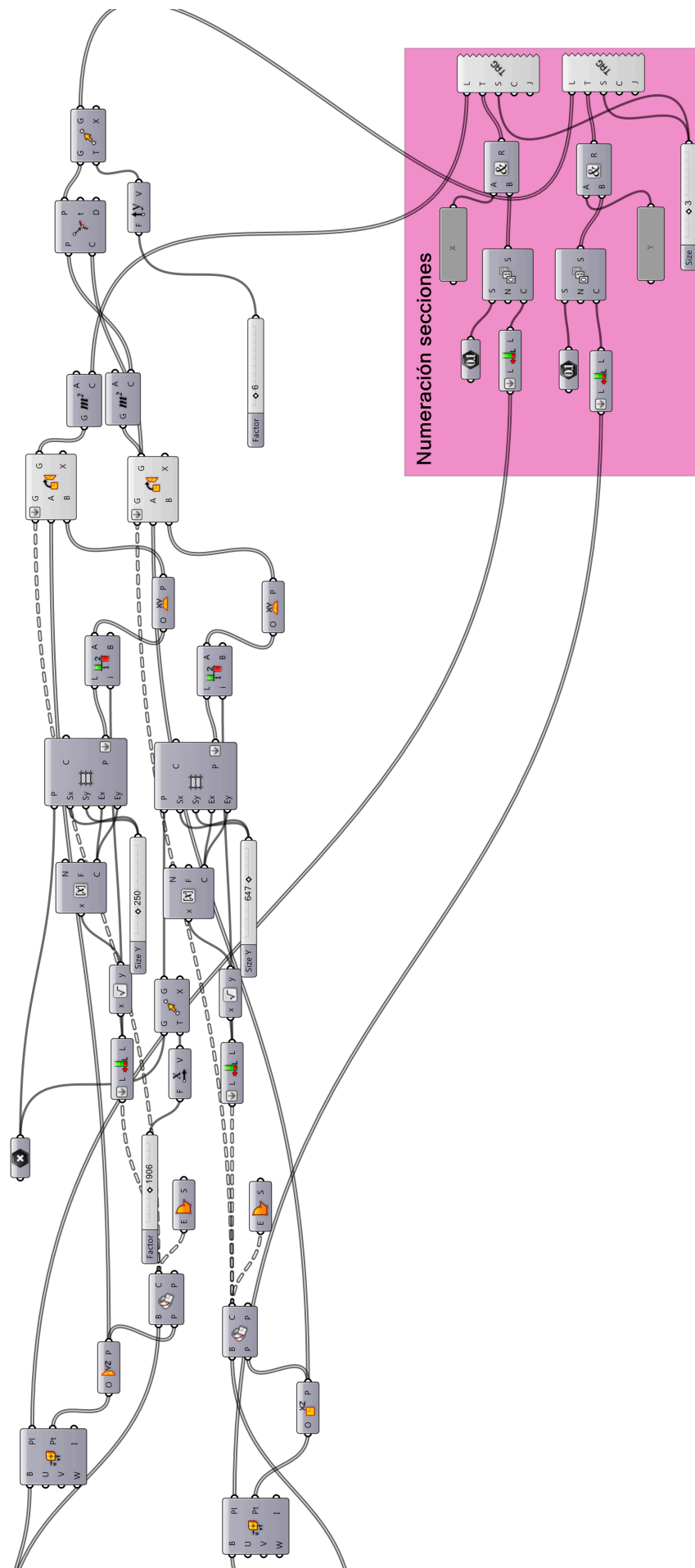
**Fig. 123-** Puntos de división de las secciones.



**Fig. 124-** Prismas rectangulares para crear las zonas de unión

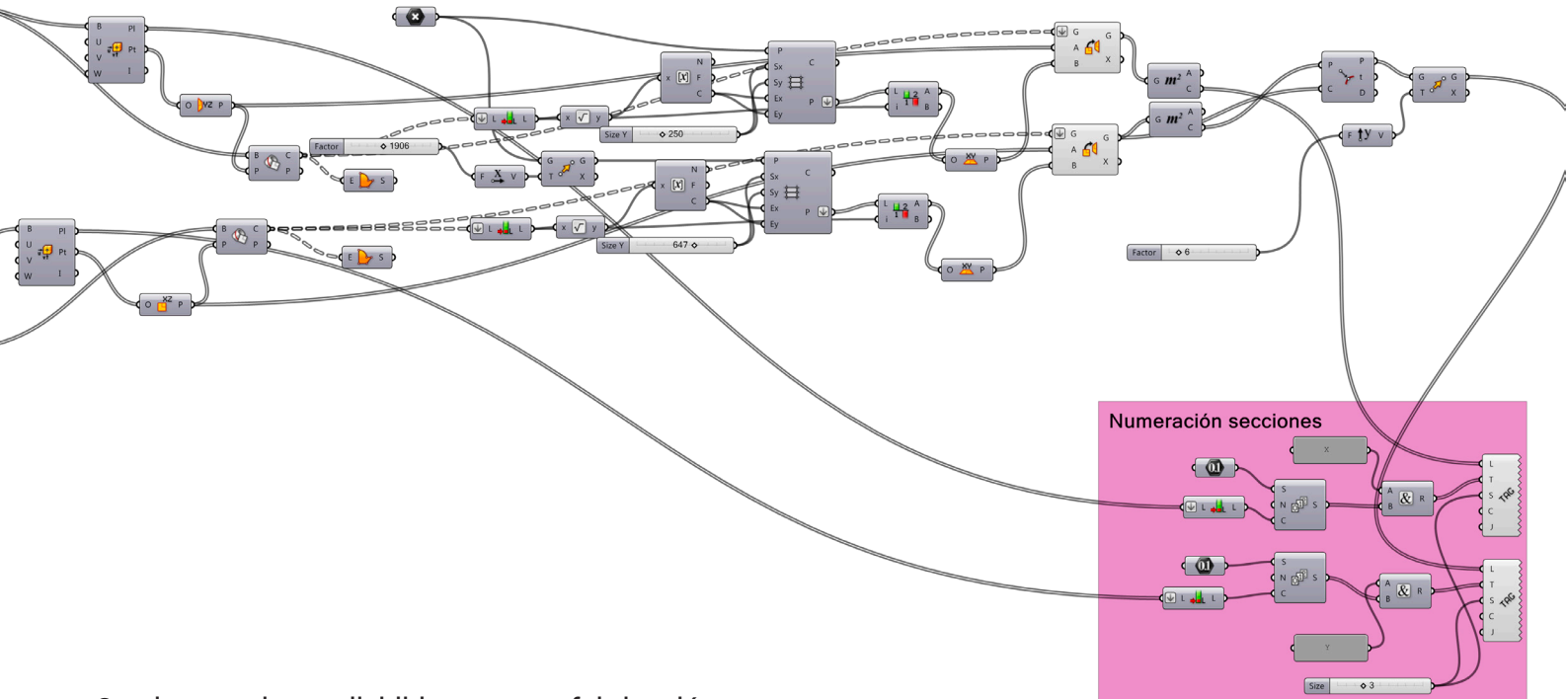


## D - Ordenación, numeración y puesta en plano de las secciones para el corte





## D - Ordenación, numeración y puesta en plano de las secciones para el corte



Con las secciones divididas para su fabricación y con las zonas de encaje, ya solo queda ordenar las secciones y ponerlas en plano.

Las secciones se numeran por orden de lejanía al origen del 3D. Luego se crea una matriz similar a la generada en la parte B (**Fig.126**), donde cada vértice de la malla es el punto de posición para las secciones.

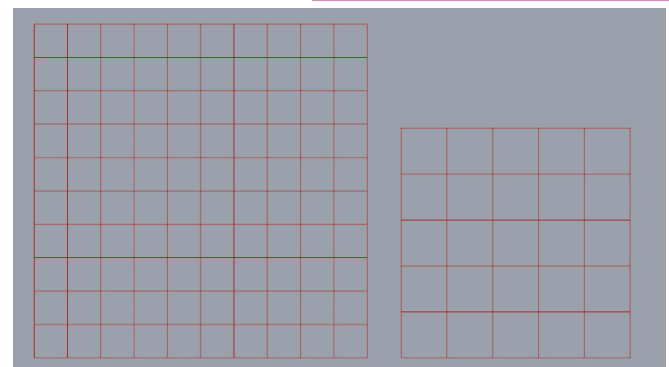
Las curvas que forman las secciones se reorientan gracias al componente "orient" que permite trasladar una geometría desde un plano de origen a un plano de destino. En cada punto de la matriz si sitúa un plano de destino, de manera que todas las geometrías quedan proyectadas en plano (**Fig.127**).

El último paso es numerarlas para facilitar su montaje. Para ello se crea una lista de números, cuyo límite es el número de secciones tanto en X como en Y.

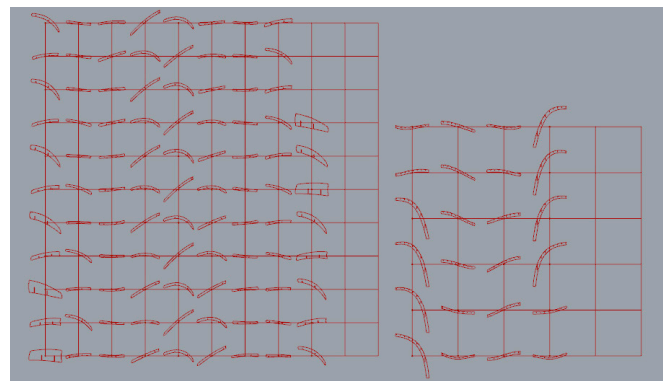
En el centro de cada sección se coloca el texto X o Y, en función del eje al que sea paralelo, seguido del número correspondiente (**Fig.128**).

Las secciones numeradas y en plano se exportan en formato .dxf (autocad) para ser interpretados por una máquina de corte.

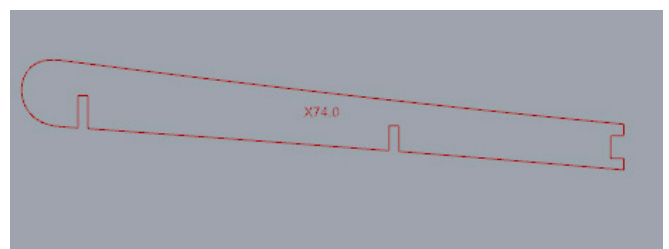
**Fig. 128-** Detalle de una de las secciones con su numeración



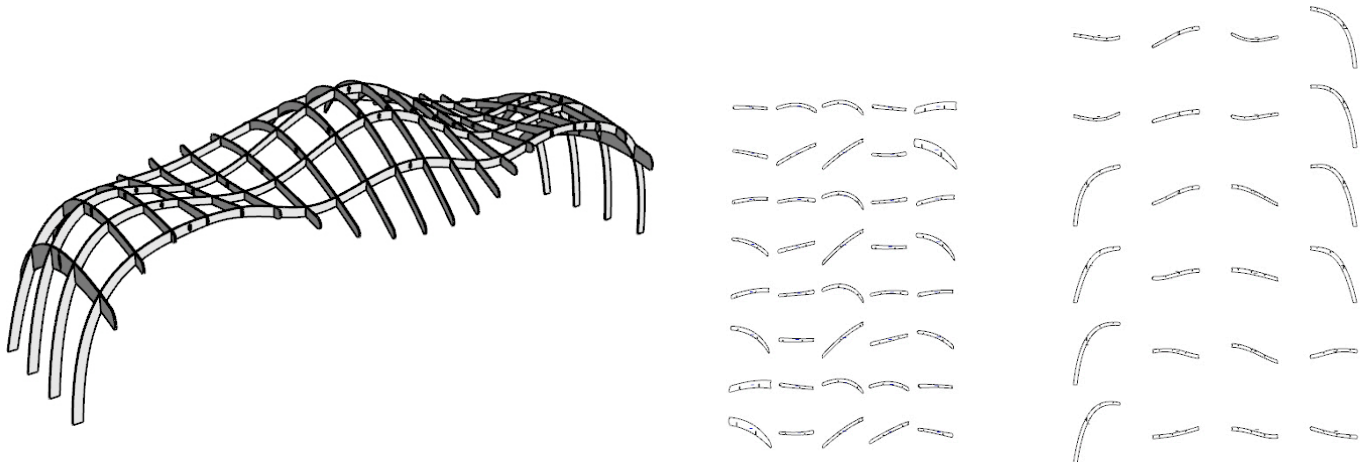
**Fig. 126-** Matriz rectangular.



**Fig. 127-** Secciones en plano situadas en los vértices.



A continuación se exponen las diferentes alternativas planteadas, cambiando los parámetros de entrada para ver que geometría resultante se obtenía.



**Número de divisiones en X: 20**

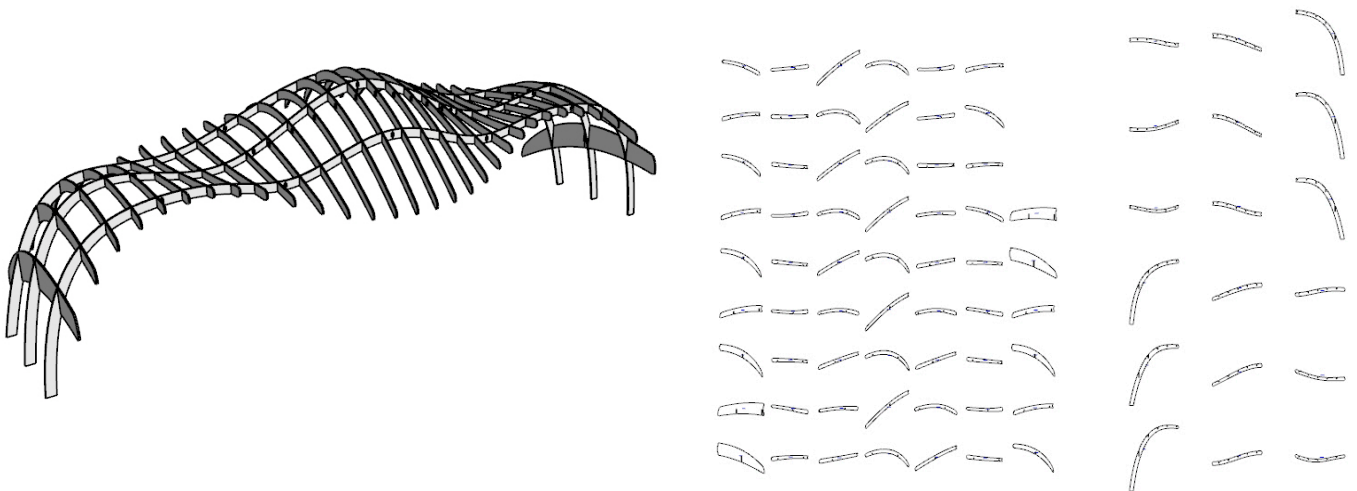
**Secciones totales en X: 40**

**Largo de tablero: 2500mm.**

**Número de divisiones en Y: 3**

**Secciones totales en Y: 18**

**Piezas totales: 58**



**Número de divisiones en X: 30**

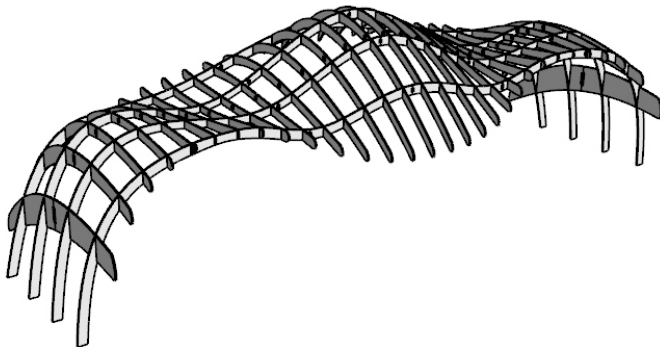
**Secciones totales en X: 60**

**Largo de tablero: 2500mm.**

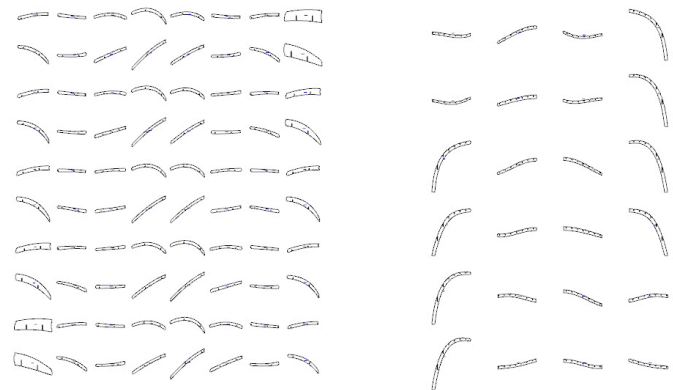
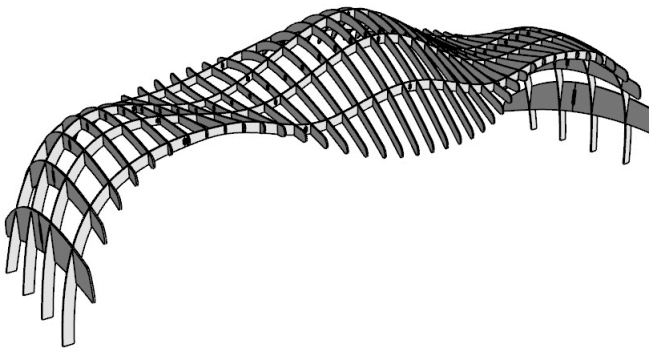
**Número de divisiones en Y: 3**

**Secciones totales en Y: 18**

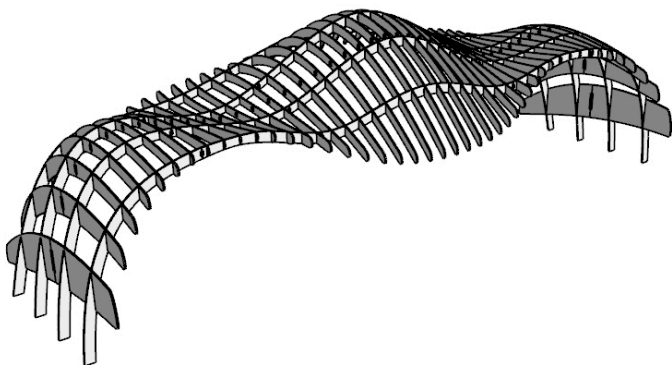
**Piezas totales: 78**



**Número de divisiones en X:** 30    **Secciones totales en X:** 60    **Largo de tablero:** 2500mm.  
**Número de divisiones en Y:** 4    **Secciones totales en Y:** 24    **Piezas totales:** 84

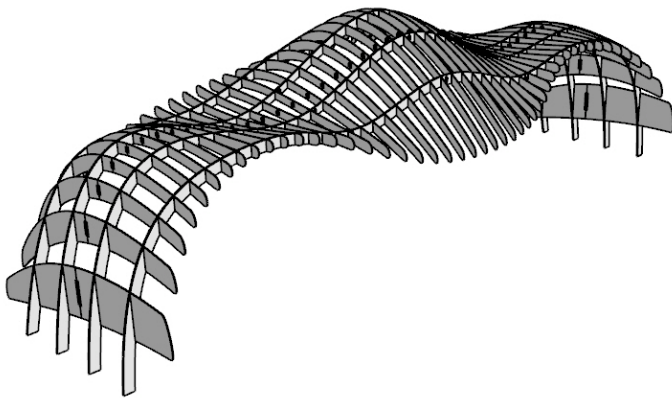


**Número de divisiones en X:** 40    **Secciones totales en X:** 80    **Largo de tablero:** 2500mm.  
**Número de divisiones en Y:** 4    **Secciones totales en Y:** 24    **Piezas totales:** 104



**Número de divisiones en X:** 45    **Secciones totales en X:** 90    **Largo de tablero:** 2500mm.  
**Número de divisiones en Y:** 4    **Secciones totales en Y:** 24    **Piezas totales:** 114



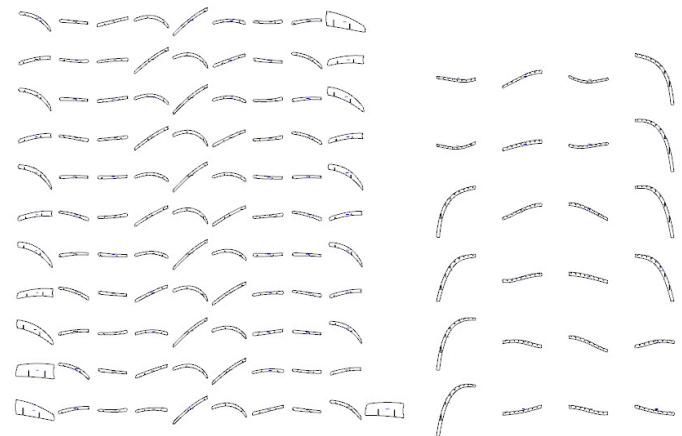
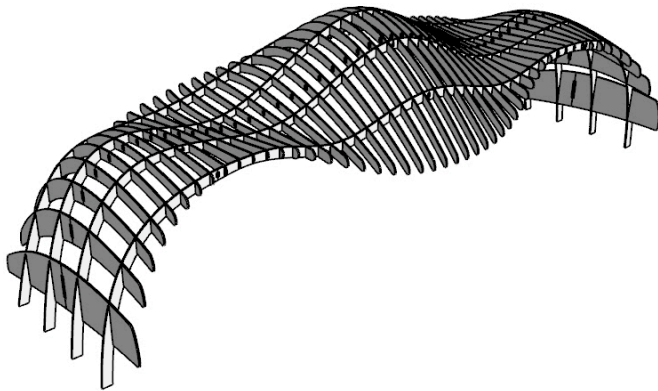


**Número de divisiones en X: 48   Secciones totales en X: 96**

**Largo de tablero: 2500mm.**

**Número de divisiones en Y: 4   Secciones totales en Y: 24**

**Piezas totales: 120**



**Número de divisiones en X: 50   Secciones totales en X: 100**

**Largo de tablero: 2500mm.**

**Número de divisiones en Y: 4   Secciones totales en Y: 24**

**Piezas totales: 124**

Como se decía en la primera fase (pag.28) el seccionamiento es una técnica que funciona mejor cuantas más secciones se tiene. No obstante, hay que ser conscientes de que el ensamblaje debe ser fabricable, montado y transportado en un corto plazo de tiempo.

Tras valorar las diferentes posibilidades planteadas se decide seguir adelante con la alternativa de las 48 divisiones en X. Se considera que es la que tiene una mejor relación entre la estética conseguida y la cantidad de piezas requeridas.

#### **DEFINITIVA:**

**Divisiones en X: 48 (96 piezas reales)**

**Divisiones en Y: 4 (24 piezas reales)**

**Grosor de secciones en X: 15mm**

**Grosor de secciones en Y: 30mm**

**Número de piezas totales: 120**

**Máxima longitud de tablero: 2500mm**

### 3.2.3 ANÁLISIS ESTÁTICO

El stand diseñado es una estructura que se sujeta exclusivamente sobre 4 secciones, que están fijadas en los laterales. Todo lo demás depende de la resistencia de esas 4 secciones, quedando por encima de los visitantes del stand. Esta disposición puede llegar a suponer un riesgo.

Con el fin de asegurar que la estructura diseñada es resistente y segura, se decide realizar un análisis estático para comprobar las cargas y determinar su coeficiente de seguridad. El análisis se realizará con el complemento para análisis mecánicos de SolidWorks: SolidWorks simulation. Es un complemento que permite hacer comprobaciones mecánicas basadas en el método de cálculo a partir de elementos finitos, o MEF. Es necesario por tanto importar la geometría de Rhinoceros a Solidworks.

El cálculo por elementos finitos se basa en la descomposición del modelo 3D en una serie de elementos más pequeños (cuyo tamaño es variable, en función de la precisión que se esté buscando). De esta manera el programa resuelve un determinado número de pequeños problemas mecánicos, más sencillos, y a partir de ellos devuelve un resultado completo de las cargas y deformaciones sufridas por el volumen estudiado.

En cualquier programa de análisis MEF se requiere de una serie de parámetros iniciales además de, por supuesto, el modelo 3D a analizar. Estos parámetros son:

-**El material** del modelo del cuál dependerán todas las características mecánicas como la densidad, el módulo elástico, el límite elástico, etc.)

-**La malla**, o descomposición en elementos finitos del modelo.

-**Las cargas externas** a las que está sometido, para poder comprobar la resistencia.

-**Las fijaciones**, es decir, las restricciones necesarias para un problema mecánico válido.

-**Los contactos** entre los diferentes sólidos que componen el modelo, ya que pueden ser contactos rígidos o con penetración.

**Punto de partida:** Modelo 3D de la estructura (**Fig.128**). En el modelado original, las secciones que componen el stand están divididas para ser fabricables (**Fig.129**), sin embargo, a la hora de analizarla mecánicamente, esto no supone prácticamente ningún cambio en los resultados finales. Para conseguir un mallado y una resolución del problema menos complejos, se simplifican las secciones en sólidos únicos en vez de en secciones divididas para realizar una aproximación (**Fig.130**), evitando así un análisis muy complejo cuyas conclusiones serían bastante parecidas al fin y al cabo.

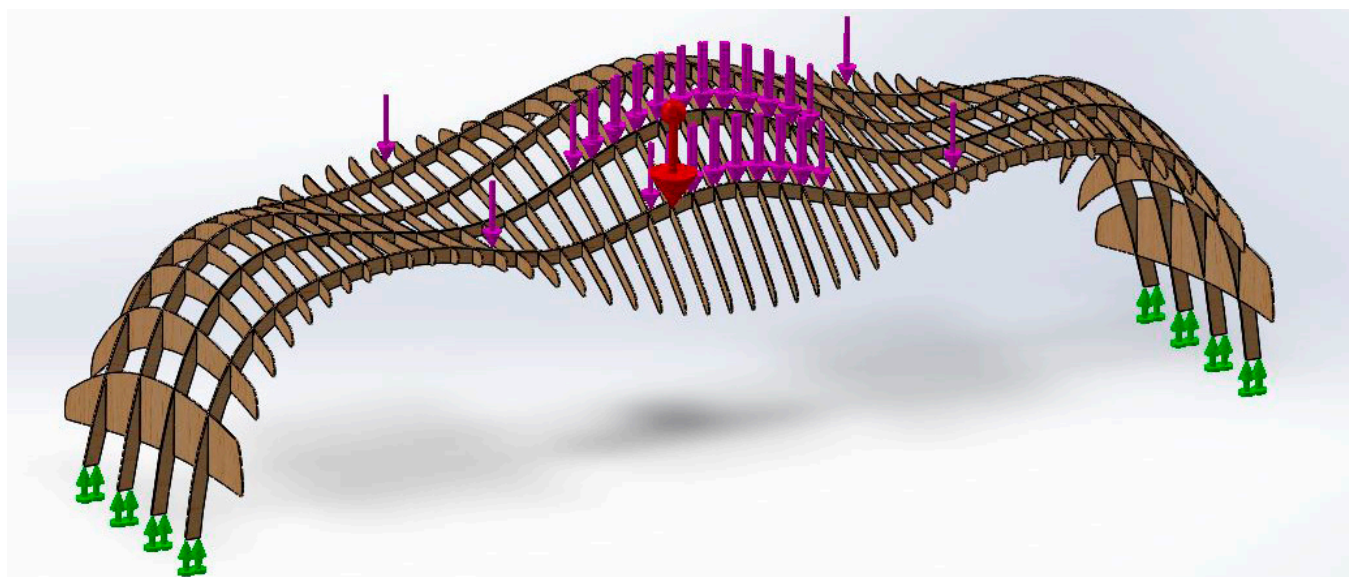


Fig. 129- Estructura en Solidworks con los esfuerzos aplicados.

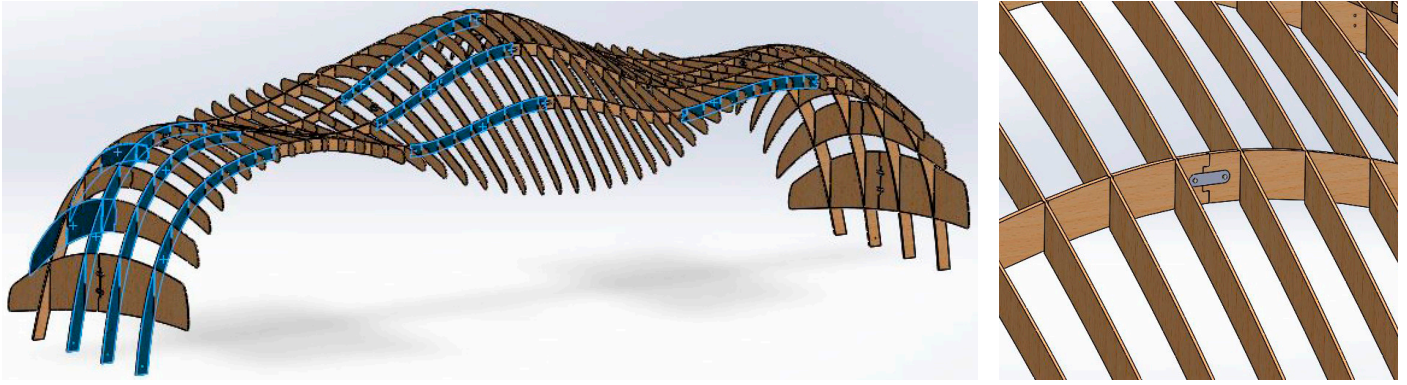


Fig. 129- Modelo fiel a la realidad, donde las secciones están divididas para ser fabricadas.

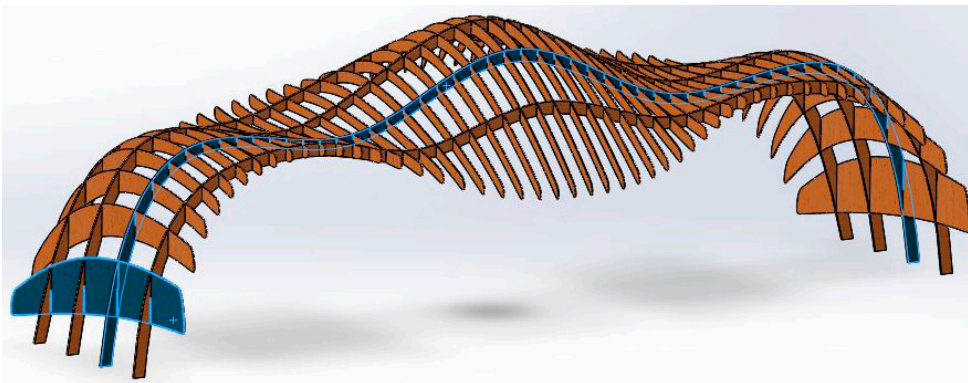


Fig. 130- Modelo dondel las secciones están sin dividir para un análisis menos complejo.

### Restricciones:

Es necesario determinar las zonas de sujeción de la estructura para un correcto cálculo. En este caso, las 4 secciones que soportan el peso se apoyan en su propia base, como se ve en la siguiente imagen (Fig.131). A estas caras inferiores se les ha impuesto una restricción de geometría fija, lo que hace que toda la estructura permanezca inmóvil

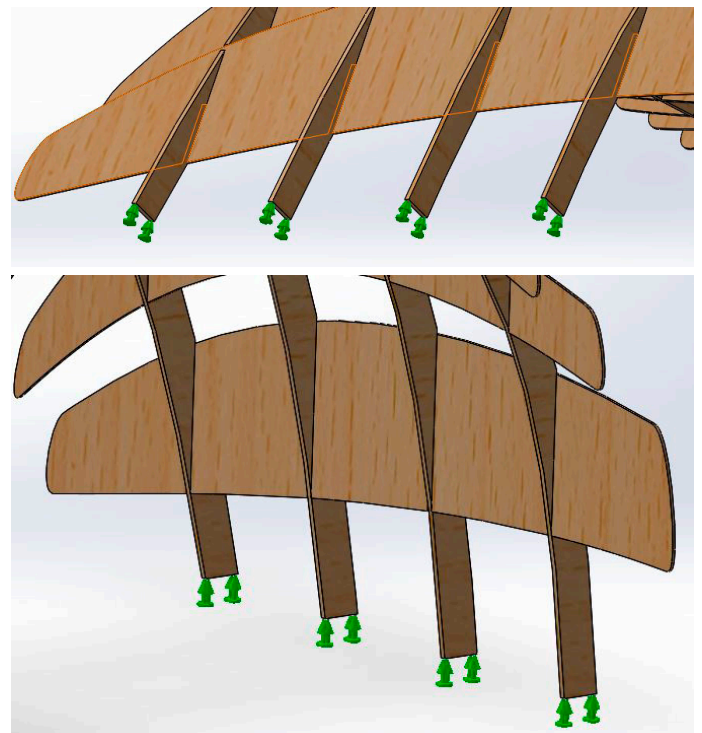


Fig.131- Fijaciones en los puntos de apoyo



### Cargas externas:

En primer lugar, se activa la gravedad. La acción de la gravedad es fundamental si se quiere que el análisis tenga en cuenta el peso de toda la estructura. Además del peso, existen otras cargas que actúan sobre el stand, como son los focos y raíles electrificados, y el peso del logo y las barras que lo soportan. Con el fin de que el análisis se aproxime lo máximo posible al caso real, se estiman las fuerzas que harían estos elementos.

La estimación del peso de los focos y los raíles electrificados que los sujetan se hace a partir del peso determinado por el fabricante en su catálogo, obtenidos de la página web oficial (Fig.132).

Apoyado en la segunda sección de las 4 longitudinales que sostienen la estructura, se encuentra un raíl electrificado de 3 metros y 5 focos (Fig.133), por lo que la carga resultante será:

$$(5 \text{ focos} \times 0,72\text{kg} + 3,30\text{kg}) \times 9,81\text{m/s}^2 = 88,87 \text{ N.}$$

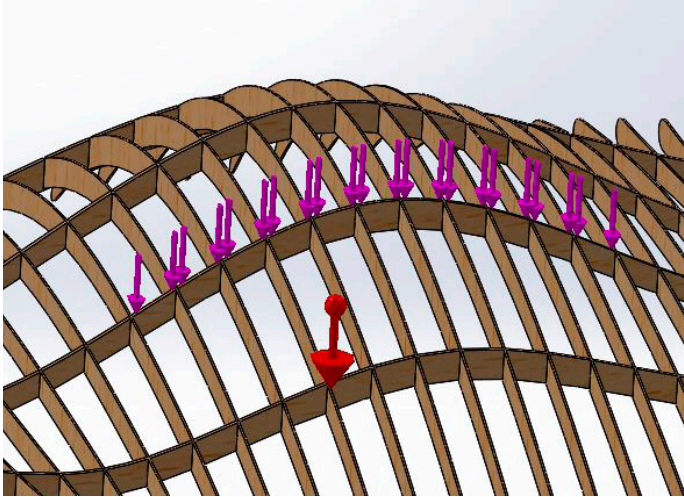


Fig. 133- Aplicación de la carga del raíl de 3m y los 5 focos.



Peso: 0,72kg

**71604.000 Blanco**  
LED 12W 1590lm 4000K blanco neutro  
DALI  
Versión 2  
Potencia instalada 15W  
Lente Spherolit flood

**Descripción del producto**  
Cuerpo y brazo: fundición de aluminio, pintura en polvo. Orientable 0°-90°. Brazo en el adaptador DALI girable 360°. Conducto interior de cables. Equipo auxiliar DALI. Adaptador DALI ERCO para raíl electrificado DALI: material sintético. Módulo de LEDs: LEDs de alta potencia sobre circuito impreso de núcleo metálico. SDCM<2. CRI>80. L80/B10 50000h. Óptica colimadora de polímero óptico. Margen de regulación 1%-100%

**Peso 0,72kg**  
Clase de eficiencia energética EEI A+  
LMF E



Peso: 2,20kg

**78302.000 Plateado**  
Longitud 2000mm

**Descripción del producto**  
Perfil de aluminio, anodizado. Superficie de montaje con orificios pretaladrados a una distancia de 0,4m. 4 conductores de cobre aislados y conductor a tierra encastrado. Aplicación como raíl electrificado DALI: un circuito eléctrico de 16A y dos conductores para la conexión a la línea de datos DALI. Aplicación como raíl electrificado trifásico: tres circuitos eléctricos conectables independientemente, con 16A cada uno. El sistema de raíles electrificados ERCO está homologado según IEC 60570 (EN 60570 / VDE 0711 parte 300).

**Peso 2,20kg**



Peso: 2,20kg

**78303.000 Plateado**  
Longitud 3000mm

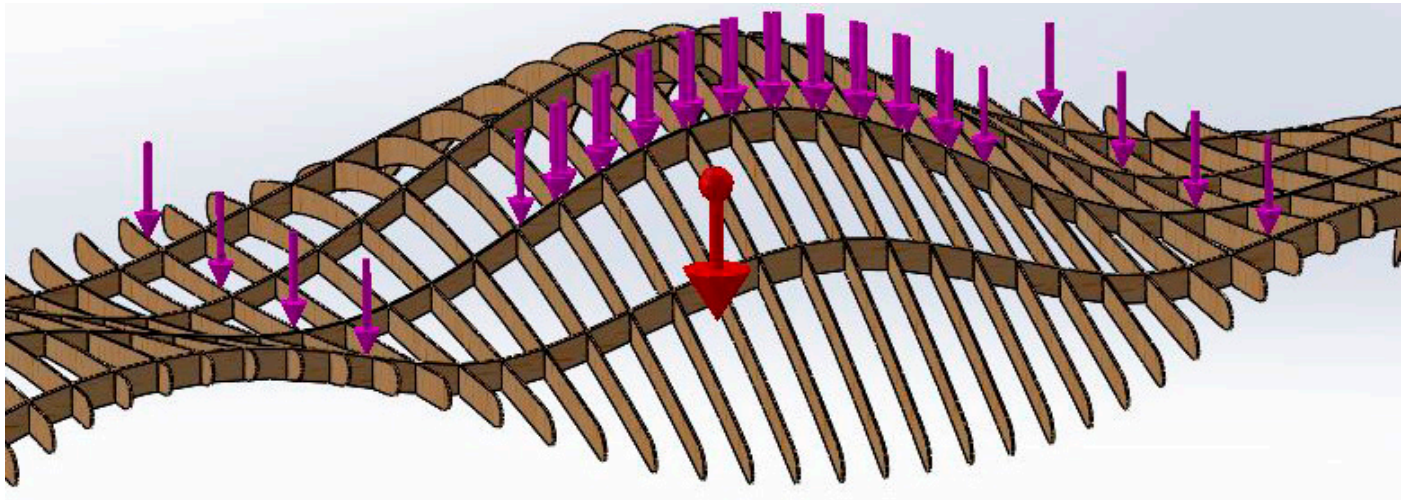
**Descripción del producto**  
Perfil de aluminio, anodizado. Superficie de montaje con orificios pretaladrados a una distancia de 0,4m. 4 conductores de cobre aislados y conductor a tierra encastrado. Aplicación como raíl electrificado DALI: un circuito eléctrico de 16A y dos conductores para la conexión a la línea de datos DALI. Aplicación como raíl electrificado trifásico: tres circuitos eléctricos conectables independientemente, con 16A cada uno. El sistema de raíles electrificados ERCO está homologado según IEC 60570 (EN 60570 / VDE 0711 parte 300).

**Peso 3,30kg**

Fig. 132- Características de raíles y focos extraídas del catálogo.

En las secciones transversales se apoyan sendos raíles de 2 metros, con 3 focos cada uno (**Fig.134**). La carga será:

$$(3 \text{ focos} \times 0,75\text{kg} + 2,20\text{kg}) \times 9,81\text{m/s}^2 = 45,77 \text{ N.}$$

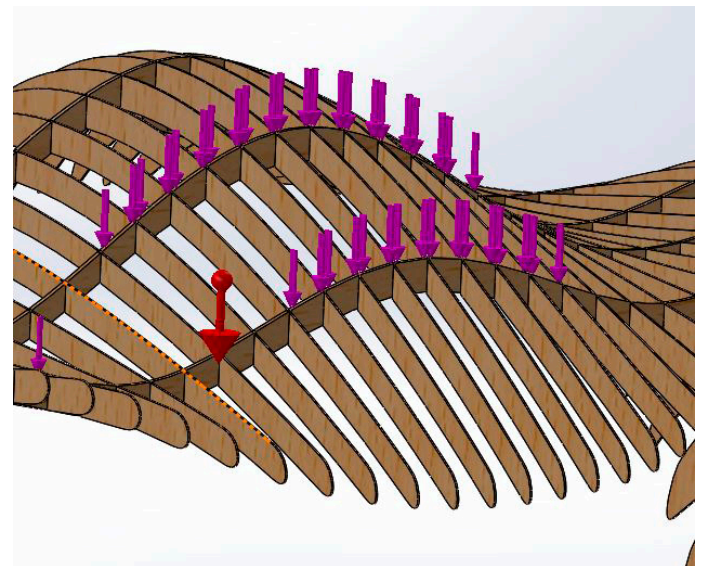


**Fig.134-** Aplicación de la carga de los raíles de 2m con los 3 focos a ambos lados.

La última carga a tener en cuenta es la del logo y las barras que lo sujetan (**Fig. 135**). Puesto que no se conoce el peso del mismo y no hay ninguna forma de estimarlo, se le supone un peso de unos 12-13kg a todo el conjunto, considerándolo una carga bastante superior a lo que podría ser el peso real del logo fabricado en poliestireno expandido, con perfiles de acero bastante delgados.

Así pues, se aplica una carga en la primera sección en función de ese peso estimado de 13kg, teniendo una fuerza de unos 130N.

Todas las cargas que se han impuesto están repartidas a lo largo de la cara o superficie seleccionada, perteneciente a la sección sobre la que están aplicadas dichas cargas.



**Fig. 135-** Aplicación de la carga del logo y los perfiles de acero.

Acción del raíl de 3m y los focos = 88,87 N

Acción del raíl de 2m y los focos = 45,5 N (x2)

Acción del logo = 130 N

Peso de la estructura = 583 Kg

## Materiales:

Para este problema, se van a analizar dos materiales en concreto sobre los que se está pensando fabricar el stand: el contrachapado y el aglomerado.

SolidWorks no posee las características mecánicas del contrachapado ni del aglomerado, por lo que es necesario crear un nuevo material y asignarle valores para el módulo elástico, la densidad, la tensión de rotura, el límite elástico, el módulo de compresión, etc. En definitiva, todas las variables que intervienen en un análisis mecánico.

Esto resulta ser un problema, pues la variedad de contrachapados y aglomerados que existe es enorme, y sus comportamientos mecánicos y resistencias cambian mucho entre una variedad y otra. Para materiales metálicos o plásticos con una composición determinada, resulta fácil encontrar información precisa acerca de sus características mecánicas, sin embargo para la madera no hay muchas referencias y entre ellas existen grandes discrepancias.

Esto se debe a que, por un lado, existen muchas

especies de madera y dentro de cada una pueden existir diferentes variedades. Un contrachapado puede estar fabricado en madera de pino o de abeto, ser una mezcla de ambas o tener en sus caras exteriores, por ejemplo, chapas de roble. A su vez, el aglomerado puede estar fabricado de virutas de diferentes especies arbóreas.

No solo el tipo de madera interviene en el comportamiento del material, también el tipo y la cantidad de pegamento para conformar el tablero, o la absorción de humedad de los mismos.

Existen numerosas publicaciones en las que se hace un acercamiento a las características mecánicas de diferentes maderas, mediante ensayos de tracción y compresión, comparando los resultados y elaborando una tabla de medias.

En este caso, se tomará como referencia una de esas publicaciones para realizar una aproximación, puesto que el objetivo principal del proyecto no es el de un análisis mecánico 100% realista sino que con una estimación de la resistencia es suficiente, mientras sea coherente y sirva para asumir que la estructura tiene un diseño funcional.

Tabla 1. Densidad, módulo de elasticidad y módulo de ruptura para tableros aglomerados, contrachapados y enlistonados de madera.

	Dirección transversal			Dirección longitudinal			Transversal+Longitudinal		
	$\rho$	MOE <sub>T</sub>	MOR <sub>T</sub>	$\rho$	MOE <sub>L</sub>	MOR <sub>L</sub>	$\rho$	MOE <sub>TL</sub>	MOR <sub>TL</sub>
	kg/m <sup>3</sup>	MPa	MPa	kg/m <sup>3</sup>	MPa	MPa	kg/m <sup>3</sup>	MPa	MPa
Tableros aglomerados CH = 7,22 %									
$\bar{x}$	628	3140	32,33	630	3353	32,24	629	3247	32,28
$\sigma$	1,96	131	1,02	4,99	105	1,63	3,93	160	1,35
CV	0,01	0,04	0,03	0,01	0,03	0,05	0,01	0,05	0,04
Tableros contrachapados CH = 10,35 %									
$\bar{x}$	532	3136	33,02	532	7246	60,67	532	5191	46,85
$\sigma$	9,06	361	4,25	14,67	359	4,91	12	2101	14,66
CV	0,02	0,12	0,13	0,03	0,05	0,08	0,02	0,40	0,31
Tableros enlistonados CH = 8,45 %									
$\bar{x}$	466	3888	26,17	463	5339	31,75	464	4613	28,96
$\sigma$	10,30	814	5,22	15,32	741	6,81	13,00	1063	6,65
CV	0,02	0,21	0,20	0,03	0,14	0,21	0,03	0,23	0,23

CH: Contenido de humedad;  $\rho$ : Densidad; MOE: Módulo de elasticidad; MOR: Módulo de ruptura; T: Transversal; L: Longitudinal;  $\bar{x}$ : Media;  $\sigma$ : Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.

Fig. 136- Tabla extraída del trabajo de posgrado de "Caracterización mecánica en flexión estática de madera reconstituida. Tableros aglomerados, contrachapados y enlistonados. Por Javier Ramón y Mariana Ramírez. Abril de 2015"



Para conocer la densidad y el módulo elástico, se toma de referencia las medias obtenidas mediante experimentación en el trabajo de posgrado de “Caracterización mecánica en flexión estática de madera reconstituida. Tableros aglomerados, contrachapados y enlistonados. Por Javier Ramón y Mariana Ramírez. Abril de 2015” [43] (Fig. 136).

En esta publicación aparecen recogidas las conclusiones del estudio, donde se determinan módulos elásticos y densidades del contrachapado y del aglomerado. Para el estudio mecánico, se escogen los módulos elásticos teniendo en cuenta la dirección transversal y longitudinal.

No obstante, faltan datos como el límite elástico o el coeficiente de poisson, sin los que es imposible realizar un análisis mecánico válido. Teniendo en cuenta que los materiales más habituales usados en estos tableros son el pino, el abeto o el álamo, se decide completar el resto de datos necesarios a partir de los del pino blanco americano.

Estos datos se pueden consultar en la página matweb, que tiene una base de datos con características mecánicas de un gran número de materiales (Fig.137).

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	0.350 g/cc	0.0126 lb/in³	Air Dry (12-15% Moisture Content)
Cell Length	3.00 mm	0.118 in	Mature Wood
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Wood Indentation	1700 N	382 lb (f)	Side
Tensile Strength, Ultimate	2.10 MPa	305 psi	Perpendicular to Grain
	78.0 MPa	11300 psi	Axial
Modulus of Rupture	0.0590 GPa	8.56 ksi	In Bending
Flexural Yield Strength	41.4 MPa	6000 psi	Bending stress at proportional limit
Flexural Modulus	8.30 - 8.56 GPa	1200 - 1240 ksi	In Bending
Compressive Yield Strength	3.50 MPa	508 psi	Perpendicular to Grain
	33.0 - 33.1 MPa	4790 - 4800 psi	Parallel to Grain
Shear Strength	6.20 MPa	899 psi	Orientation Unknown
Toughness	12.4 J	9.15 ft-lb	Radial
	13.6 J	10.0 ft-lb	Tangential
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Shrinkage	2.3 %	2.3 %	Radial; Green to Zero Moisture
	6.0 %	6.0 %	Tangential; Green to Zero Moisture
	8.2 %	8.2 %	Volumetric; Green to Zero Moisture

Fig. 137- Tablas con las características de la madera de pino americano.

Madera de álamo:  
 Coeficiente de poisson 0.29  
 Límite elástico 22.1

Madera de pino blanco americano:  
 Limite elástico 41.

Con los datos recopilados, se crean los materiales contrachapado y aglomerado dentro de la biblioteca de SolidWorks:

### Contrachapado

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	5191	N/mm <sup>2</sup>
Coeficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	6.2	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	532	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	155	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión	33	N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	41.4	N/mm <sup>2</sup>
Coeficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.05	W/(m·K)
Calor específico		J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

### Aglomerado

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	3247	N/mm <sup>2</sup>
Coeficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	300	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	629	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	155	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión	20	N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	41.4	N/mm <sup>2</sup>
Coeficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.05	W/(m·K)
Calor específico		J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

### Mallado:

Este es otro de los puntos críticos en el análisis, ya que al tratarse de un modelo importado de Rhinoceros, la geometría es una “traducción” que SolidWorks hace de ese archivo. De esta forma, el modelo importado en un primer momento conlleva muchos problemas. Es necesario realizar una reparación del fichero para que SolidWorks pueda interpretar correctamente la geometría. Una vez reparadas las zonas conflictivas, se puede proceder a realizar el mallado.

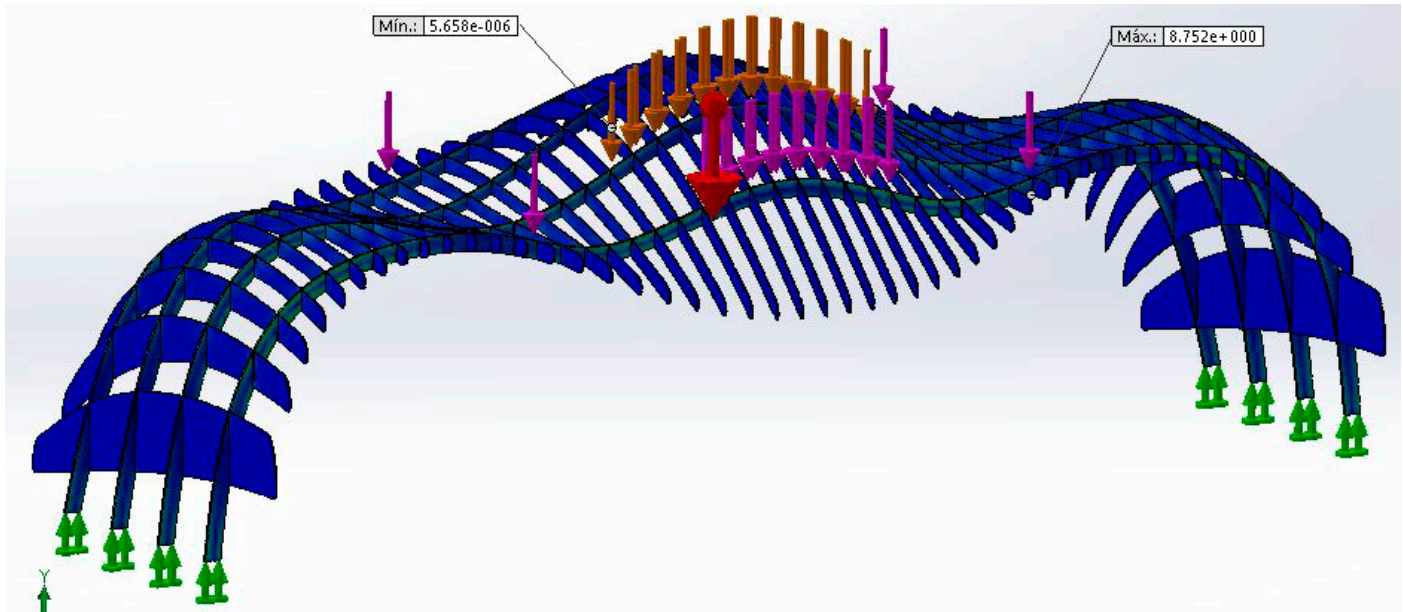
El mallado debía ser fino para intentar captar los detalles de la estructura, sin embargo un mallado excesivamente fino hacía que no se pudiese ejecutar el análisis. Finalmente tras unas cuantas pruebas, se consigue un análisis lo suficientemente fino para no desvirtuar la geometría original pero lo suficientemente grueso para poder realizar el análisis. Las características de la malla son:

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	110 mm
Tolerancia	3.1 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	107187
Número total de elementos	45168
Cociente de aspecto máximo	236.42

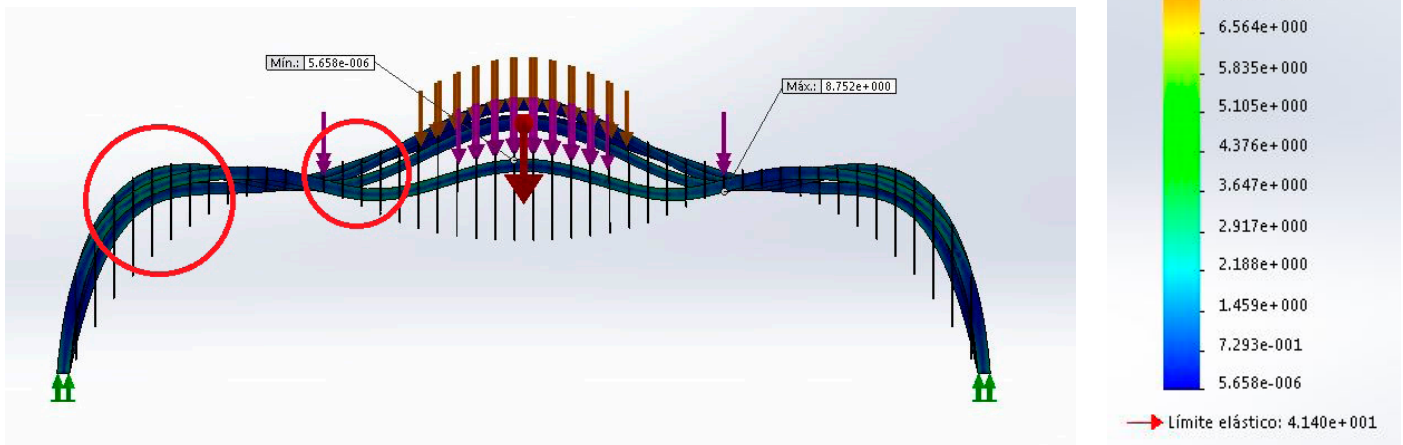
## RESULTADOS:

Para el **CONTRACHAPADO**

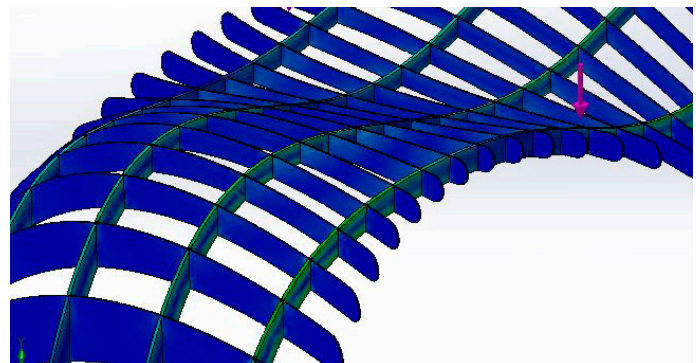
Análisis de tensiones:



El resultado del análisis de tensiones da un máximo de 8,75 MPa. Esto es bastante positivo, y confirmaría la resistencia de la estructura. Los puntos críticos son los que se ven en la siguiente imagen:



Por la forma de las secciones, las zonas señaladas actúan como concentradores de tensiones. Es lógico que las secciones transversales queden en azul, es decir, con la carga mínima, ya que no soportan ninguna carga.

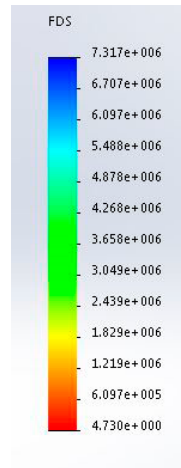




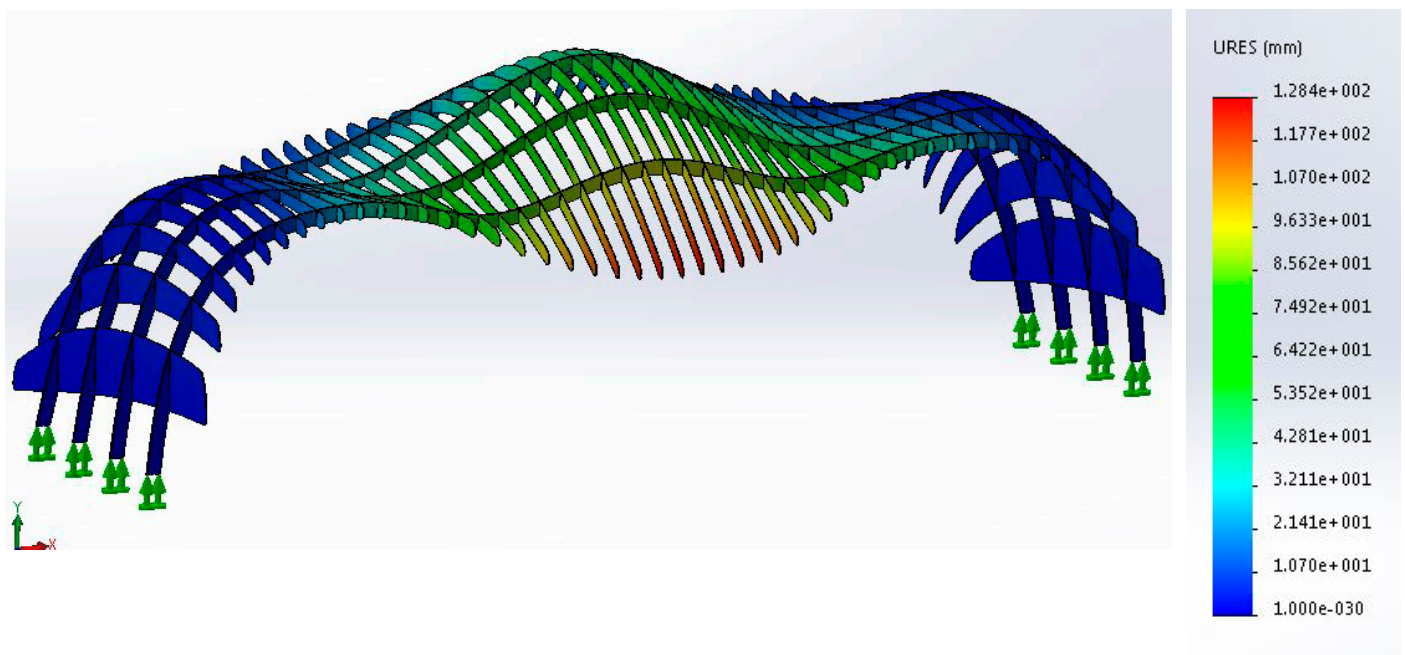
## RESULTADOS:

### Para el CONTRACHAPADO

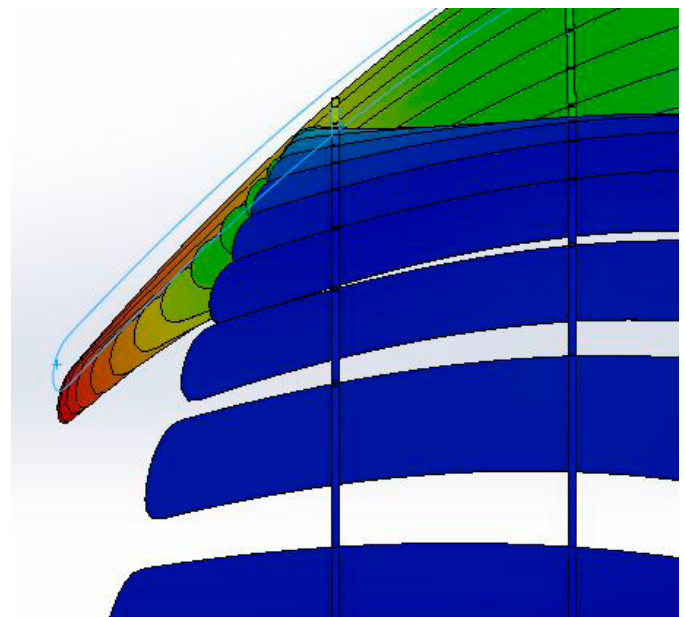
El factor de seguridad mínimo de la estructura es de 4.73, lo que quiere decir que la máxima tensión es 4,73 veces menor que el límite elástico. Esta tensión está además localizada en zonas muy puntuales, en el resto de la estructura el factor de seguridad es superior. Estructuralmente es un diseño bastante bueno.



### Deformaciones:



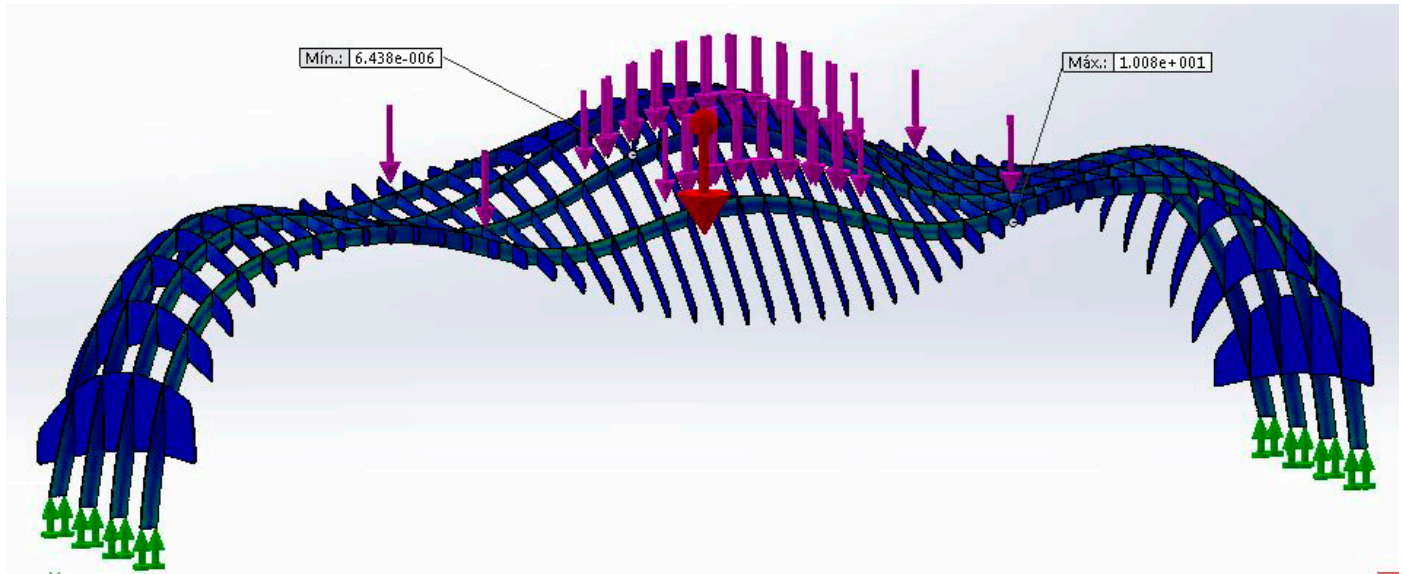
Si bien las tensiones máximas dan un resultado muy positivo, no lo son tanto las conclusiones que se sacan del análisis de deformaciones. Se puede observar que hay un gran desplazamiento en la zona central, debido a la concentración de cargas y a que es la zona más alejada de las fijaciones, además es donde las secciones transversales alcanzan una mayor longitud, quedando en voladizo. Todas estas condiciones favorecen un desplazamiento máximo de hasta 128mm, en la zona más roja del gráfico de deformaciones.



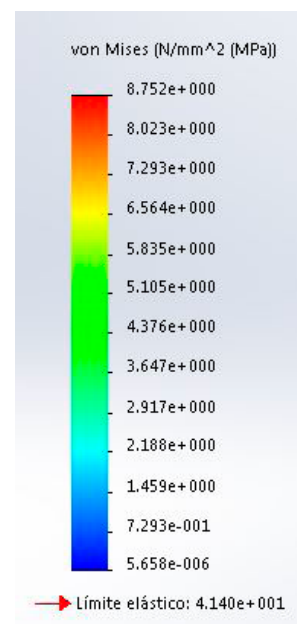
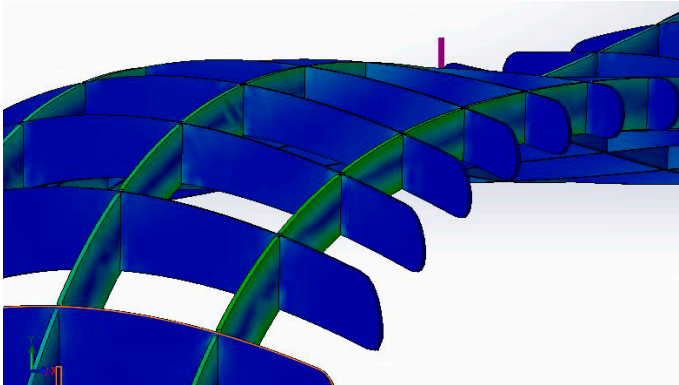
## RESULTADOS:

Para el **AGLOMERADO**

Análisis de tensiones:



Viendo las características definidas de cada material, era presumible que los resultados del aglomerado iban a ser parecidos. La carga máxima en este caso es algo mayor, de 10MPa. Por lo que se considera una estructura prácticamente igual de válida en cuanto a resistencia se refiere, ya que el mínimo factor de seguridad es 4.1

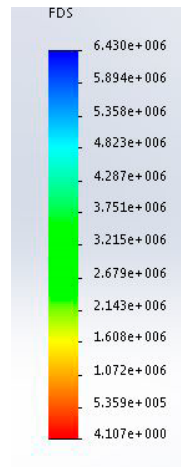


Los resultados son igualmente coherentes en lo que respecta a las zonas críticas.

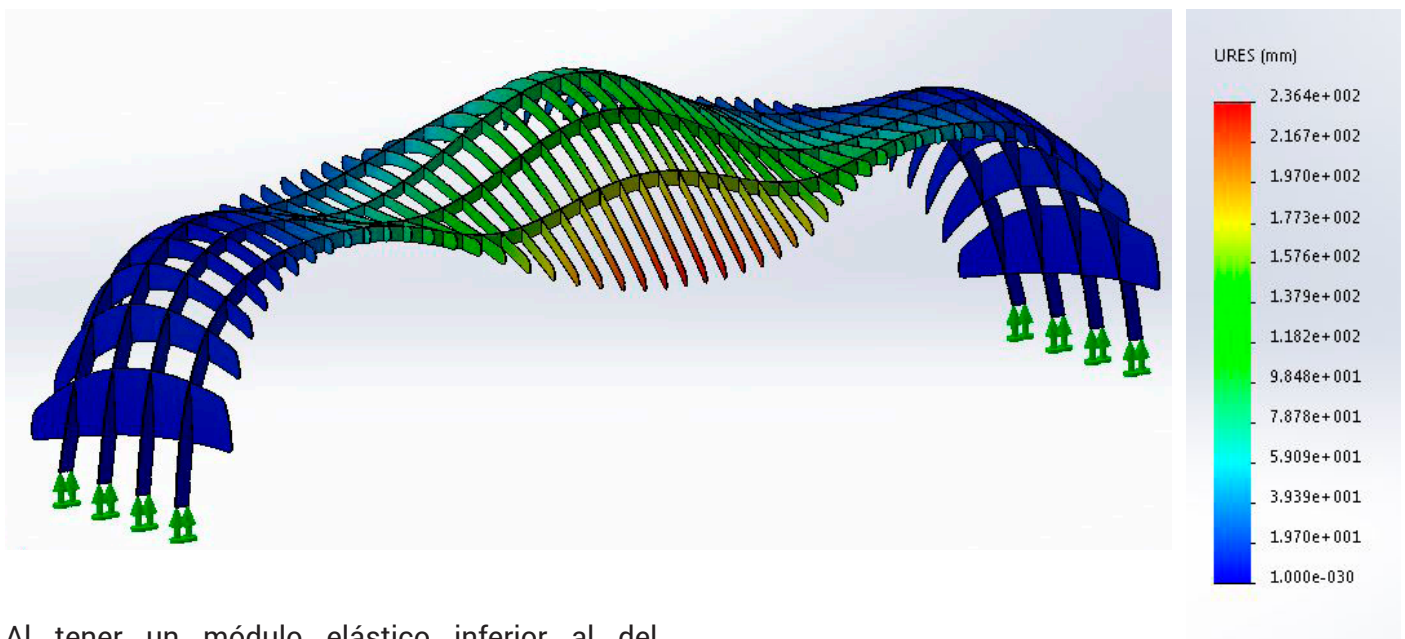
## RESULTADOS:

### Para el **AGLOMERADO**

El factor de seguridad mínimo de la estructura es de 4.73, lo que quiere decir que la máxima tensión es 4,73 veces menor que el límite elástico. Esta tensión está además localizada en zonas muy puntuales, en el resto de la estructura el factor de seguridad es superior. Estructuralmente es un diseño bastante bueno.



### Deformaciones:



Al tener un módulo elástico inferior al del contrachapado, las deformaciones son superiores, lo que podría llegar a suponer un grave problema. En este caso, la deformación máxima es de casi 236mm.



## Conclusiones:

Se ha cumplido el objetivo del análisis, aquel de comprobar que la estructura es lo suficientemente resistente para aguantar durante la duración de la feria sin suponer un peligro para los visitantes. El aspecto negativo que se extrae son las excesivas deformaciones que sufre en la zona delantera como consecuencia del voladizo en esa parte, para lo cual habría que tomar medidas. Algunas de estas medidas podrían ser:

Aumentar el grosor de las 4 secciones longitudinales, de 30mm a 40mm.

Seleccionar un tipo de tablero mayor modulo elastico, a base de madera de roble, por ejemplo.

Intentar repartir la carga hacia las zonas laterales.

Implementar una estructura a base de barras de acero que le diese mayor resistencia al conjunto.

En vista a los resultados, **se decide como material definitivo para la fabricación del stand el contrachapado.**

## 3.3 DESARROLLO DEL INTERIOR DEL STAND

Con la forma de la estructura ya definida al 100%, el siguiente paso es completar el diseño del stand con el mobiliario que va en el interior. Se ha aplicado ya el algoritmo de seccionamiento, falta por aplicar el algoritmo de teselado.

### 3.3.1 MODELADOS Y ALGORITMOS

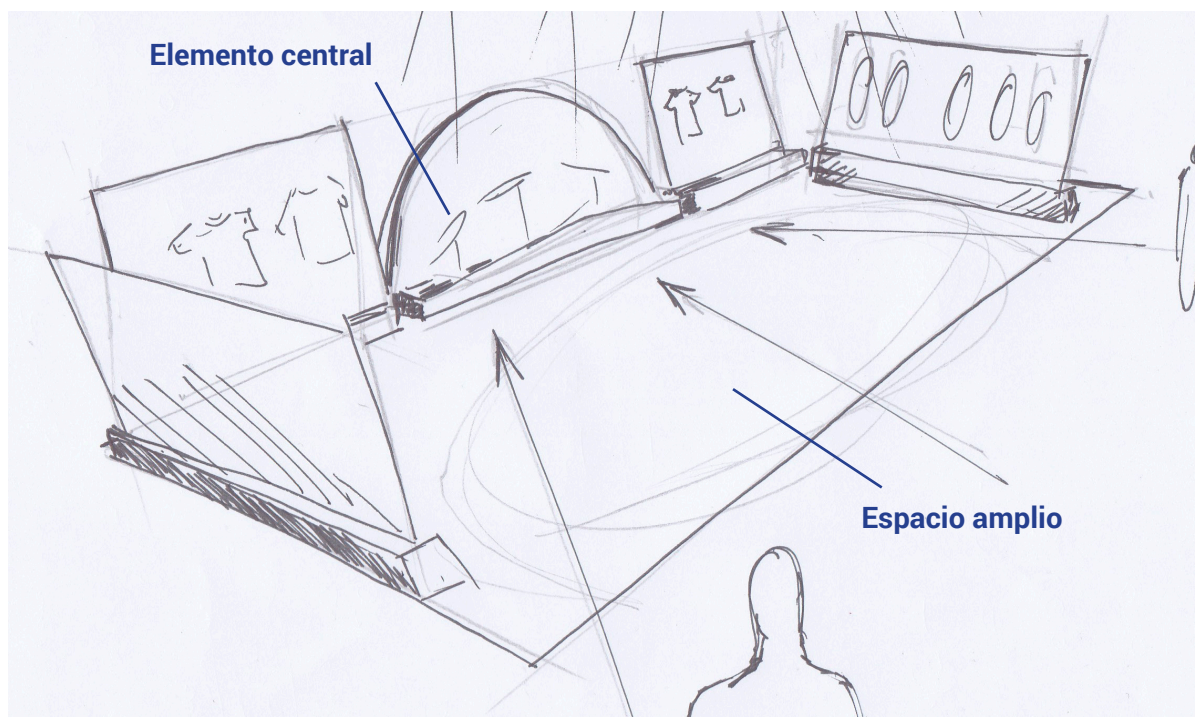


Fig. 138- Boceto de la distribución de los elementos en el espacio expositivo.

La distribución que se plantea pretende ser algo diferente a los stands vistos hasta ahora. Obviamente el mobiliario debe ir de cara al público, y se decide colocar de forma que cree un espacio del estilo de una galería de arte, donde las obras se distribuyen por los laterales y dan al espacio interior.

La característica principal de esta distribución es la situación de un elemento central, donde se exponen los productos estrella de la marca. Se trata del núcleo de la distribución, así que el resto del mobiliario se coloca a ambos lados de él (Fig.138).

Dicho elemento central será el seleccionado para aplicar el segundo método constructivo de los elegidos, el teselado. Hay que tener en cuenta la buena coherencia entre el teselado que se puede conseguir y el producto estrella que se quiere enseñar.

Una vez diseñado el núcleo del interior del stand, se desarrollarán el resto de muebles, para los que habrá que tener en cuenta los productos que desean mostrar.

### 3.3.1.2 APLICACIÓN DEL TESELADO

Puesto que uno de los objetivos principales del proyecto es el de investigar acerca de las posibilidades de la fabricación digital, era un requisito ensayar con otros métodos constructivos aparte del seccionamiento. El teselado era el método que más se ajustaba a los objetivos:

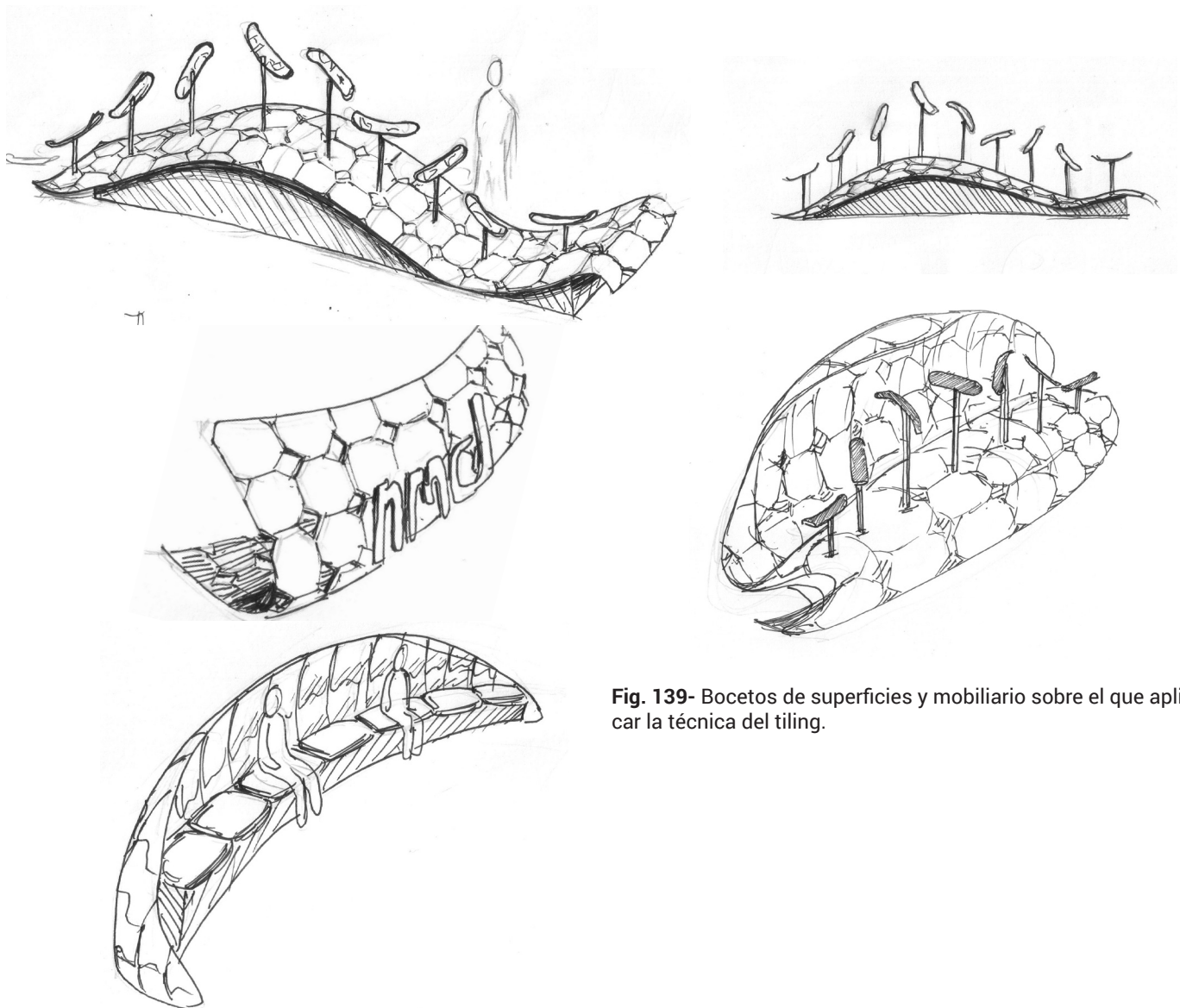
-Es totalmente diferente al seccionamiento, lo que permitiría explorar nuevas barreras.

-Se considera, junto al seccionamiento, uno de los métodos constructivos más utilizados en proyectos de fabricación digital y uno de los principales símbolos de la corriente de la smart geometry.

-Ofrece la posibilidad de generar muchas alternativas muy diversas.

-Se trata de una forma de diseño bastante explorada en el entorno de Grasshopper.

¿Cómo y dónde aplicar este método constructivo dentro del stand? Para responder a esta pregunta se hace una fase creativa (donde se generan ideas de diferente mobiliario fabricado a partir de teselas, y que esté integrado dentro del stand)(Fig.139). Se dibujaron muchos conceptos que estaban relacionados con una superficie decorativa que sirviese para dar apoyo al elemento expositivo central.



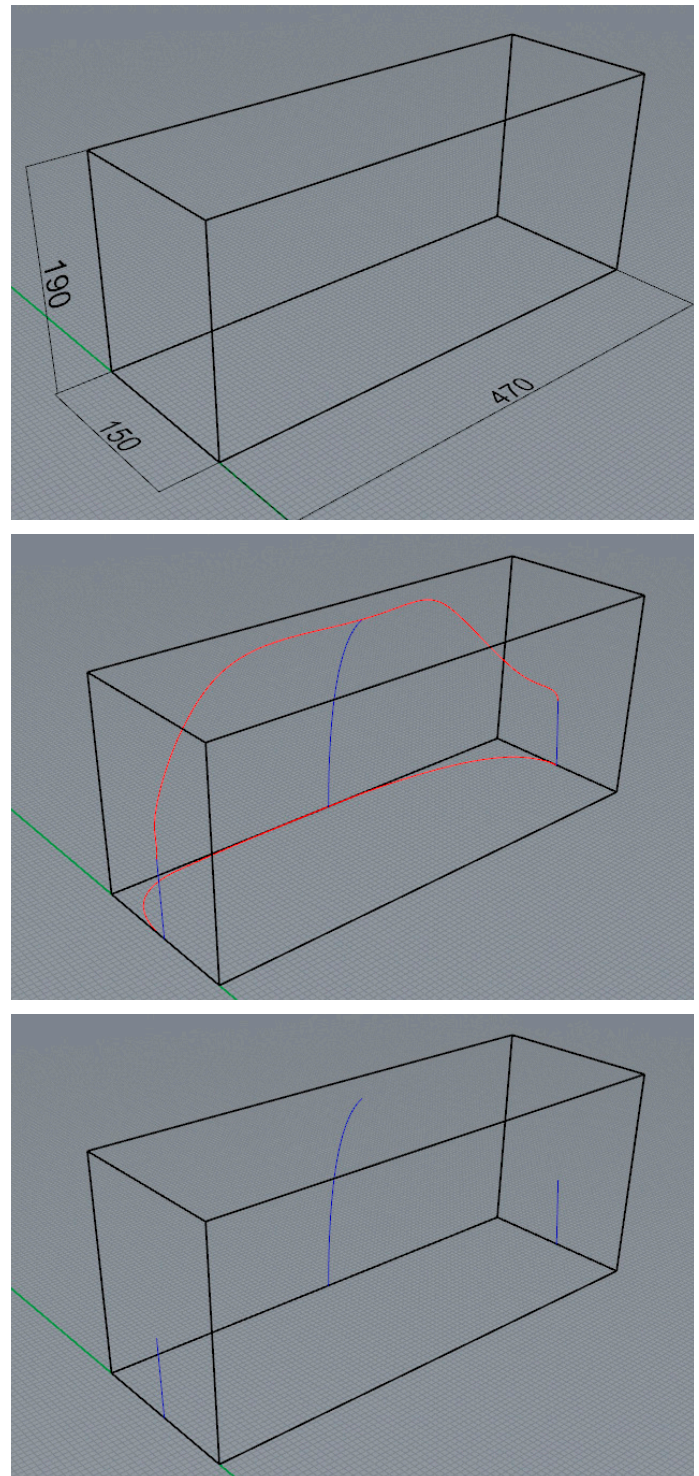
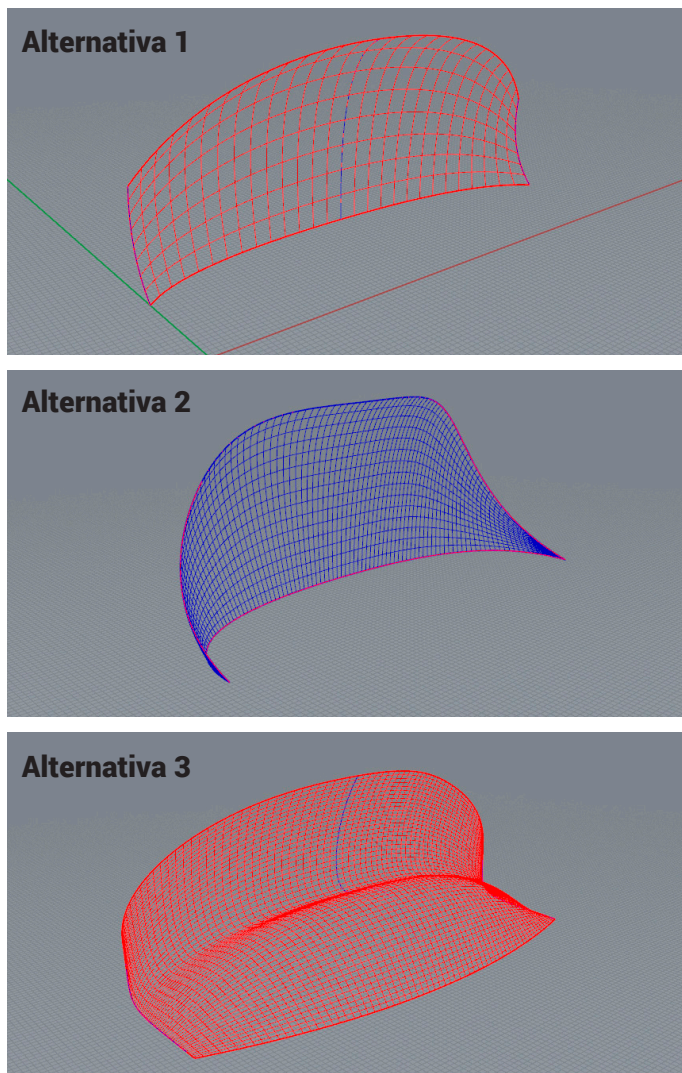
**Fig. 139-** Bocetos de superficies y mobiliario sobre el que aplicar la técnica del tiling.



Finalmente se decide modelar una superficie decorativa que dé apoyo visual al principal elemento expositivo del stand, de manera que estaría situado en el centro para llamar la atención del visitante.

La superficie de referencia se dibuja de igual forma que el volumen de la estructura en el seccionamiento, empezando por una caja delimitadora y unas curvas en dos direcciones (**Fig.140**). Las dimensiones máximas que se imponen son de 470x190x150mm (lo suficiente para ocupar bien la parte central del stand y con una altura buena para la función decorativa que posee).

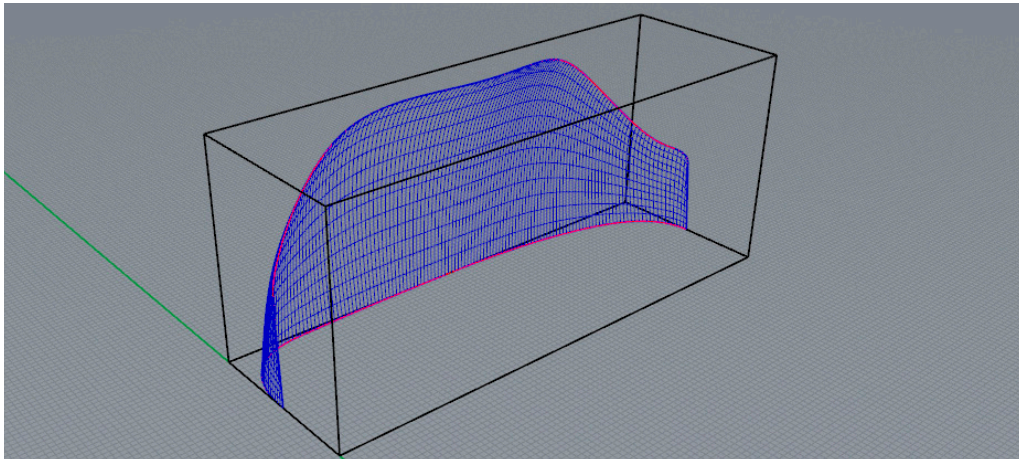
Durante la fase de modelado de la superficie de referencia, se jugó con las inclinaciones y formas que tomaban las curvas para ver las diferentes posibilidades (**Fig.141**).



**Fig. 140-** Secuencia de imágenes de la construcción de la superficie con la caja delimitadora y las curvas.

**Fig. 141-** Diferentes alternativas de superficie planteadas.

De entre todas las barajadas, se decide continuar adelante con la siguiente (**Fig. 142**).



**Fig. 142-** Superficie elegida para aplicar el Tiling.

La selección de dicha superficie para aplicarle el teselado se basa en la búsqueda de una forma que no sea demasiado enrevesada pero que tenga cierta curvatura para dar juego y un mayor impacto visual. Sin embargo, es importante buscar el equilibrio entre una calidad estética y visual que llame la atención y una forma que no sea excesivamente compleja.

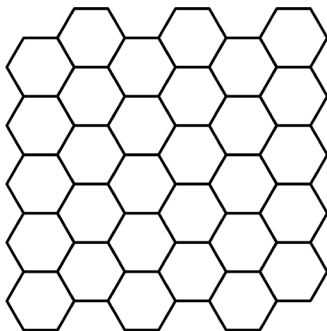
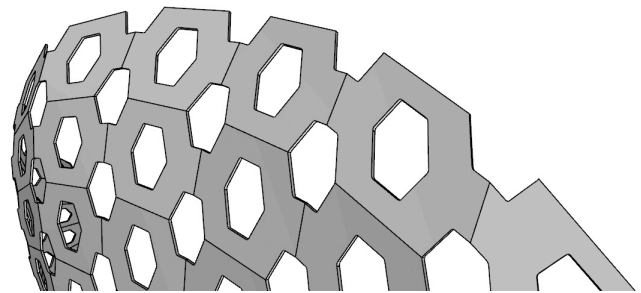
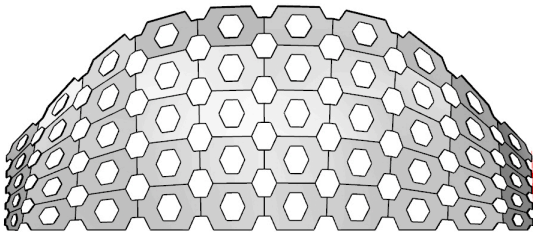
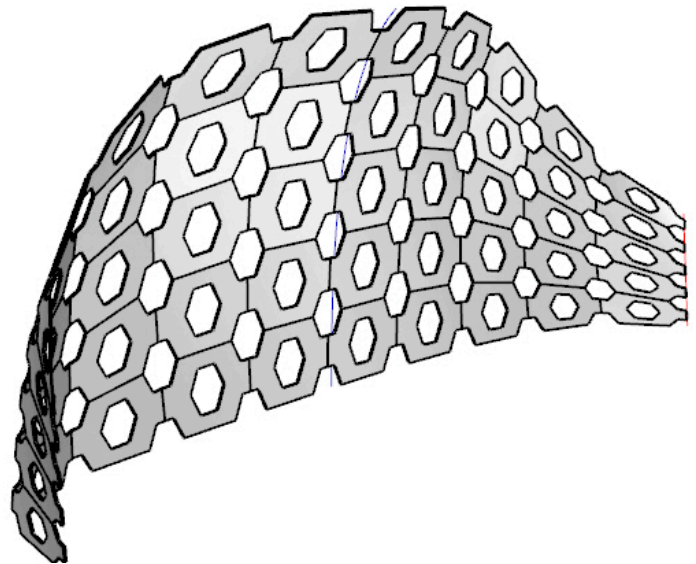
Con la superficie modelada, se proponen diferentes formas de teselado. Como se vió en la fase de investigación, existen numerosas maneras de cubrir una superficie con teselas, y para este caso se investigaron con 6 diferentes. Cada teselado propuesto es un algoritmo diferente que se sirve de diferentes herramientas y con relaciones geométricas que varían en función del resultado final, pero siempre tomando la misma superficie como geometría de partida.

Siguiendo la clasificación expuesta en la fase de investigación, se generan teselados regulares, irregulares o usando la técnica del mordisco.

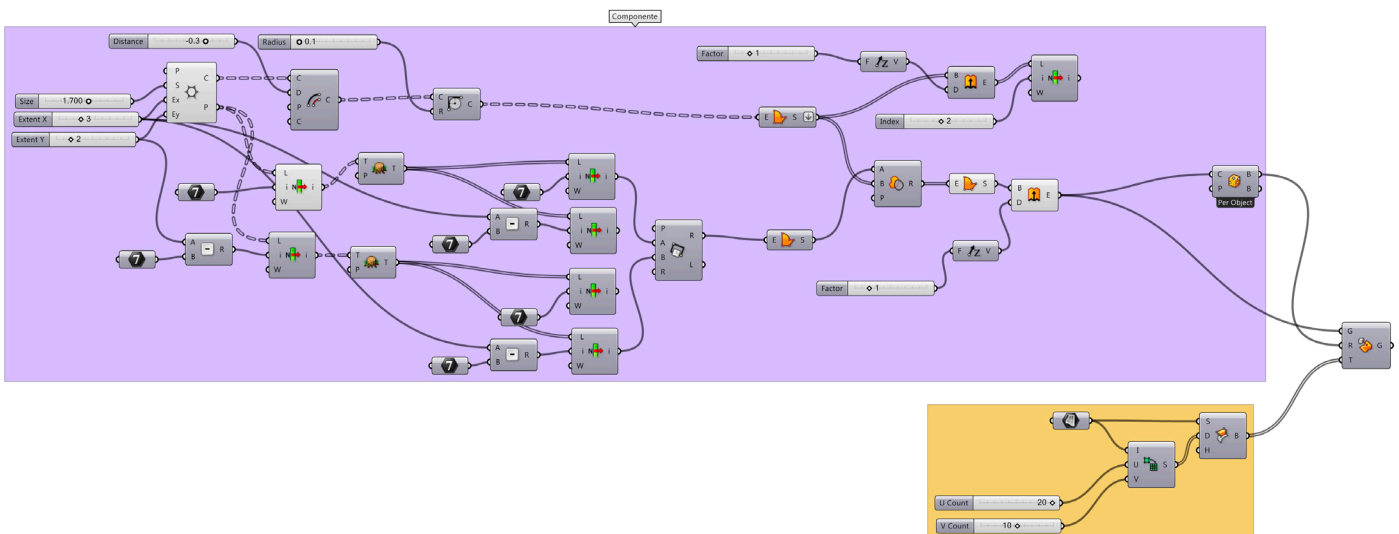


## ALTERNATIVA 1

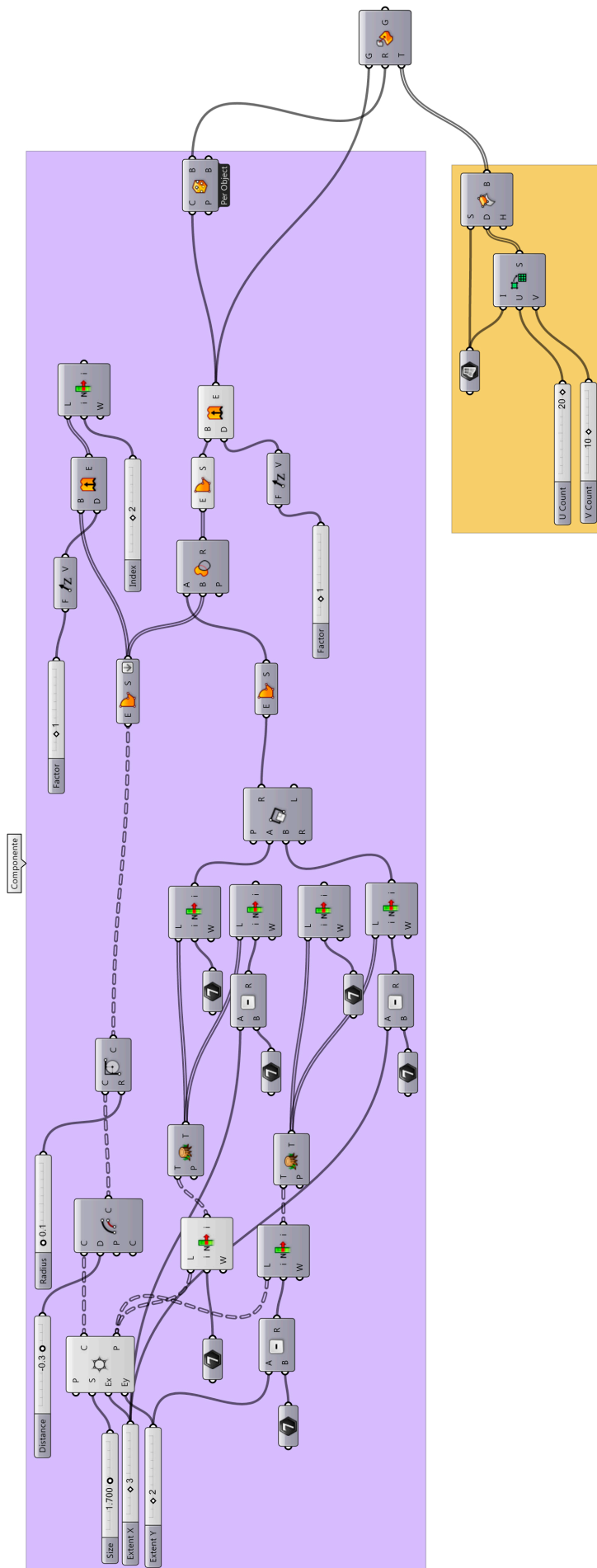
El algoritmo diseñado para la primera alternativa está basado en un patrón regular, compuesto por hexágonos. La característica más llamativa de este teselado es que está basado en una pieza con un hueco central, de forma que el teselado se construye a partir de la combinación de piezas y huecos. En este caso, cada pieza individual se va adaptando a la curva impuesta por la superficie, modificando su forma, como se puede ver en el detalle, y adquiriendo volumen en las tres dimensiones, es decir, no se trata de piezas planas.



El funcionamiento de la definición se basa en el componente Box-morph. Primero se crea la pieza unitaria a partir de una red hexagonal. Para ello, se seleccionan los puntos extremos de la red hexagonal y se forma un cuadrado que corta la red, obteniendo como resultado la geometría cortada. Esta geometría se extruye para tener así la pieza unitaria. Por otro lado, se divide la superficie en diferentes cajas, y mediante el componente Box-morph se introduce dentro de cada caja la pieza unitaria creada anteriormente.

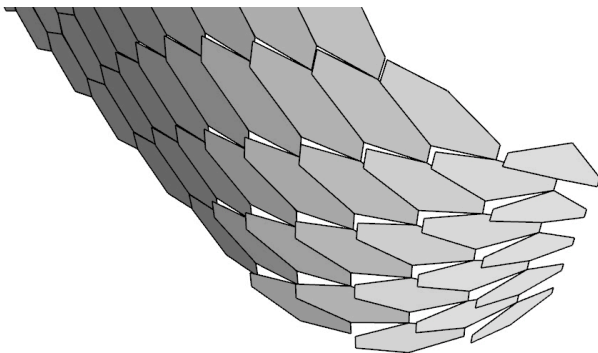
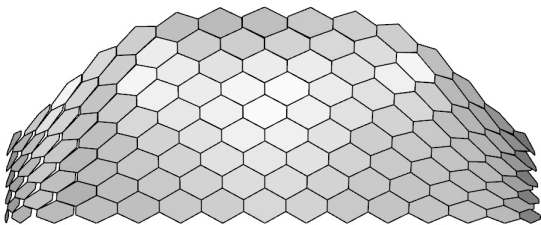
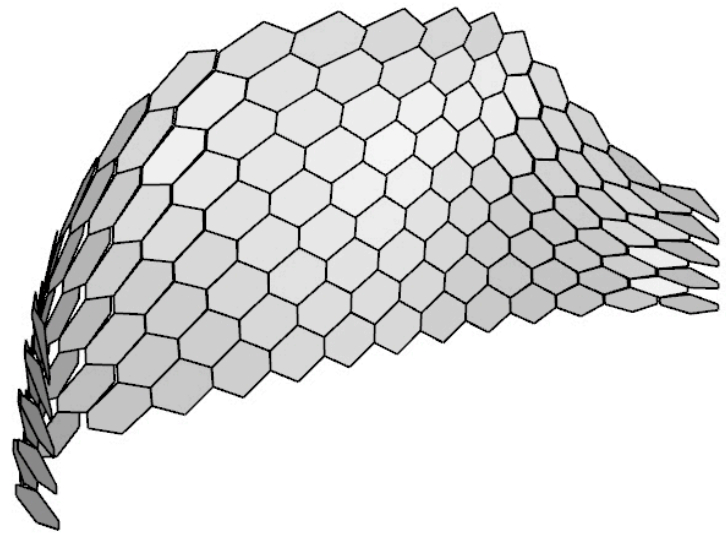






## ALTERNATIVA 2

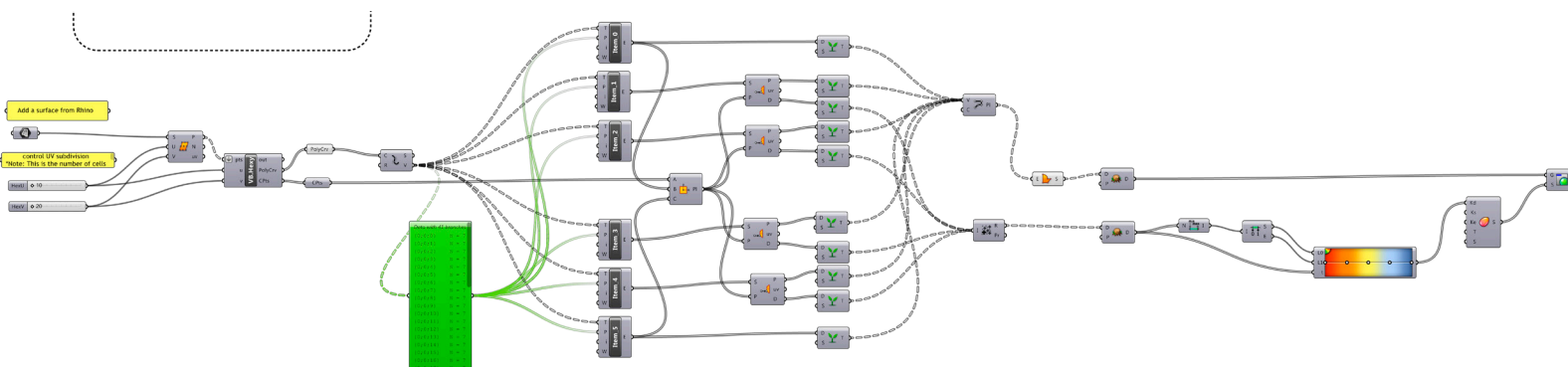
La segunda alternativa consiste en un teselado basado en el mismo patrón que la anterior, el teselado regular hexagonal. En este caso, se trata de un algoritmo diseñado por Luis E. Fraguada para la plataforma livearchitecture.com<sup>[44]</sup>. Esta definición permite dividir la superficie en multitud de hexágonos planos (superficies), que se van orientando conforme a la curvatura pero siempre manteniendo su planicidad. Es la característica más significativa de esta alternativa, que lo diferencia de la primera, y es la factibilidad de fabricación al ser superficies planas que podrían



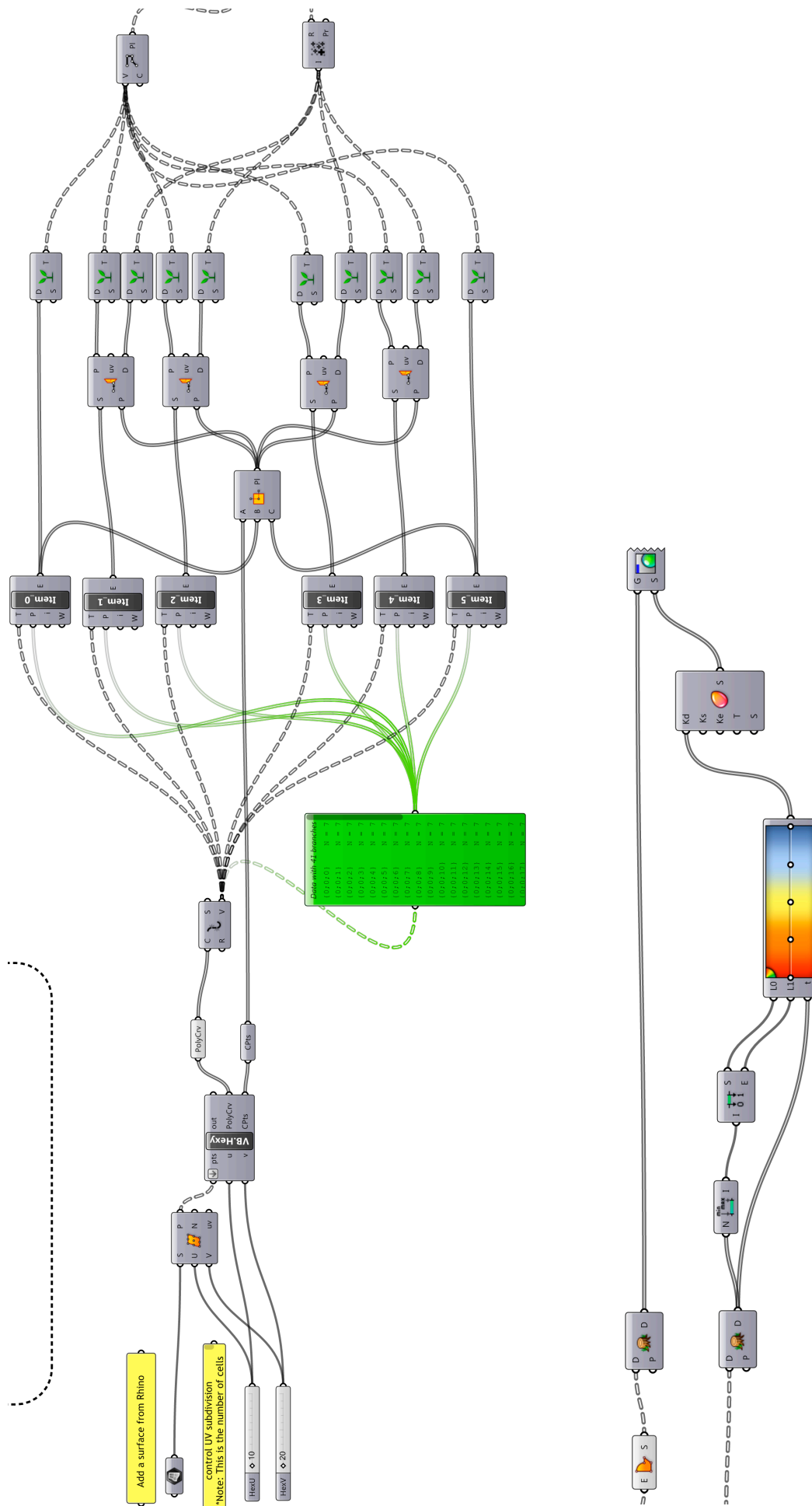
ser cortadas mediante corte CNC. El problema, sin embargo, reside en la forma en la que se disponen los hexágonos ya que dejan espacios a veces demasiado amplios y se encuentra gran dificultad a la hora de diseñar un sistema de unión. La complicada forma en la que se disponen al haber una curvatura más pronunciada (**Fig.143**).

La definición coge la superficie y la divide en una malla hexagonal de puntos. Los puntos de los hexágonos son proyectados en un plano definido por el centro de cada hexágono y dos puntos extremos del mismo. De esta forma quedan todos los puntos sobre el mismo plano y ya se pueden unir con líneas para formar un contorno, el cuál delimita una superficie.

**Fig. 143-** Detalle de la posición de los rombos planos.



## ALTERNATIVA 2

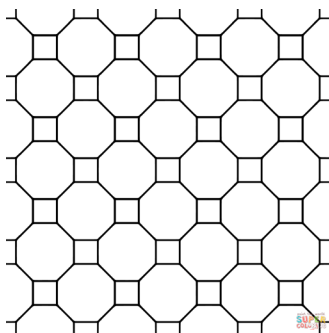
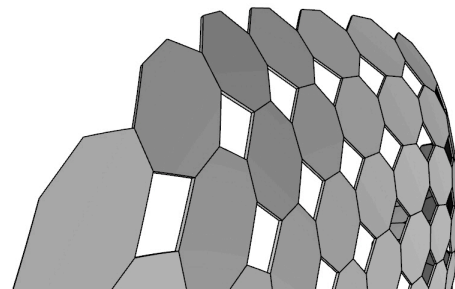
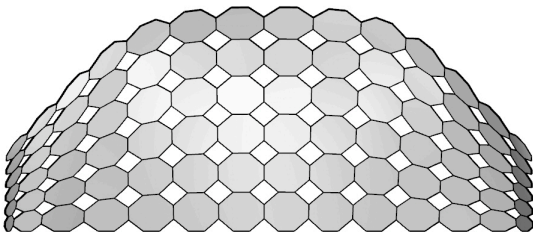
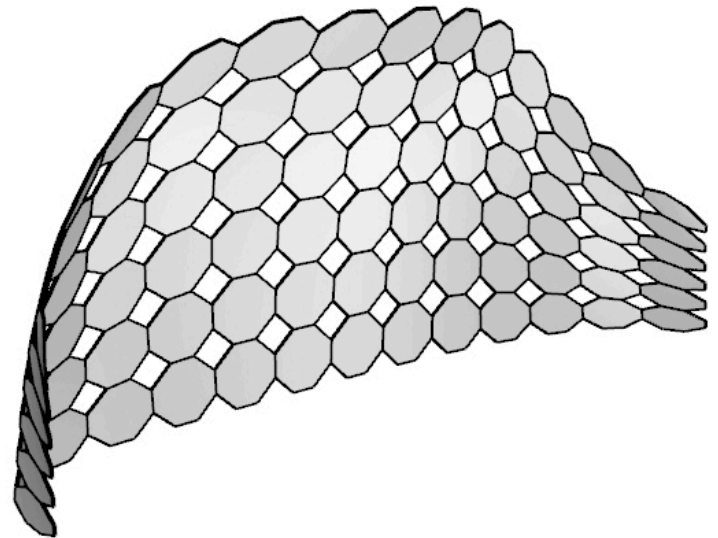


Diseño de un stand usando herramientas basadas en Smart Geometry y Fabricación Digital.

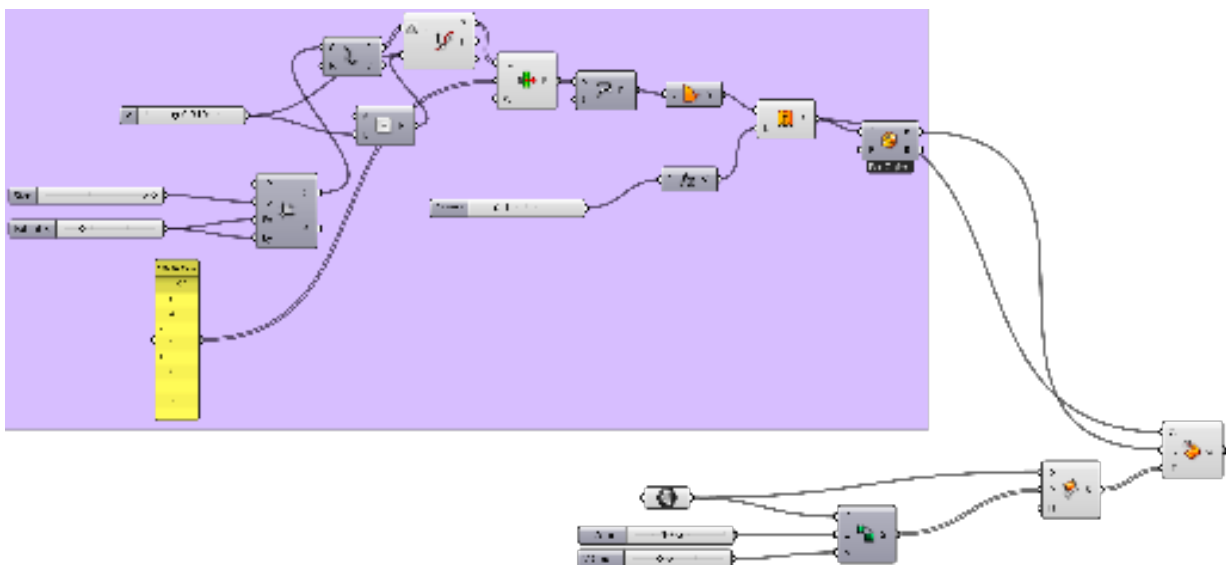


### ALTERNATIVA 3

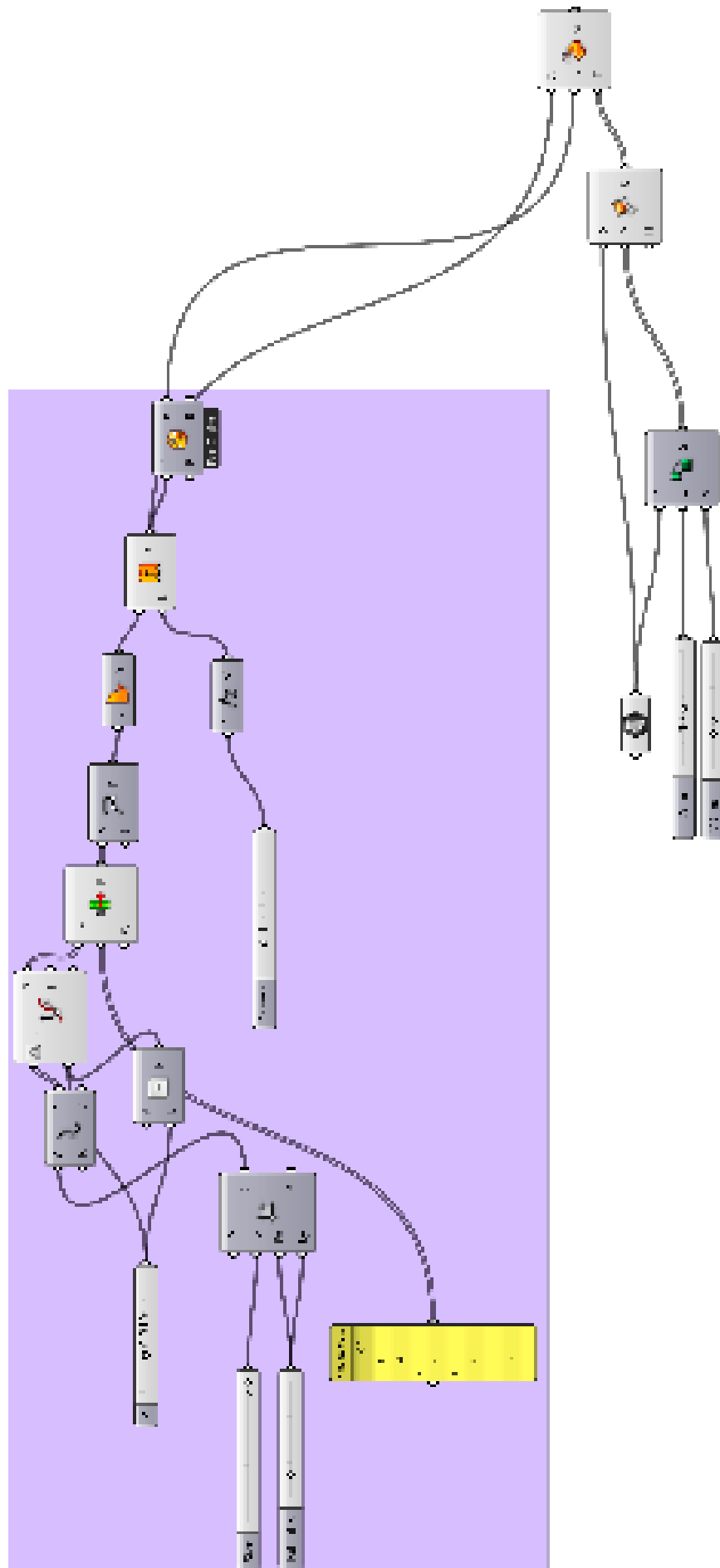
La tercera alternativa está basada en un patrón semirregular, compuesto a base de octógonos y cuadrados. No obstante, como en el primer caso, el patrón en realidad es una combinación de piezas y huecos y la pieza individual o tesela que compone toda la superficie es el octógono en sí. De igual forma que con la primera alternativa, las piezas adquieren volumen en las tres dimensiones intentando adaptarse a la curvatura de la superficie. Se trata de un algoritmo que tiene poco en cuenta la fabricación de las piezas.



Se vuelve a aplicar el componente Box-Morph y esta vez la geometría de partida es una malla cuadrada. Los lados de los cuadrados que componen la malla se dividen en 4 puntos, y se seleccionan solo los puntos centrales, descartando los vértices del cuadrado. Teniendo dos puntos en cada arista del cuadrado, solo hay que unirlos para obtener un octógono. La unión de varios octógonos por sus lados forma ese espacio con forma cuadrada entre ellos.

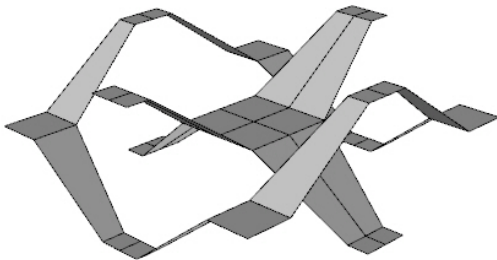
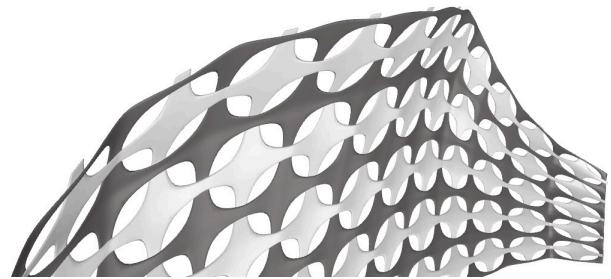
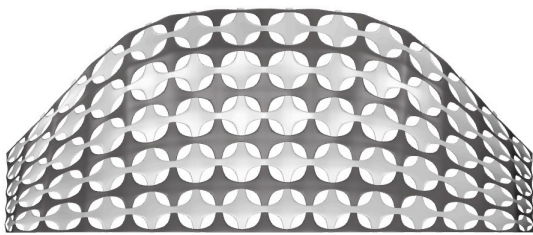
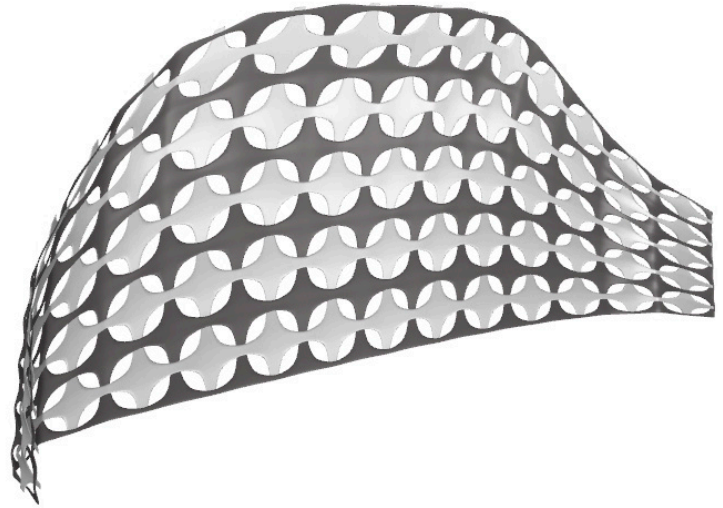


## ALTERNATIVA 3

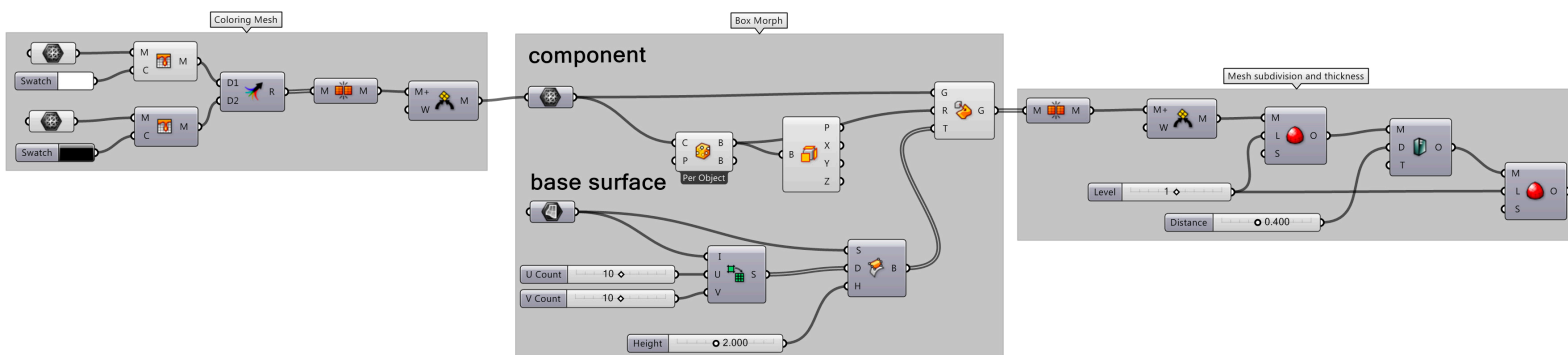


## ALTERNATIVA 4

Este teselado es muy particular. Se ha usado un algoritmo de Erwin Hauer, un escultor que ha dedicado su carrera a la construcción de formas minimalistas basadas en repeticiones <sup>[45]</sup>. En este algoritmo también se usa la función de box-morph, pero en este caso la pieza base que se toma de referencia para cubrir toda la superficie pasa por un proceso de transformación de una geometría simple a un volumen mallado. Esto se consigue gracias a componentes de mallado que ofrece Grasshopper.

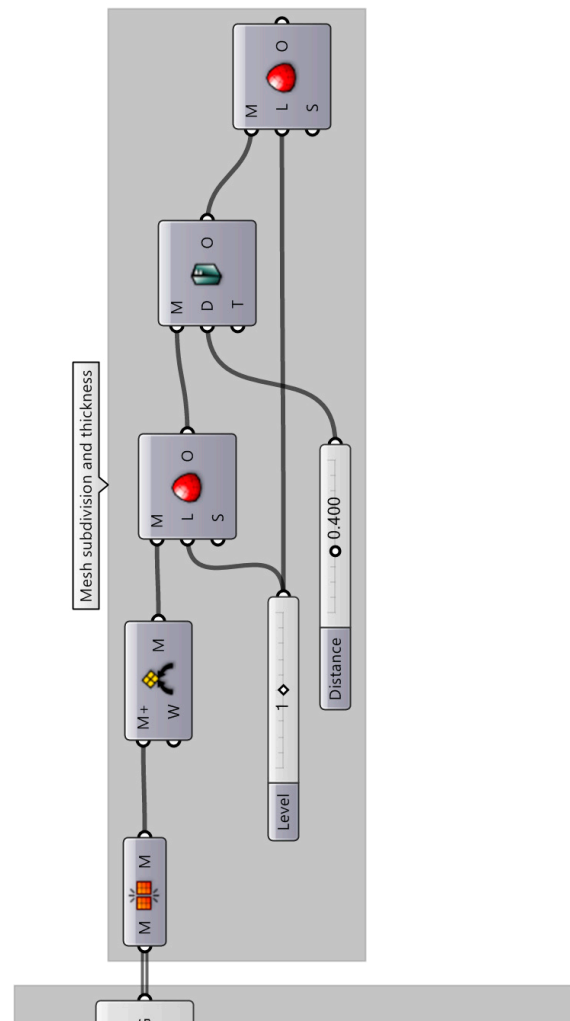
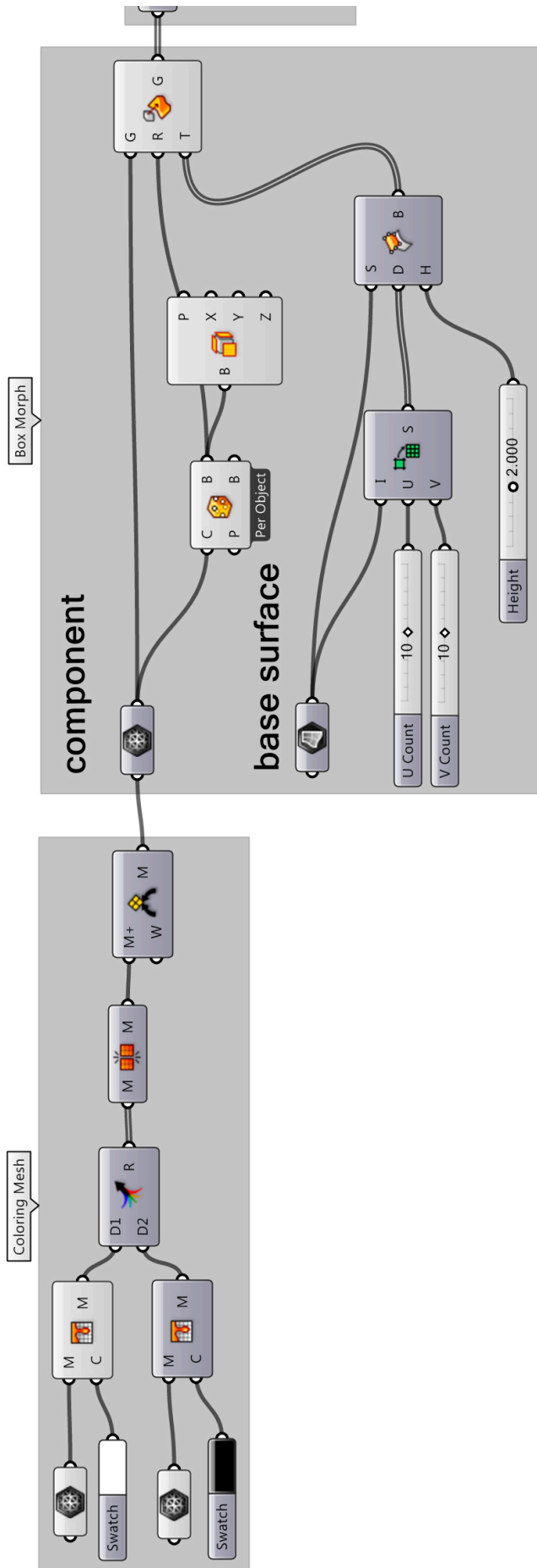


La imagen de la izquierda es la pieza unitaria que es sometida a la transformación hacia una forma más orgánica. Como se observa, la pieza está ya pensada para poder unirse con otras piezas colindantes. El resultado es sin duda muy vistoso, con una teselación basada en un entrelazado, como si de una tela se tratase. Sin embargo, volvemos a encontrar una viabilidad limitada a la hora de materializar esta composición.



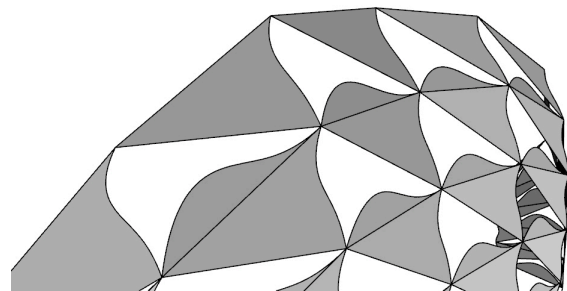
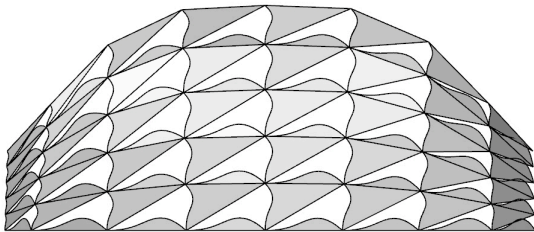
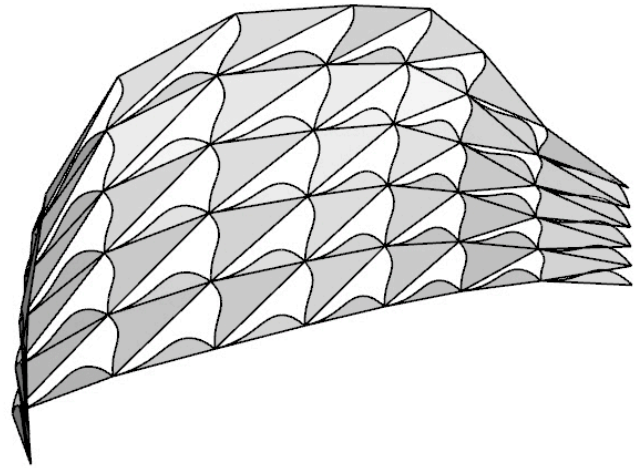


## ALTERNATIVA 4

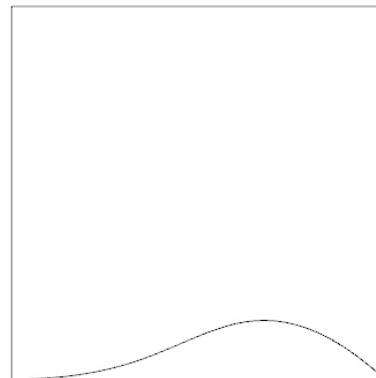


## ALTERNATIVA 5

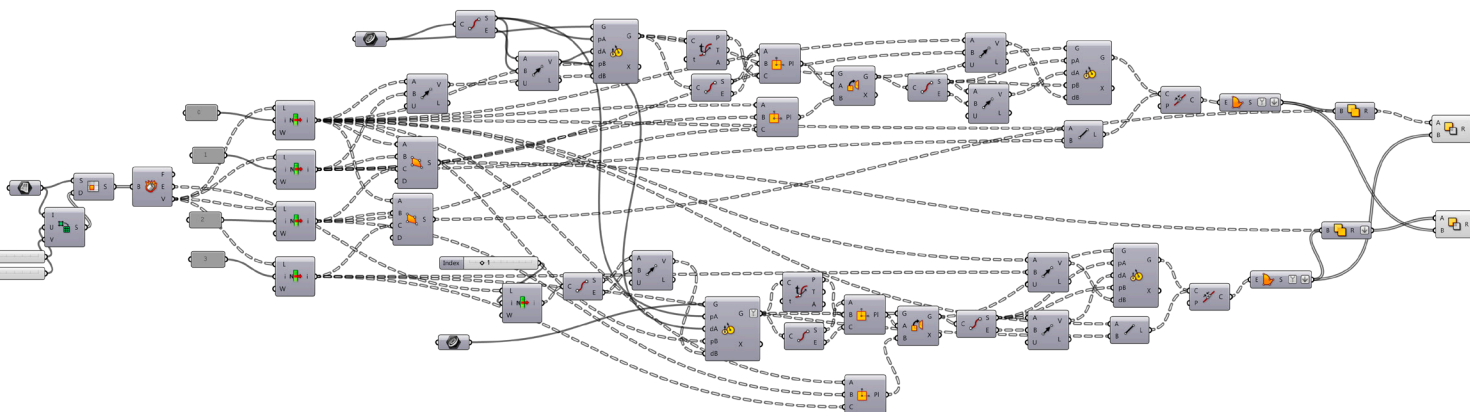
La siguiente es una teselación basada en la técnica del mordisco vista en la primera fase (pag. 32). El funcionamiento de la definición consiste en dividir la superficie en rectángulos (obviamente, el numero de rectángulos es una condición paramétrica), a cada rectángulo se le extrae un “mordisco” o zona delimitada, definida en Rhinoceros mediante una curva. El algoritmo se sirve de esa curva para hacer los recortes a todos los rectángulos, y a su vez añadir ese mismo recorte al rectángulo contiguo. Lo que le quita a unos se lo une a otros. Se trata de una



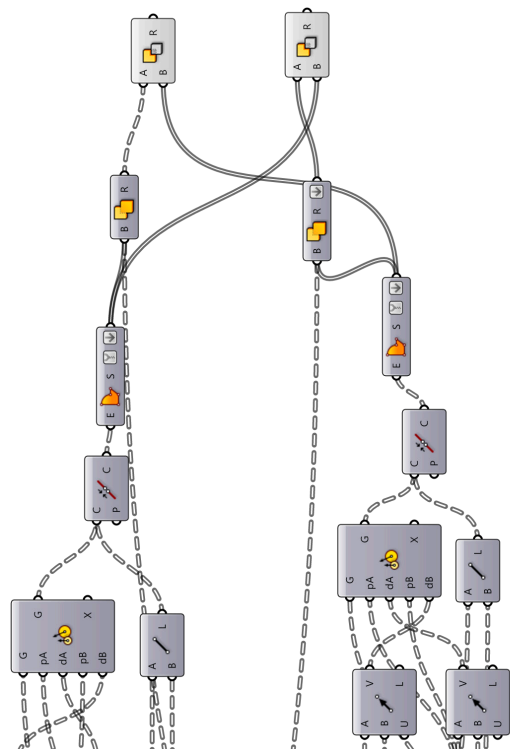
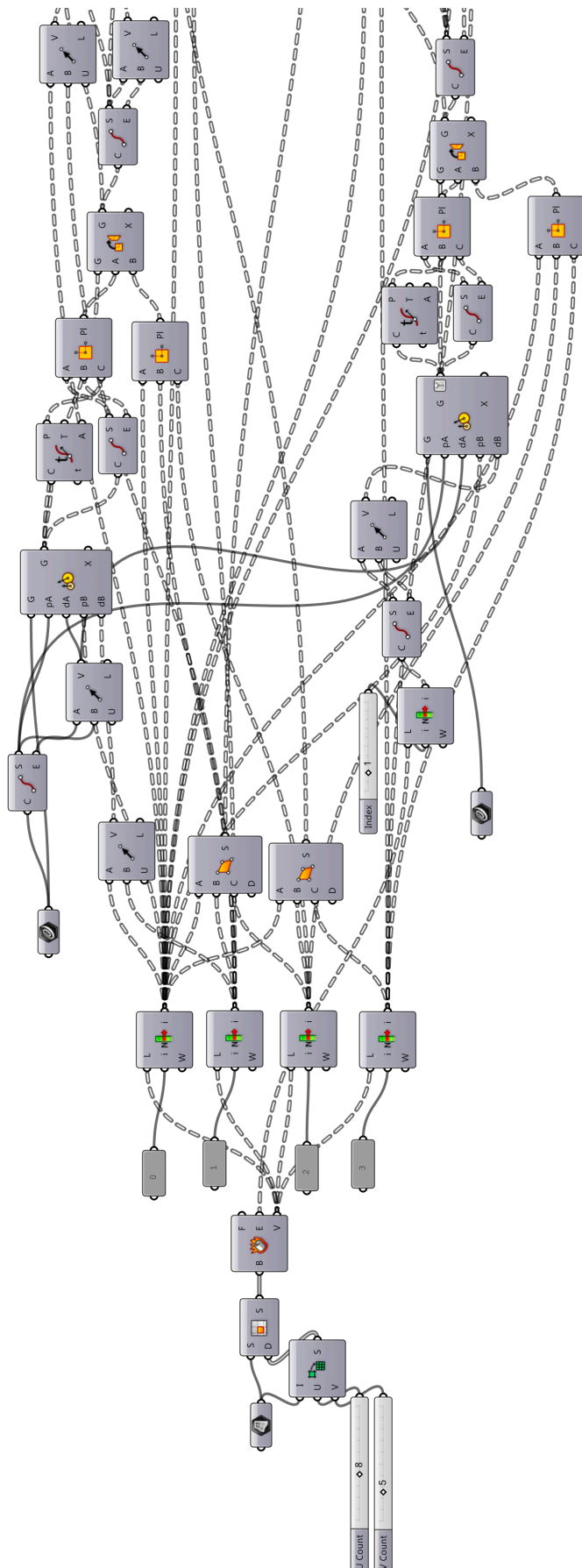
definición propia que tiene algún error como es la orientación de los recortes: el objetivo de este algoritmo era también conseguir un teselado con piezas planas, pero esto conlleva problemas ya que al hacer los recortes y unirlos a las piezas contiguas, estos recortes llevan una orientación diversa al ser una geometría perteneciente a otro plano. Es por estos fallos por lo que se decide descartar la alternativa.



*Curva usada para el recorte*



## ALTERNATIVA 5





La mayoría de las alternativas planteadas anteriormente dan resultados muy favorables en lo formal y estético, pero como se lleva comentando todos suelen presentar algún problema cuando se trata de hacer de ese modelado algo viable y fabricable.

En la búsqueda de esa viabilidad, se plantea un nuevo algoritmo<sup>[46]</sup> que esté basado en piezas

planas, en este caso, piezas que siguen de nuevo un patrón de teselado regular hexagonal. Para conseguir la planicidad de las piezas se recurre al uso de otros plug-ins que complementan a Grasshopper, como es Kangaroo ([www.kangaroo.es](http://www.kangaroo.es)) o WeaverBird que ofrecen algunas funciones necesarias para la transformación de las piezas en algo fabricable.



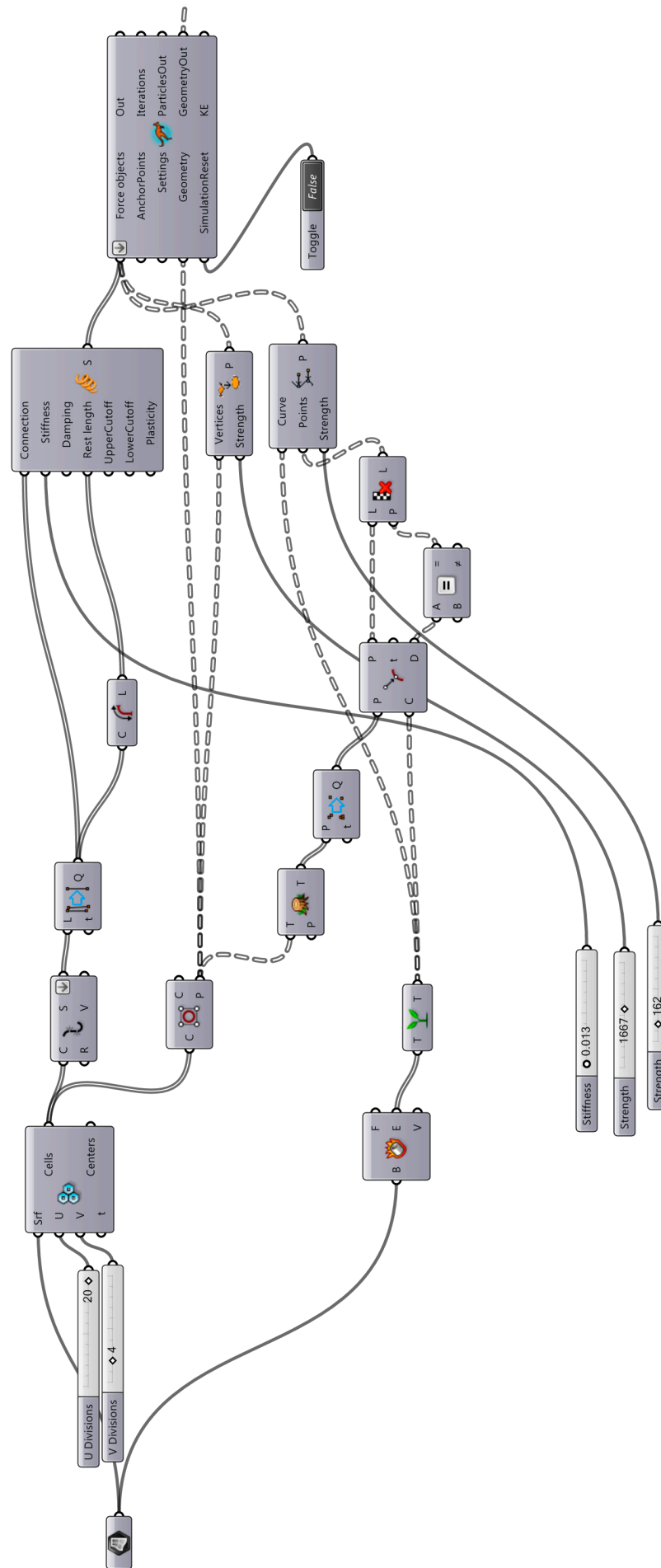
Por un lado, se cogen las aristas de los hexágonos y se someten a una fuerza de muelle mediante el componente “Springs From Line”, que hace que

actúen como muelles con la ley de Hooke. Esto permite tener una malla elástica que se comporta mediante leyes físicas.

Por otro lado, las celdas hexagonales se someten a una fuerza que las hace tender a ser planas, mediante el componente “Planarize Polygon”.

Por último, se extraen los ejes de la superficie base. Se obtienen los puntos más cercanos a los vértices que estén situados sobre los ejes, y a estos puntos se les obliga a permanecer en

## ALTERNATIVA 6 - Fig. 144 "PARTE A"

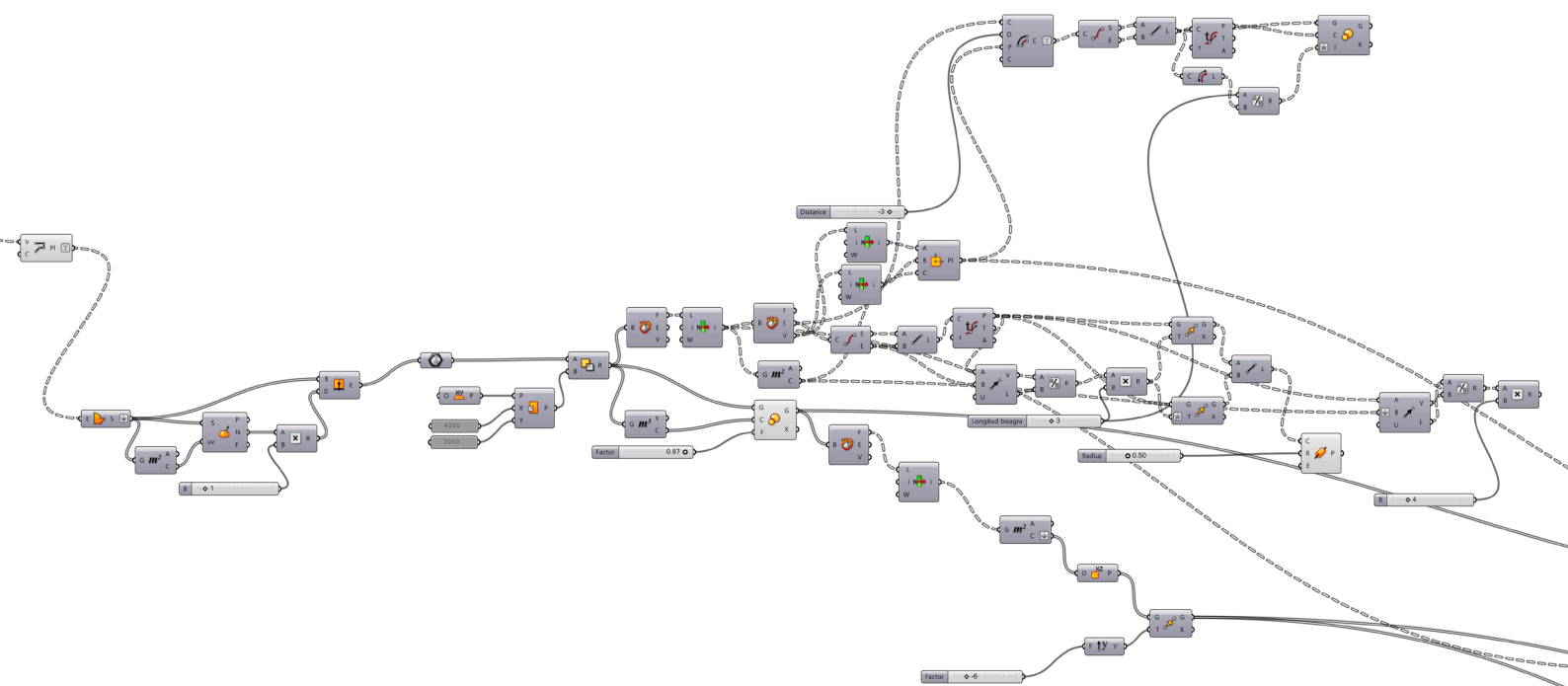


dichos ejes. Es la forma que se tiene de controlar la malla de puntos, ya que al aplicarle el esfuerzo conjunto de las otras fuerzas la malla podría deformarse demasiado perdiendo por completo la forma original.

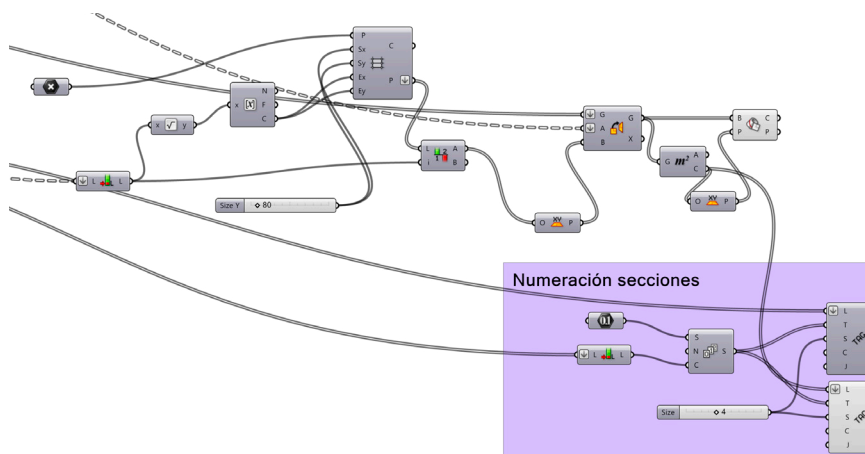
Una vez aplicados los esfuerzos, la malla se transforma y se obtiene una superficie compuesta por hexágonos planos, aunque estos se han deformado bastante y en función de la zona de la superficie en la que se encuentran son más o menos irregulares.

Después, se extraen las curvas que forman cada tesela para hacerles un desfase hacia dentro, de forma que entre un hexágono y otro queda un espacio. Así no colisionan unas piezas con otras al extruirlas.

El último paso es igual que en el seccionamiento, y consiste en proyectar todas las curvas que componen cada tesela en plano, ordenadas y numeradas para poder cortarlas con el corte CNC. La definición en este caso es igual que la expuesta en el seccionamiento.



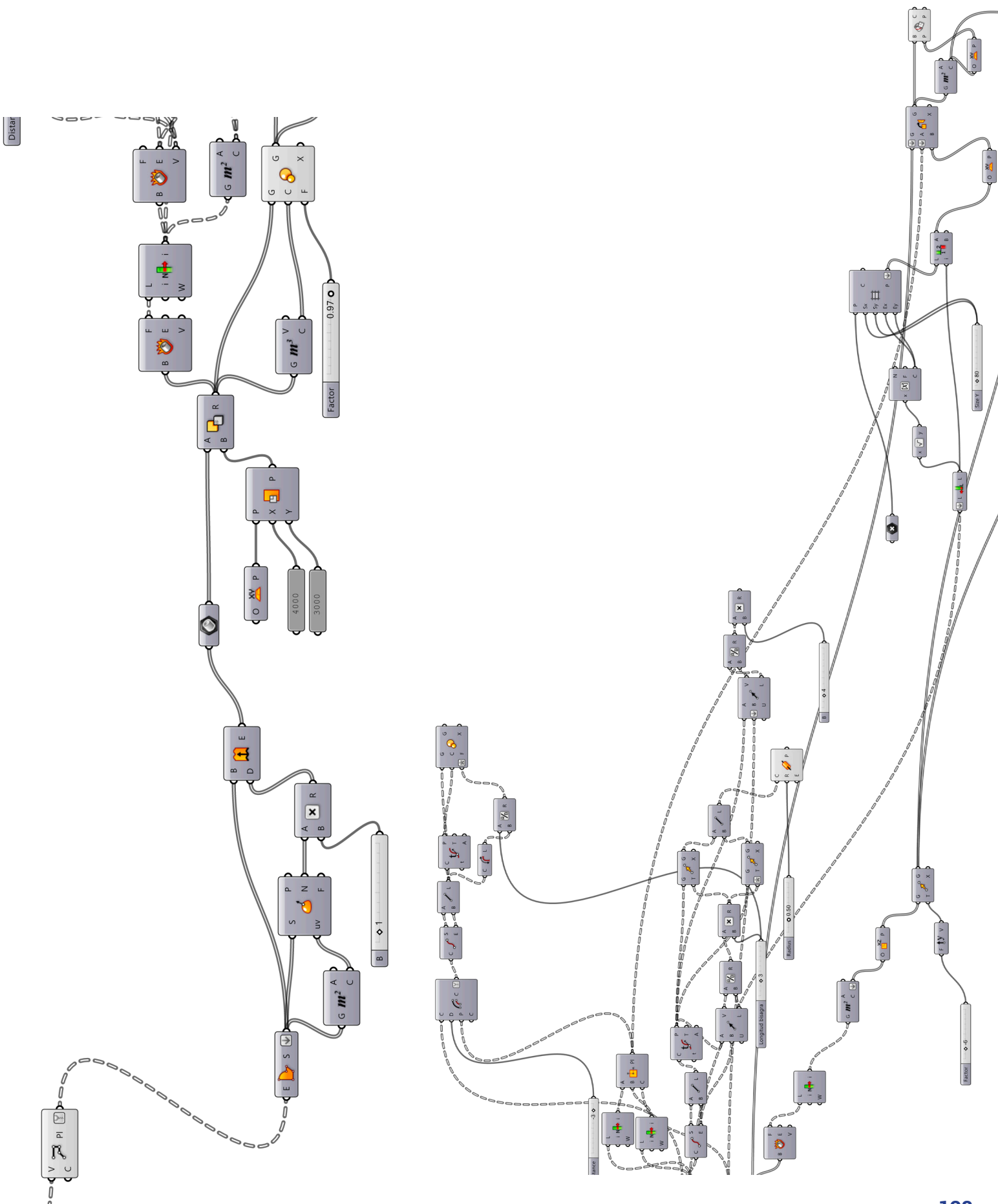
**Fig. 145-** Parte B de la definición donde se desfasan las curvas de cada tesela y se extruyen para obtener la forma final.

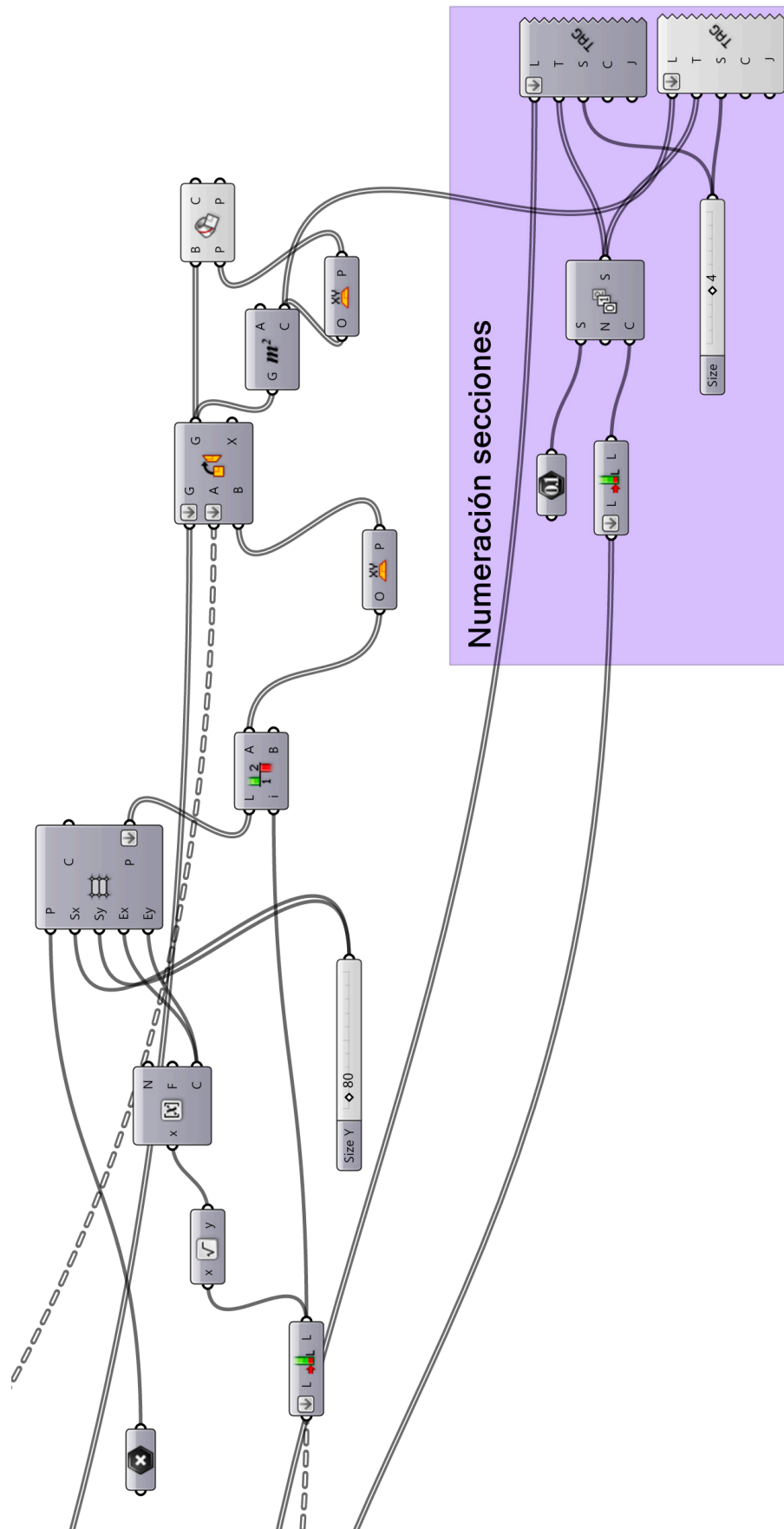


**Fig. 146-** Parte C final del algoritmo donde se ordenan y se proyectan todas las secciones para ser cortadas

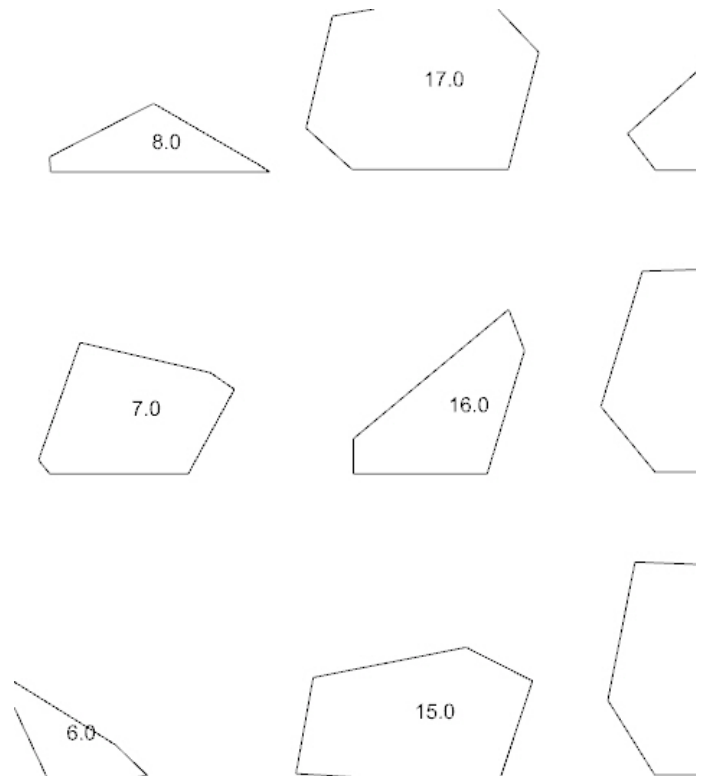
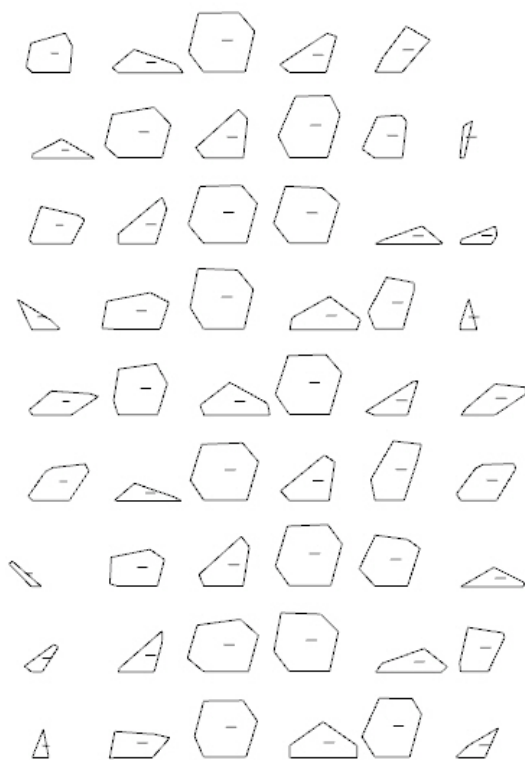
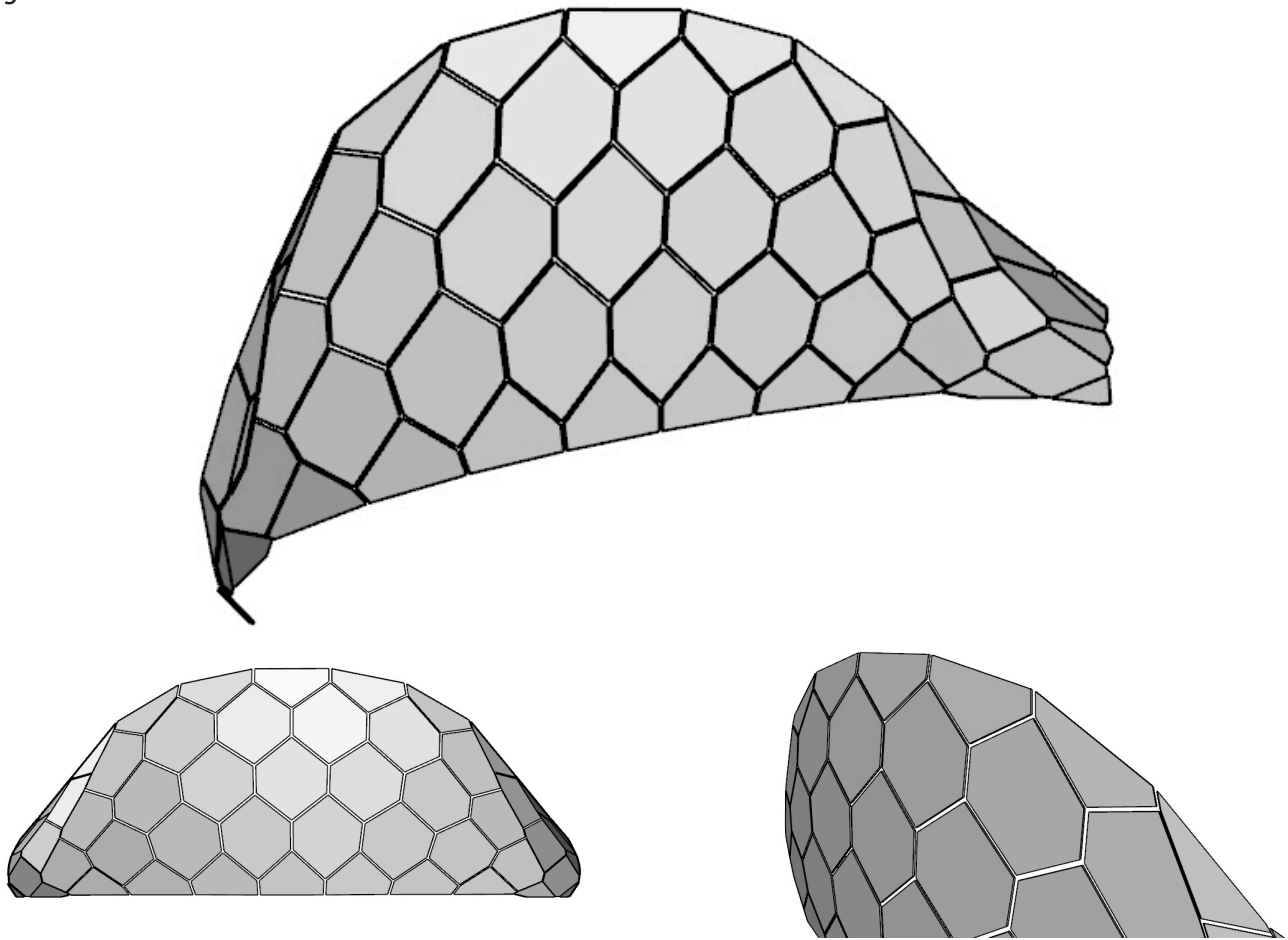


## ALTERNATIVA 6 - Fig. 145 "PARTE B"





# Imágenes del resultado final





## Conclusiones del ejercicio del Teselado

Como aspectos destacables, se observa que las piezas han sufrido una deformación, mayor cuanto mayor es la curvatura a la que estaban expuestas, y el software las ha ido adaptando para conseguir esa planicidad (**Fig.147**). Por otro lado, el resultado de esa deformación es una superficie que ha perdido mucha curvatura respecto a la superficie de partida, como se puede observar en las imágenes inferiores. Se trata del precio a pagar por tener una composición tan compleja pero fabricable.

Tras haber explorado las diferentes posibilidades que ofrece el teselado, se puede concluir que las posibilidades de esta forma constructiva son muchas y muy variadas. No obstante, es al toparse con la realidad o con la condición de materializar el modelado cuando uno se da cuenta que no se puede plantear cualquier forma.

Las superficies que poseen mucha curvatura o son muy enrevesadas siempre conllevarán muchos problemas. No se trata de diseñar formas basadas en formas planas, pero sí de encontrar un equilibrio entre lo atractivo de una forma orgánica y el hecho de tener que fabricarlo y montarlo, muchas veces en un corto período de tiempo.

Muchas de las formas planteadas se podrían fabricar con un fresado automático, pero esto supondría en la mayoría de los casos un gasto de material y recursos desproporcionado.

Por el tipo del proyecto elegido, se podría decir que el resultado estaba sujeto a unas condiciones de tiempos y presupuesto en las que no tiene cabida un fresado automático para conseguir formas

orgánicas y tridimensionales. Dicho de otro modo, el teselado que se estaba buscando debía poder ser fabricado a partir de piezas planas cortadas con corte CNC.

De todas las alternativas planteadas, la que más se ajusta a este criterio es la última (que, por otro lado, es la que tiene una definición más elaborada).

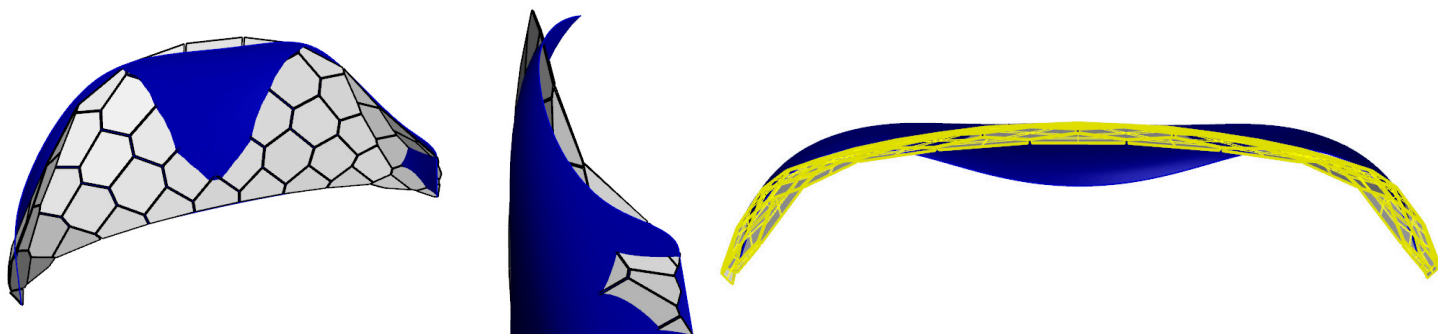
La exploración de las diferentes alternativas de teselado me ha llevado a comprender mucho mejor la forma constructiva y a elaborar una pequeña clasificación conclusiva acerca de como la abarca Grasshopper (y en consecuencia, cualquier programa de diseño paramétrico y smart geometry).

### Breve clasificación:

Además de los teselados a los que se lleva haciendo referencia todo el capítulo (regular, semiregular, irregular), se observa que existe otro criterio de diferenciación: en función de como se ha generado esa forma. Existen dos estrategias principales, a partir del Box-Morph o de relaciones geométricas partiendo de puntos situados en la superficie.

**Box morph:** Algoritmos más sencillos y rápidos. Es más complicado gestionar la forma, sujeto a muchas deformaciones inesperadas, necesidad de un control y difícilmente fabricable.

**Puntos en la superficie:** Algoritmos más elaborados, más versatilidad en detrimento de una mayor complejidad.



**Fig. 147-** Imágenes de la pérdida de curvatura de la forma final. En azul, la superficie original. En gris y amarillo, la superficie teselada obtenida tras aplicarle la definición de Grasshopper.

### 3.3.1.3 DISEÑO DEL CENTRO DEL STAND

El teselado desarrollado antes apoya y decora el centro del stand, donde se exponen los productos estrella. Lo más importante, al ser una marca de skate, son precisamente las tablas de skate.

Se decide situar en el centro una serie de tablas posicionadas de una forma particular: están dispuestas simulando el movimiento de la tabla al realizar un truco, el 360° flip. Lo más importante, al ser una marca de skate, son precisamente las tablas de skate. Se colocan las tablas simulando un truco ya que todo el leif motif del stand está basado en las trayectorias que siguen las tablas al realizar trucos. El 360° flip consiste en hacer girar la tabla 360° sobre sí misma, a la vez que gira 360° sobre su propio eje.

La posición de las tablas, así como la cantidad y la separación entre ellas está controlado por una sencilla definición de Grasshopper que consta de dos partes:

- El modelado de las barras en las que irán colocados las tablas se consigue situando una serie de puntos cuyas coordenadas están determinadas por una gráfica (**Fig.148**). La grafica es editable y puede adoptar cualquier forma, en este caso forma de parábola. Las barras se forman con cilindros que van desde el suelo hasta los puntos.

- Para la posición de las tablas se coge una tabla modelada en Rhino y se repite en una serie de elementos que se sitúan en los puntos creados anteriormente (**Fig.149**). Después se hace girar cada tabla respecto de la anterior, en el el X y en el eje Z, un ángulo igual a 360° dividido por el número de tablas a colocar (**Fig.150 y 151**).

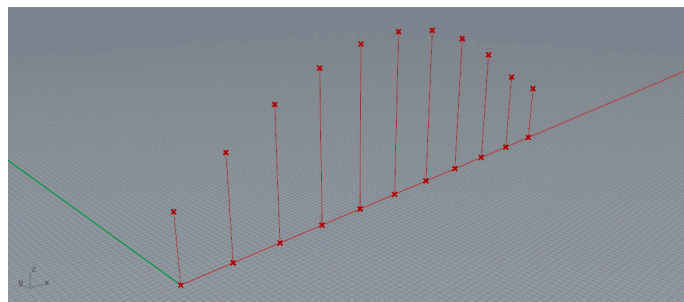


Fig. 148- Serie de puntos condicionados por la gráfica.

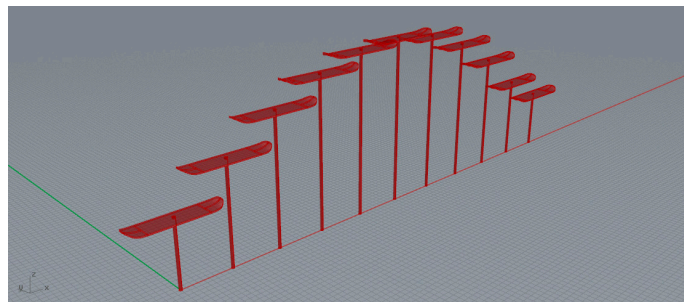


Fig. 149- Tablas posicionadas en los extremos.

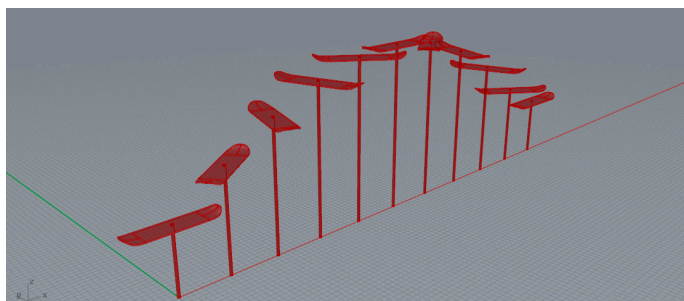


Fig. 150- Tablas giradas respecto al eje Z

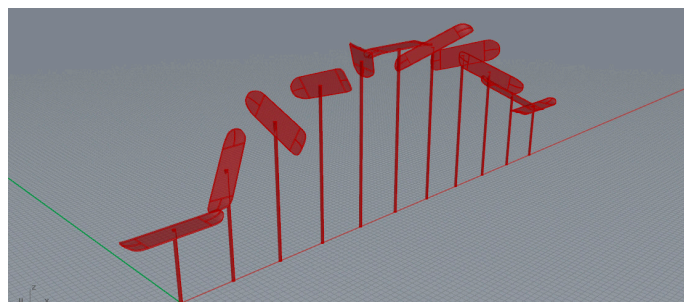
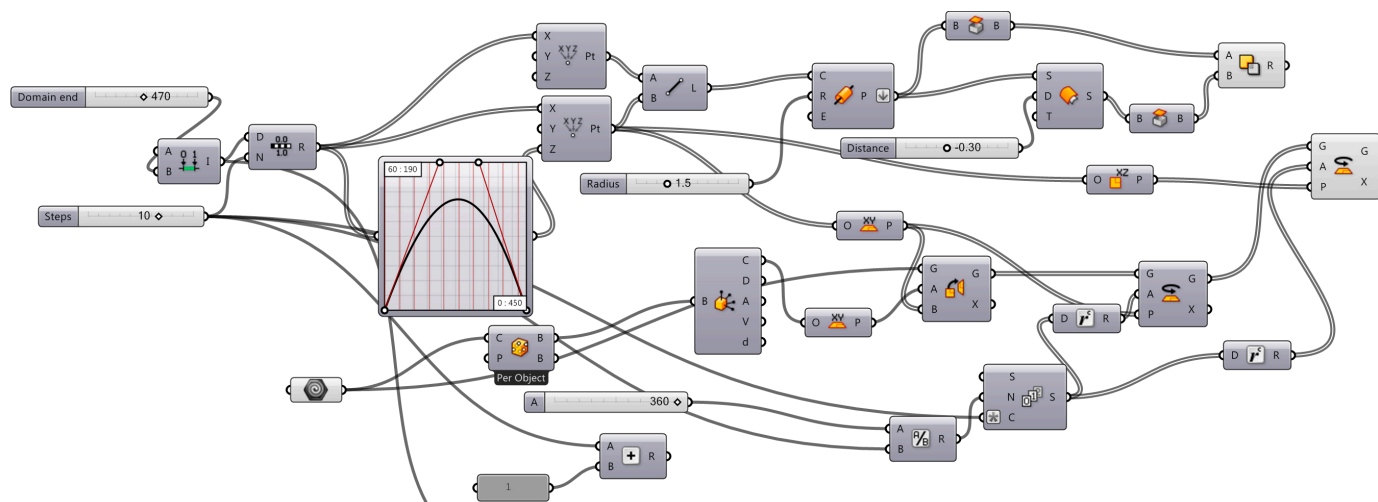
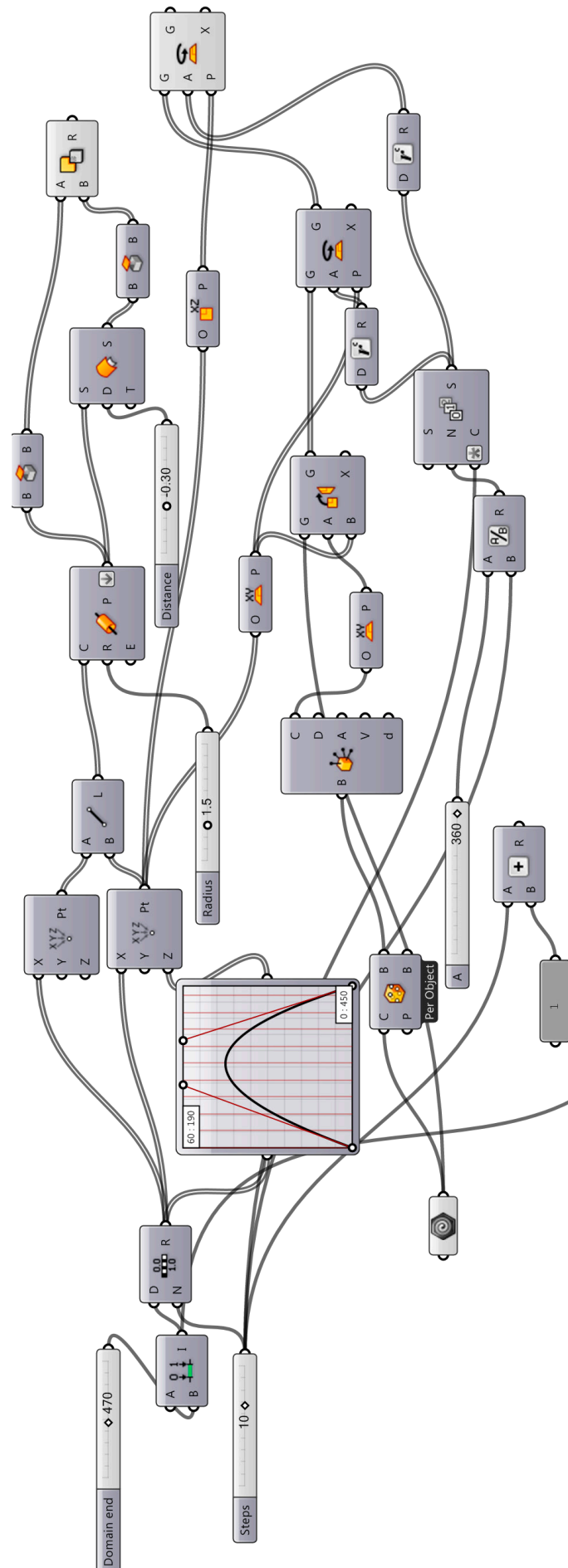


Fig. 151- Tablas giradas respecto al eje Z y al eje X.



### 3.3.1.3 DISEÑO DEL CENTRO DEL STAND





### 3.3.2 MUEBLES Y DISTRIBUCIÓN

La distribución del stand estará en torno a las tablas girando con el fondo teselado. El espacio es amplio y nada sobrecargado, con pocos muebles y productos expuestos. En la siguiente imagen (Fig.152) se observa el flujo de gente simbolizado por las flechas naranjas, y se puede comprobar

que el espacio es lo suficientemente amplio para que puedan entrar y salir varias personas por cualquier parte de la zona delantera.

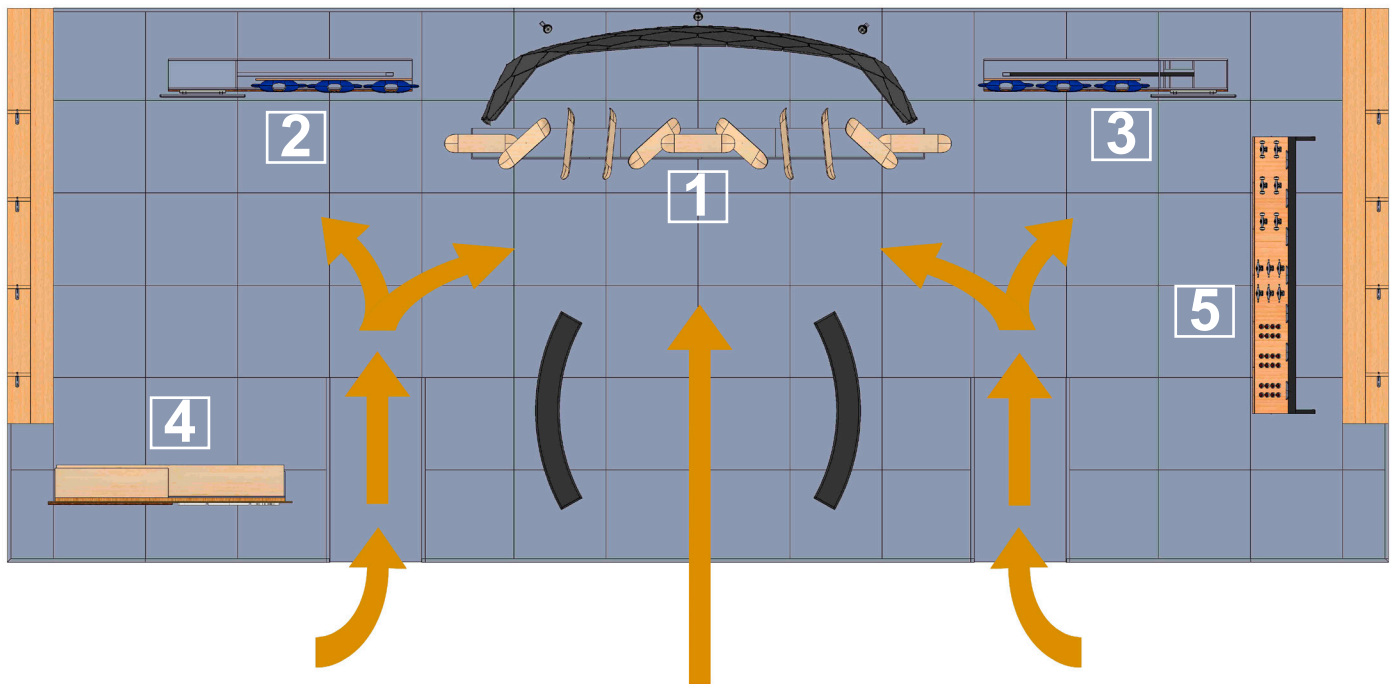
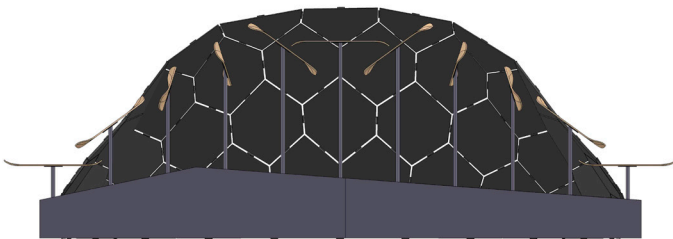
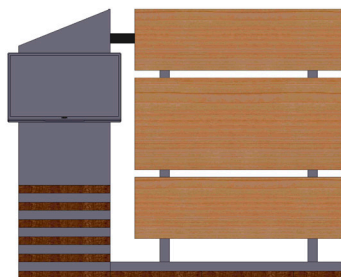


Fig. 152- Distribución del stand y flujo de gente.



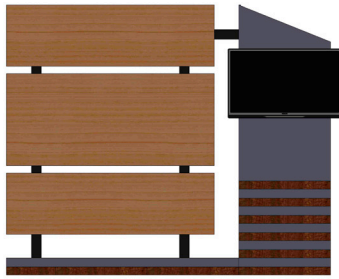
#### 1 - Tablas girando y teselado

Las tablas simulando el movimiento de un truco. Se trata del núcleo del stand y se pretende deleitar al visitante con un truco matemáticamente perfecto. El teselado acompañando el movimiento le da mas espectacularidad al conjunto. Se ha diseñado un pequeño soporte a base de tableros donde apoyan las barras metálicas y que sirve también para colocar una imagen promocional.



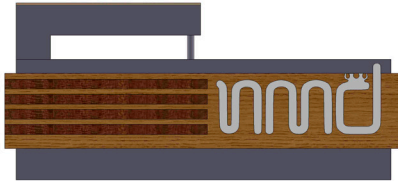
#### 2 - Mueble televisión izquierdo

Mueble con una televisión donde se pondrán videos promocionales. Con una estructura de tubos de sección cuadrada sujeta 3 tableros. Los tableros de los extremos sirven de soporte para imágenes y aplicaciones gráficas. En el tablero central se exponen camisetas de la marca.



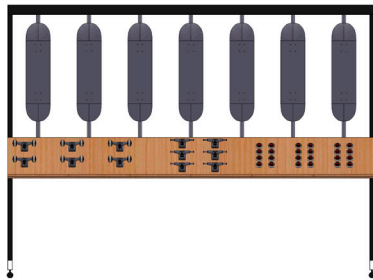
### 3 - Mueble televisión derecho

Igual que el izquierdo pero simétrico.



### 4 - Mostrador

Mostrador para recibir a los visitantes y colocar artículos de publicidad. Fabricado a base de tableros y con dos alturas. En la parte delantera sobresale un tablero más grande, donde se colocan unos listones decorativos de una madera más oscura y el logo de la marca.



### 5 - Mueble lateral

Expositor con una estructura a base de perfiles de acero, que sirve para albergar las barras en las que van sujetas tablas de skate a exponer. Además, cuenta con un tablero que asoma hacia delante para situar ejes, ruedas y rodamientos.

## ESPACIO LIBRE

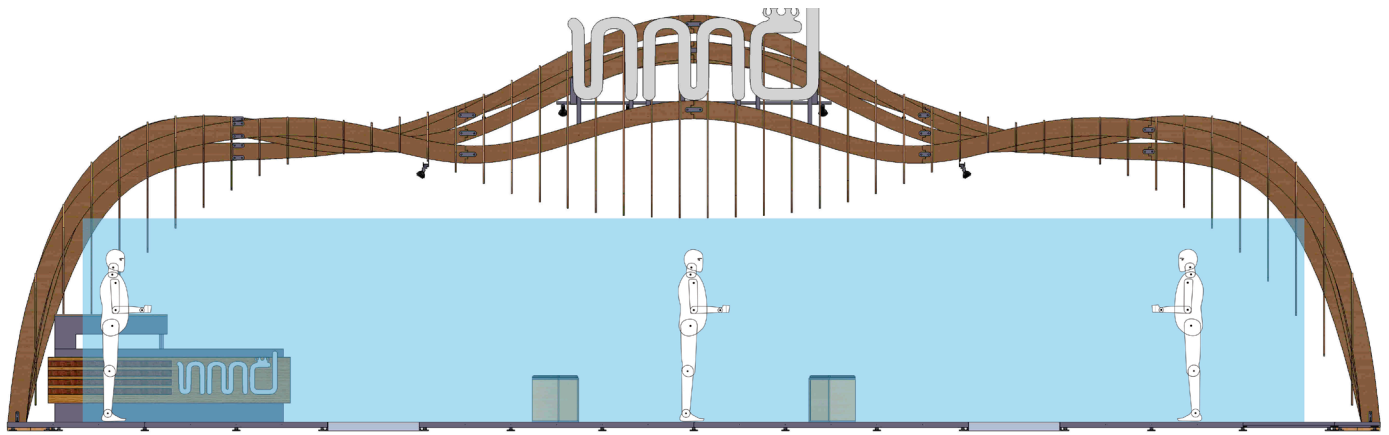
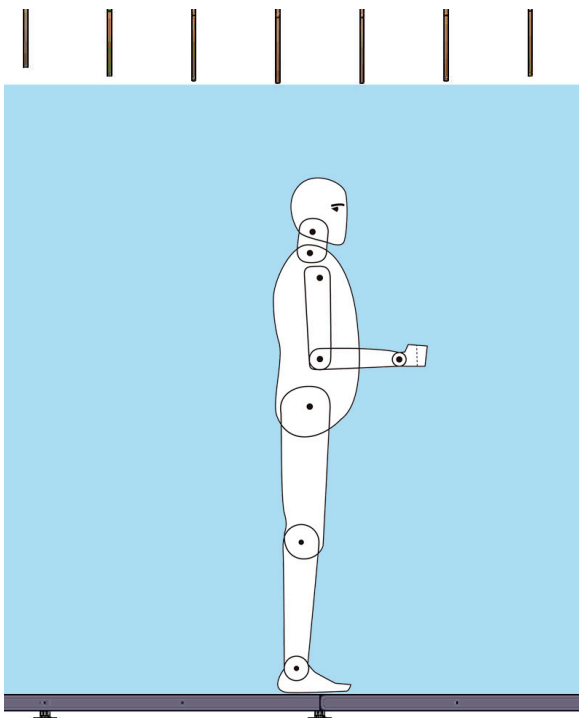
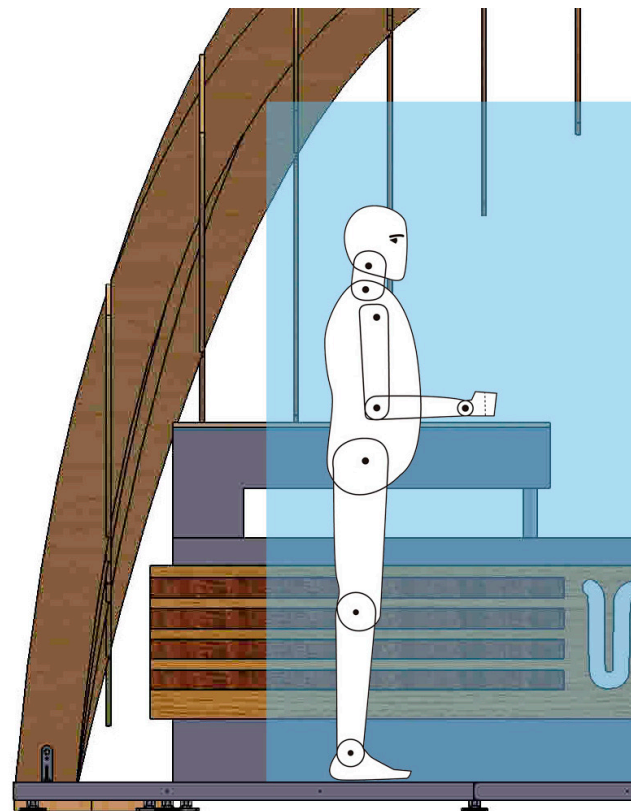


Fig. 153- Relación entre un hombre P99 y el stand.

En la imagen (Fig.153) se ve la relación entre las dimensiones del stand con un hombre de P99 (estatura de 1,86m). Las dimensiones están correctas ya que nadie llegaría a tocar con la cabeza con ninguna de las secciones. Además, el espacio que queda es bastante abierto y no causaría ninguna sensación de agobio.

El espacio que queda está simbolizado por una caja azul, cuya altura es la altura mínima que alcanza la sección central. Esta altura mínima es de unos 2,30m.

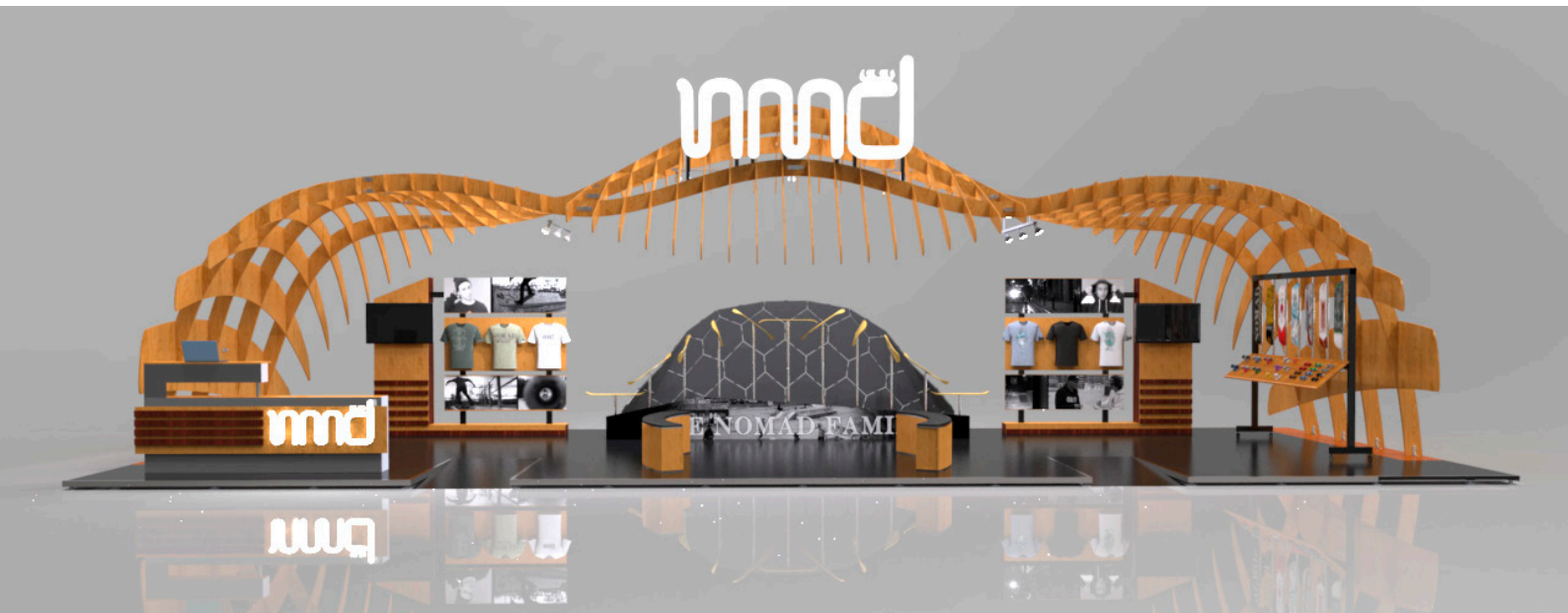




## 3.4 RENDERS



### 3.4 RENDERS



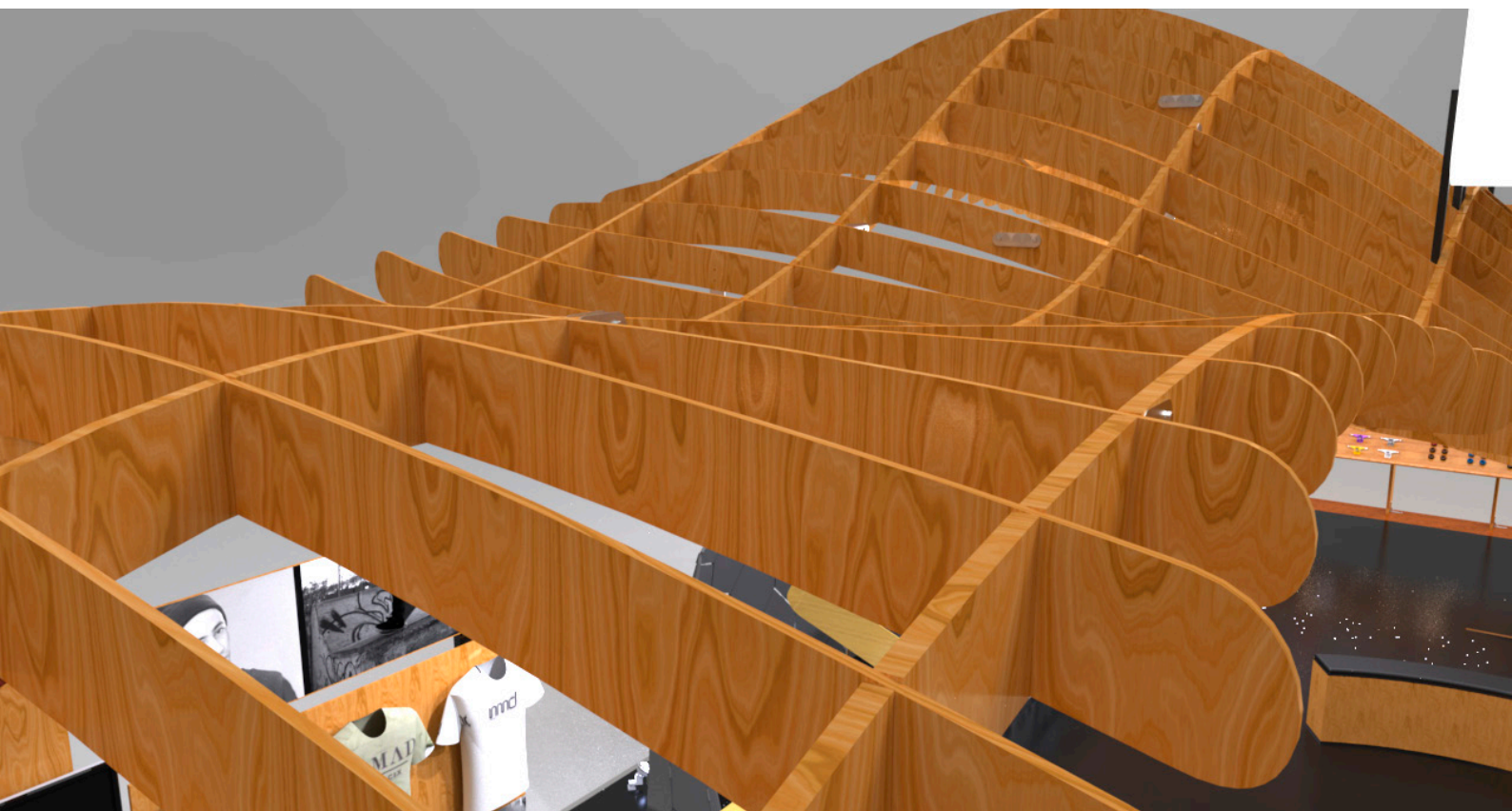
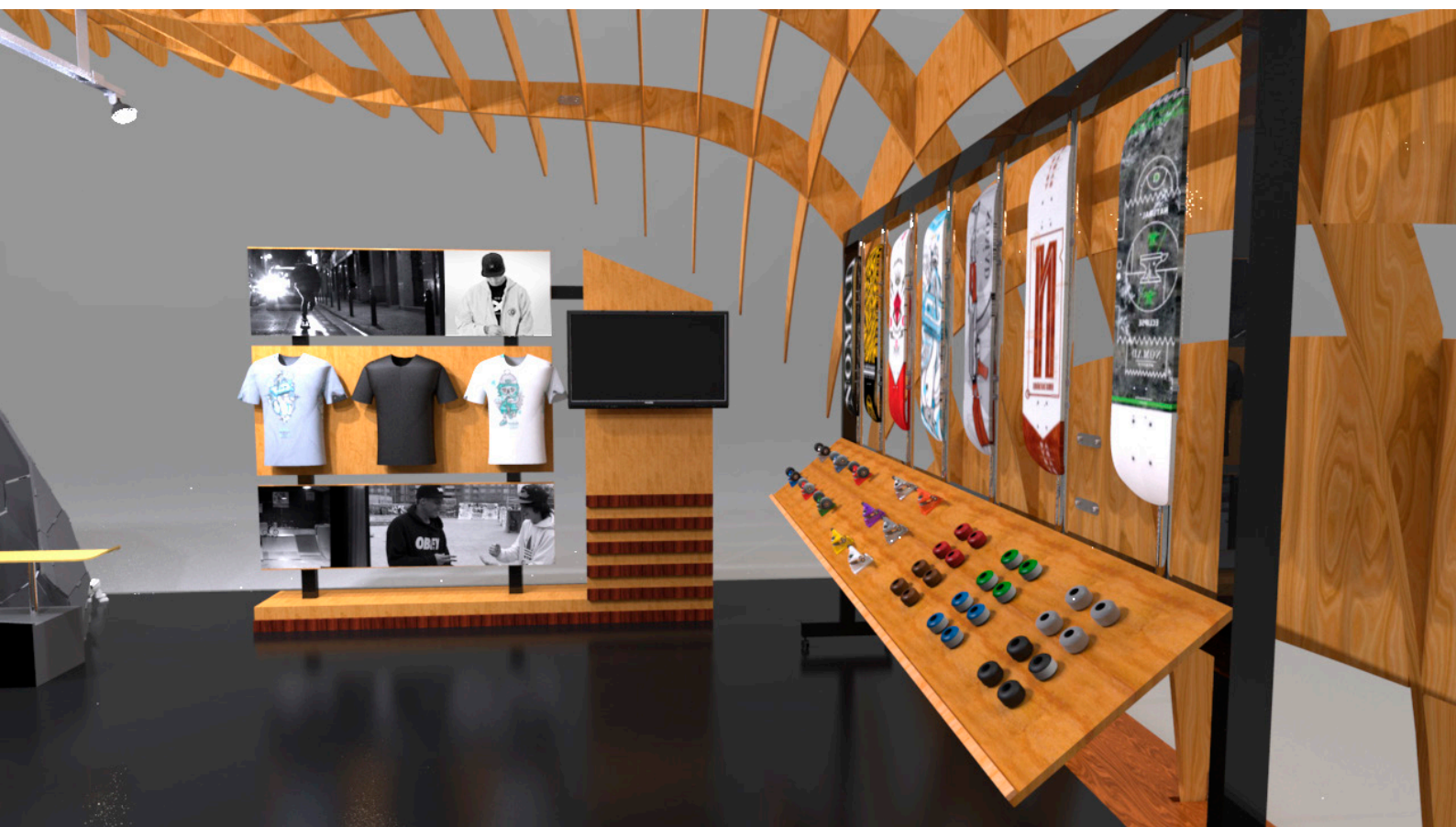


### 3.4 RENDERS

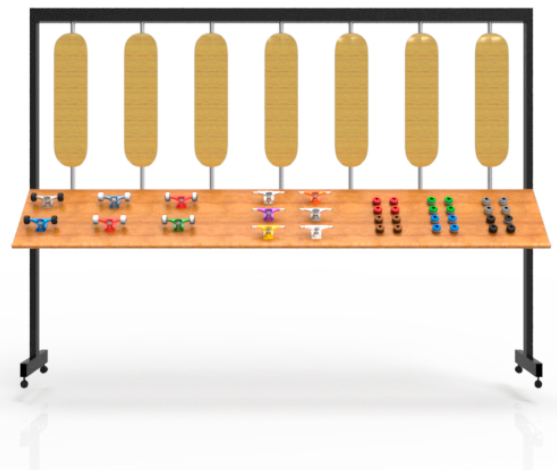
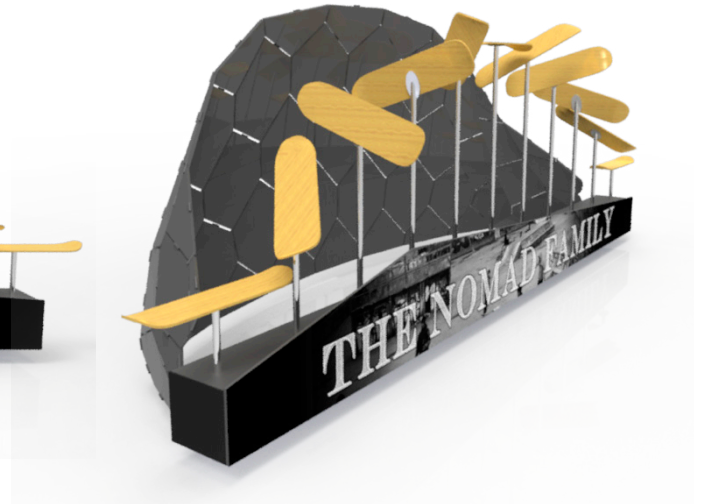
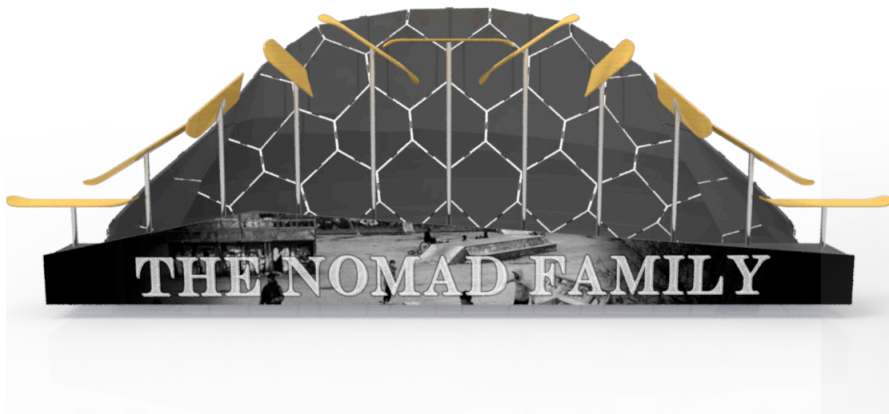




### 3.4 RENDERS

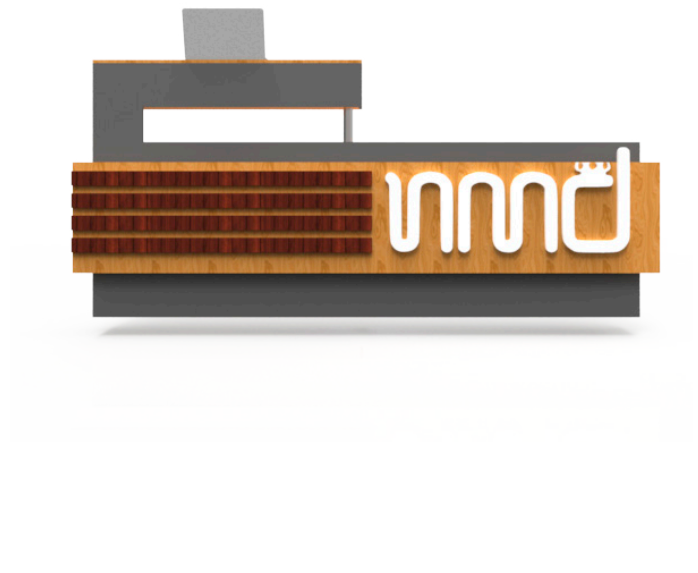
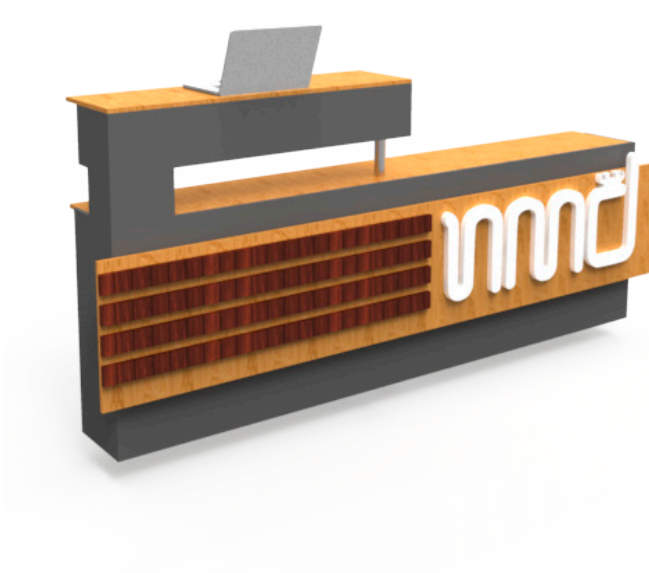
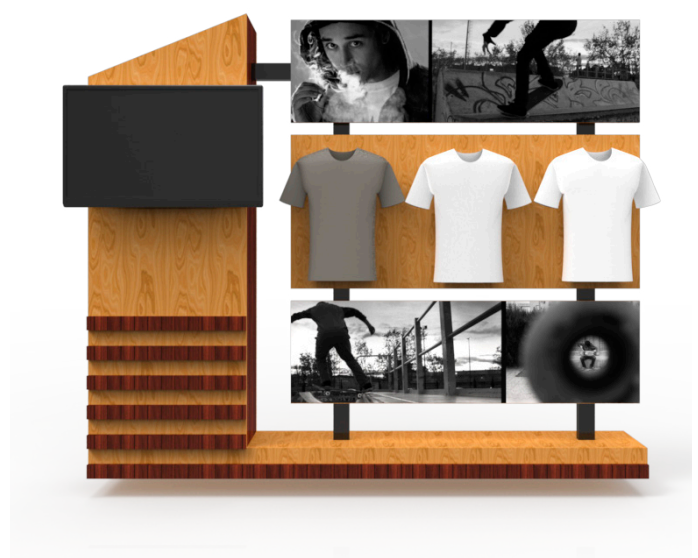


### 3.4 RENDERS





### 3.4 RENDERS





# 3.5 MONTAJE Y ENSAMBLAJES

## 3.5.1 MONTAJE TARIMA

La tarima del stand está construida con las siguientes piezas de catálogo (Fig.154):

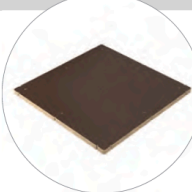
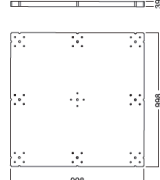
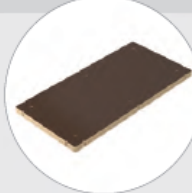
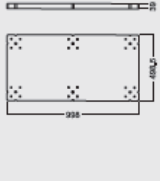

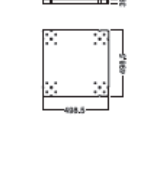

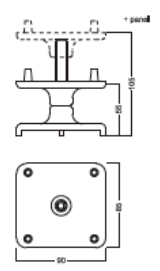

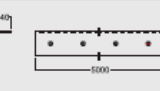
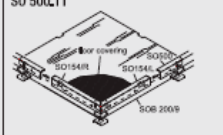
	<b>SANDWICH PANEL</b> 998X998X39 MM  Meranti plywood with phenol coating on both sides, rough surface on top, smooth surface on the bottom, with a surrounding frame, using waterproof glue, wooden lattice structure in the core, with holes for the positioning of adjustable feet HF 1SP, HF 3SP or base plate FP 1, can be used as middle, edge, or corner panel, <b>for higher load factor (max. 5000 kg/m²) up to 9 adjustable feet can be used</b> 21.164 lbs		<b>SP 10</b>  SP 10,90
	<b>SANDWICH PANEL</b> 998X498X39 MM  Meranti plywood with phenol coating on both sides, rough surface on top, smooth surface on the bottom, with a surrounding frame, using waterproof glue, wooden lattice structure in the core, with holes for the positioning of adjustable feet HF 1SP, HF 3SP or base plate FP 1, can be used as middle, edge, or corner panel, <b>for higher load factor up to 6 adjustable feet can be used</b> 10.609 lbs		<b>SP 20</b>  SP 20,90
	<b>SANDWICH PANEL</b> 498X498X39 MM  Meranti plywood with phenol coating on both sides, rough surface on top, smooth surface on the bottom, with a surrounding frame, using waterproof glue, wooden lattice structure in the core, with holes for the positioning of adjustable feet HF 1SP, HF 3SP or base plate FP 1, can be used as middle, edge, or corner panel, <b>6,228 lbs</b>		<b>SP 40</b>  SP 40,90
	<b>ADJUSTABLE FOOT</b>  zinc die cast / rubber with upper retainer pins and anti rattle pad, adjustable from top with hexagon wrench W 2 load capacity 2000 kg 1,596 lbs		<b>HF 1SP</b>  HF 1SP,00
	<b>EDGE SKIRTING EXTRUSION</b>  aluminium countersunk holes every 500 mm for wood screws, 4 mm dia, skirting extrusion for floor construction and fixing for base rail SOB 200/9 <b>5000 mm long</b> 5,434 lbs		<b>S0 500</b>  S0 500,11 

Fig. 154. - Imágenes del catálogo de OCTANORM.

Consta de 84 tableros en medidas de 1x1m, 1x0,5m y 0,5x0,5m.

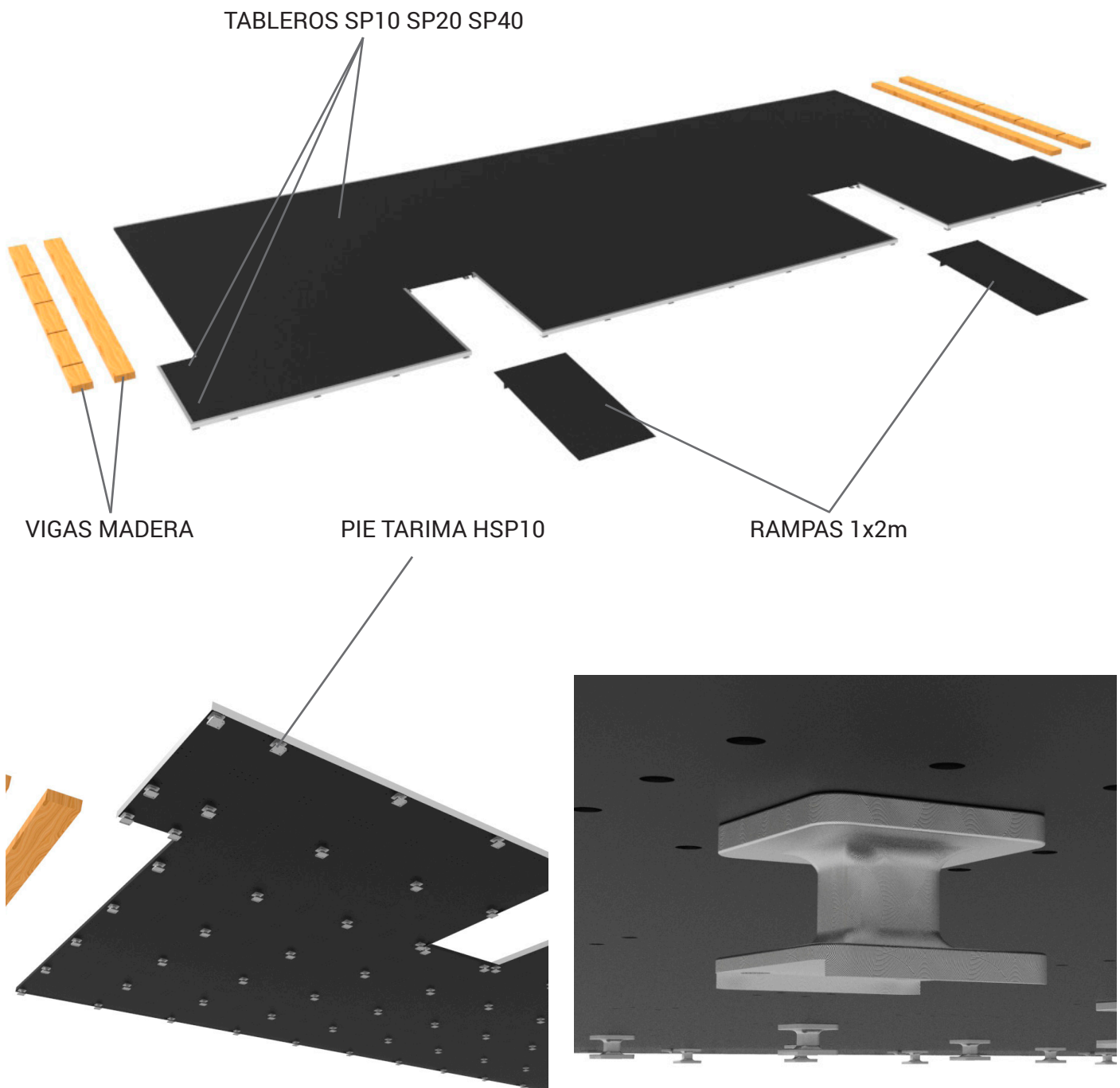
Se necesitan 117 pies para elevar las tarimas sobre el suelo unos 10cm.

Además, se incluyen 16 rodapiés en medidas de 1,5, 2, 3 y 5m para tapar el hueco que queda debajo de la tarima.

En los extremos se sitúan dos vigas de madera de 4,5m con ranuras donde irá encajada la estructura de secciones. Estas vigas quedan sujetas al suelo y hacen de base para la estructura.

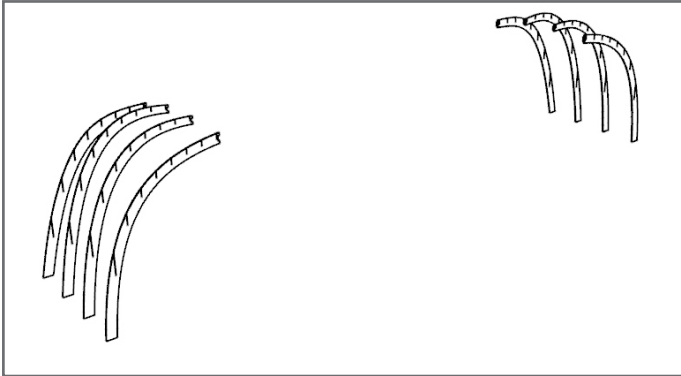
Las cantidades y la distribución de las piezas están debidamente explicadas en el plano de construcción.

### 3.5.1 MONTAJE TARIMA

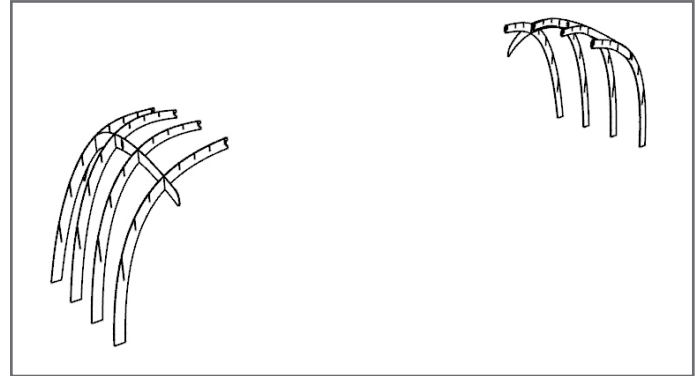


### 3.5.2 MONTAJE ESTRUCTURA

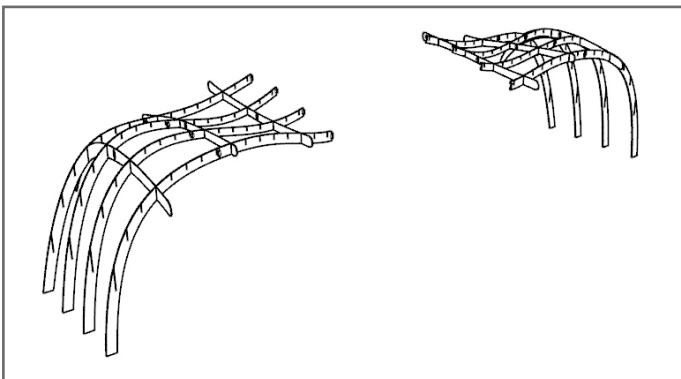
El montaje de la estructura se ha planteado de la siguiente forma:



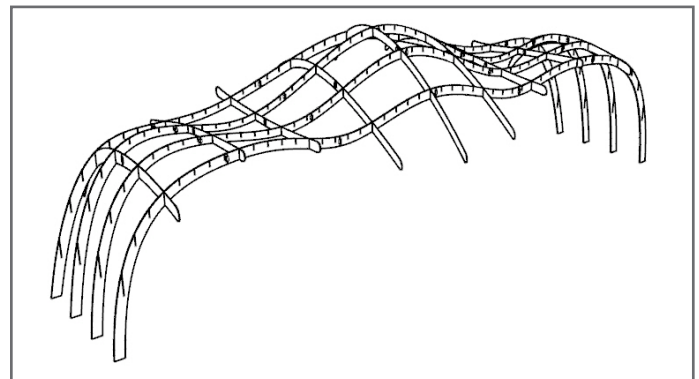
**1-** Primero se empiezan a colocar las secciones longitudinales de los extremos, que van sujetas a las vigas del suelo.



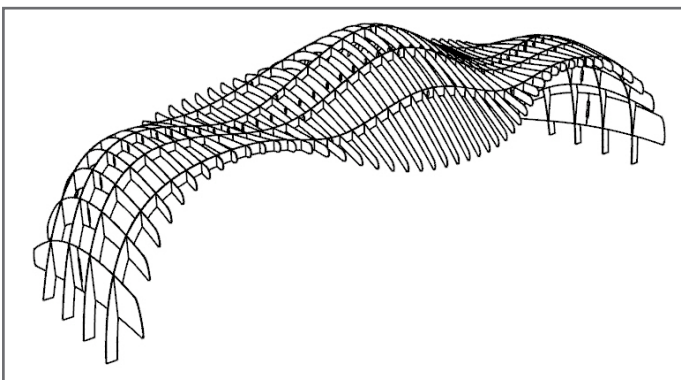
**2-** Se coloca alguna sección transversal para dar rigidez ya que las piezas sueltas pueden sufrir demasiado esfuerzo.



**3-** Se continúa con el siguiente tramo longitudinal, y se van colocando algunas secciones transversales por la rigidez. Se colocarían andamios en los extremos para soportar el peso.



**4-** Se coloca la sección longitudinal de en medio y ya se tiene la estructura armada.



**5-** Para finalizar, se terminan de colocar las secciones restantes.



### 3.5.2 MONTAJE ESTRUCTURAL



Toda la estructura va armada con chapas y pasadores que las unen (**Fig.155**). Estas uniones se colocan en todas las divisiones de las secciones longitudinales, mientras que las transversales se unen 1 de cada 4 ya que no soportan ninguna carga.



**Fig. 155-** Secciones unidas con chapas y pasadores.



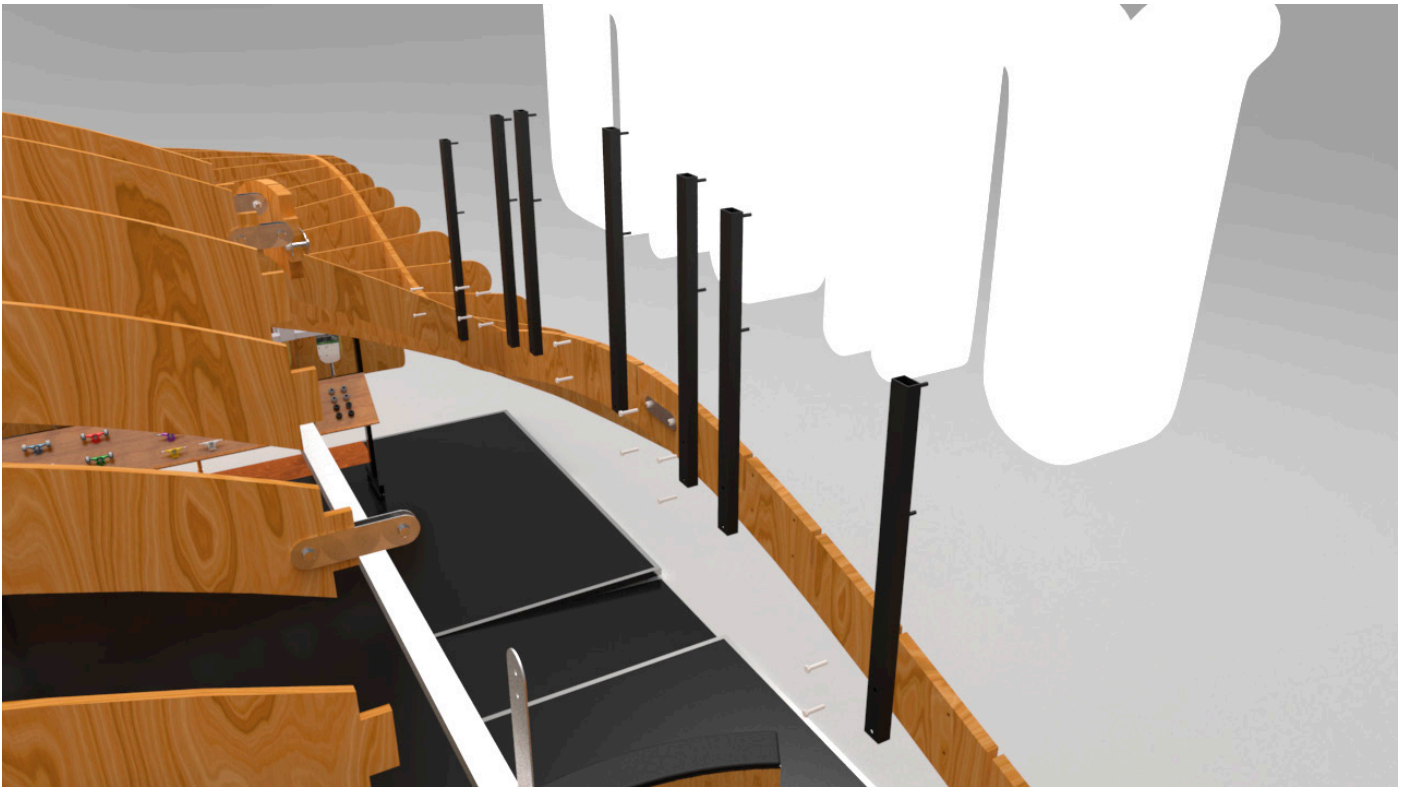
Todas ellas están marcadas con un identificador: X o Y, en función de si es longitudinal o transversal, seguido del número que le corresponde según su posición.

Las secciones que soportan la carga están sujetas a las vigas de los extremos por unas escuadras y unos pasadores (**Fig. 156**).



**Fig. 156 -** Escuadra de sujeción del apoyo.

### 3.5.2 MONTAJE ESTRUCTURA



El logo se une a toda la estructura gracias a unos perfiles de acero atornillados a la sección frontal. Los perfiles de acero llevan unos pernos soldados para sujetar las letras (**Fig.157**).



**Fig. 157** - Detalles del ensamblaje del logo.

### 3.5.3 MONTAJE MOBILIARIO

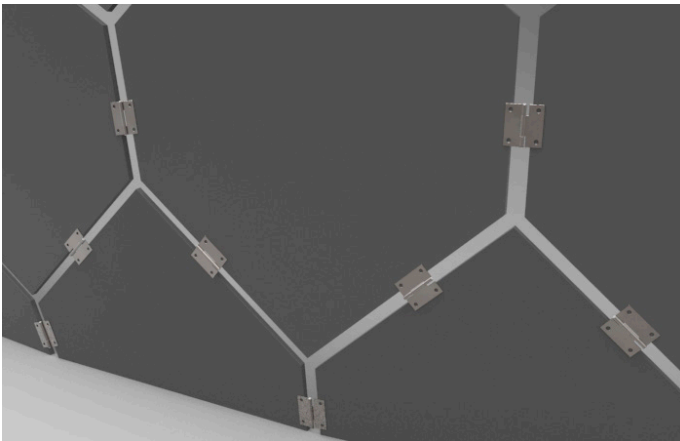
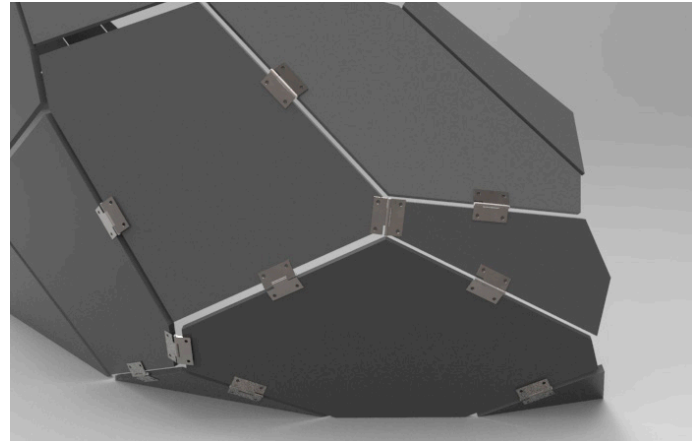


Fig. 158 - Unión de las piezas del teselado.

Para la superficie teselada se organizan las secciones según el número que llevan marcado por el laser. Después se van uniendo unas con otras con unas bisagras (**Fig.158**). Las bisagras permiten unir todo el conjunto de las secciones



y permiten también que haya un ángulo entre ellas. Al estar sujetas por bisagras en todos sus lados no hay libertad de movimiento, quedan bien restringidas todas las secciones manteniendo el ángulo.

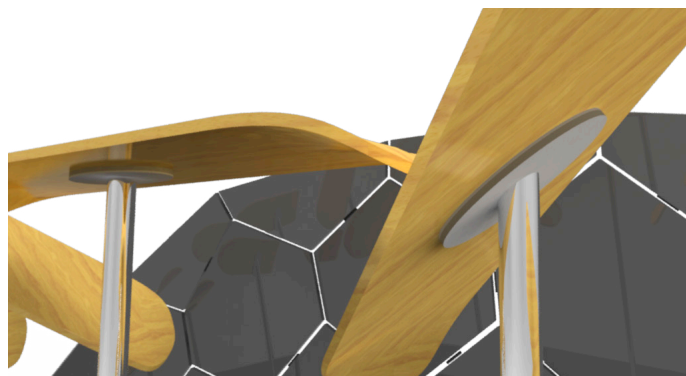
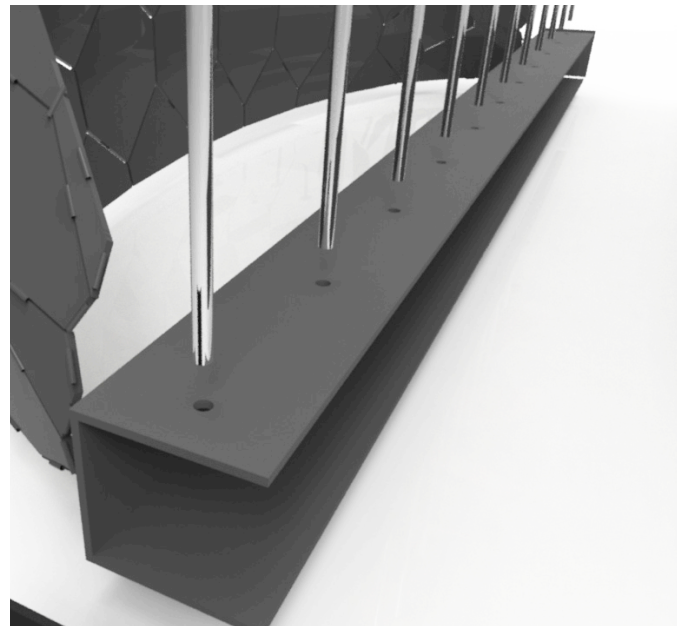
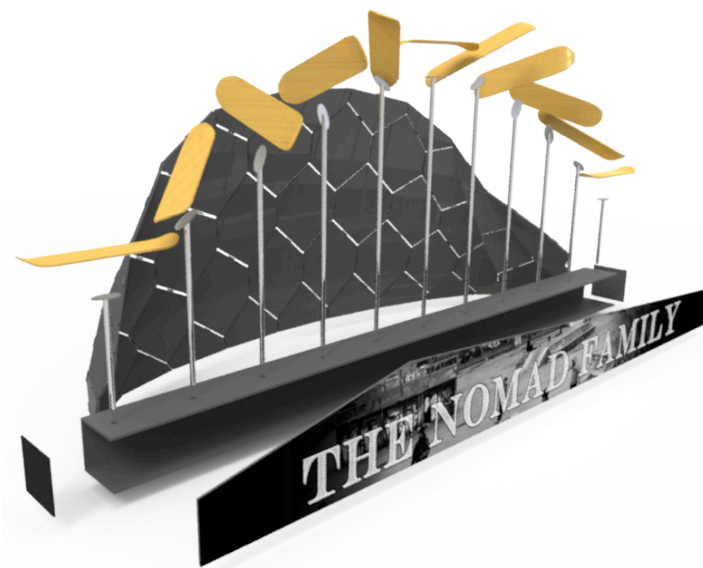


Fig. 159 - Arriba, derecha: Explosionado y detalle de los orificios.  
Fig. 160 - Abajo: Detalle de las chapas con el adhesivo.

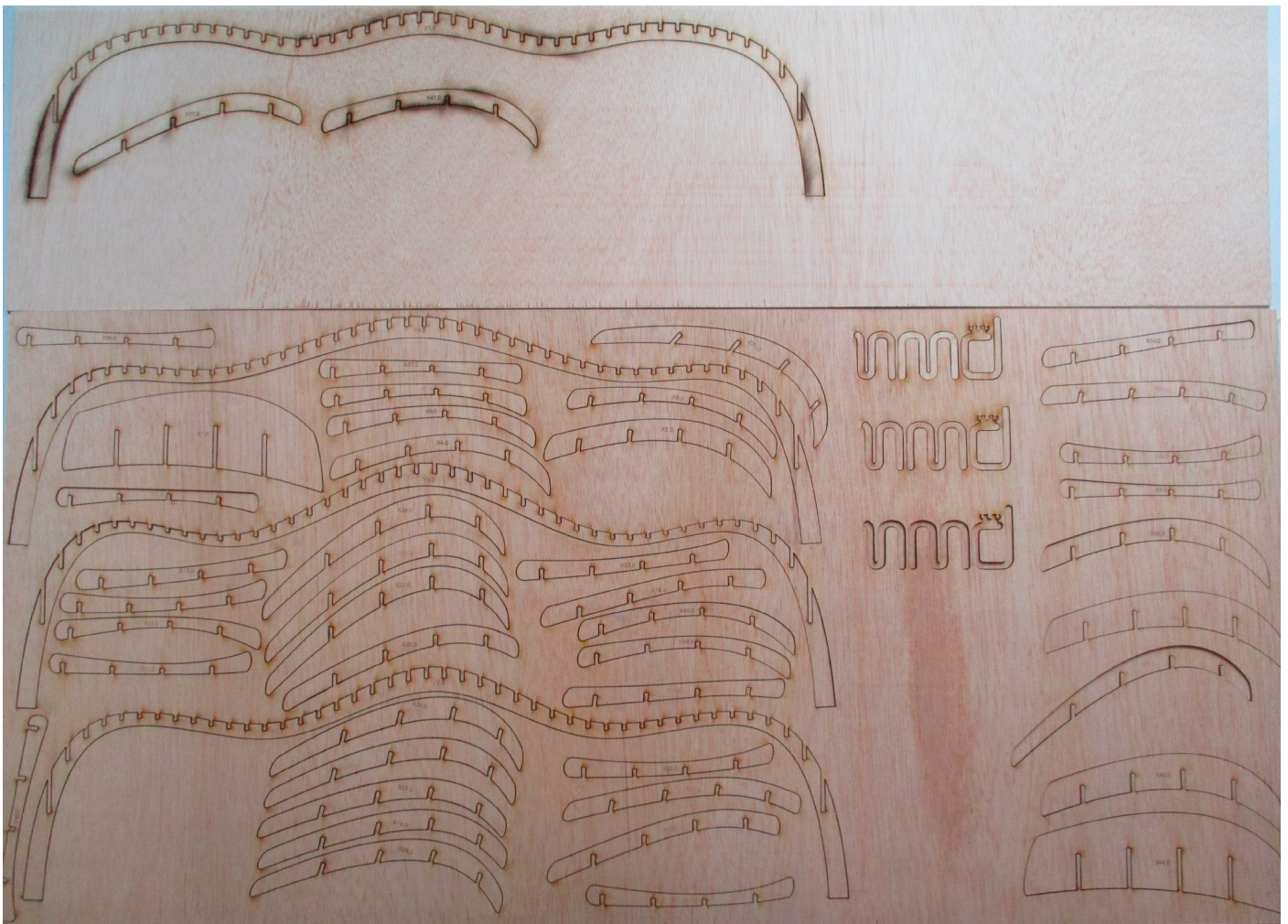
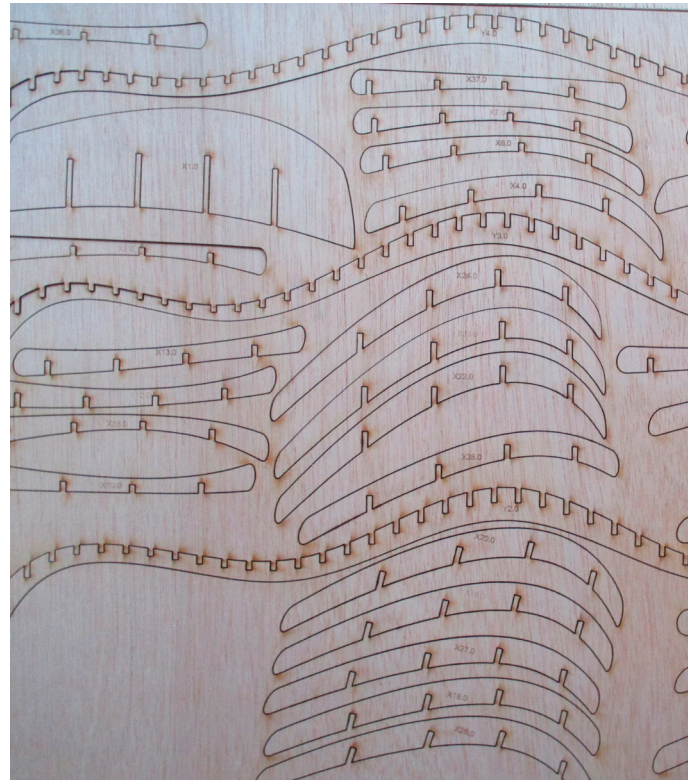
El mueble que sujeta las tablas girando esta formado a base de tableros. El tablero superior tiene una serie de orificios donde se encajan las barras de acero a las que van unidas las tablas (**Fig.159**). Las barras de acero terminan en diferentes ángulos, y todas ellas llevan soldada una chapa con sección elíptica en la parte superior. A esta chapa se le coloca un adhesivo de doble cara, de forma que solo hay que pegar la tabla a la chapa con el adhesivo, que le da ya la orientación deseada (**Fig.160**).



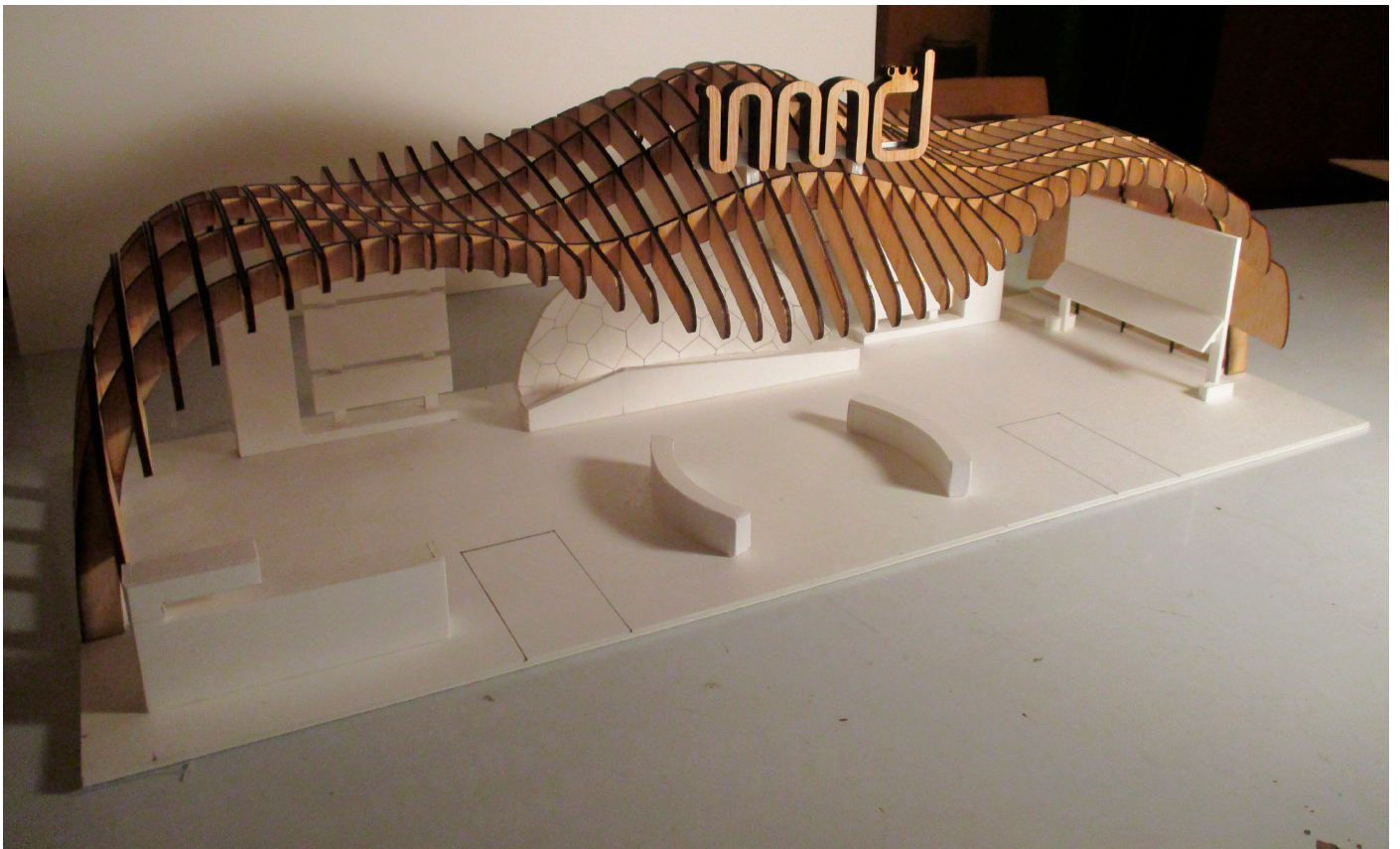
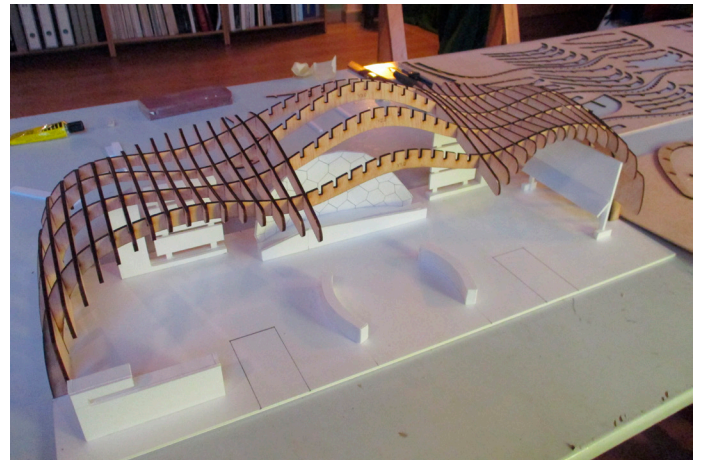
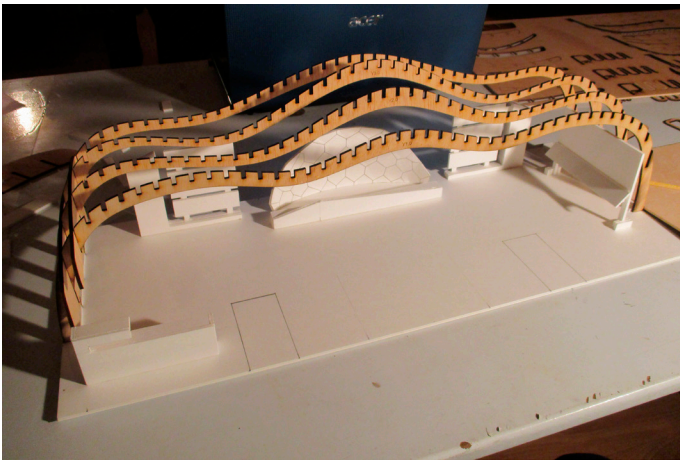
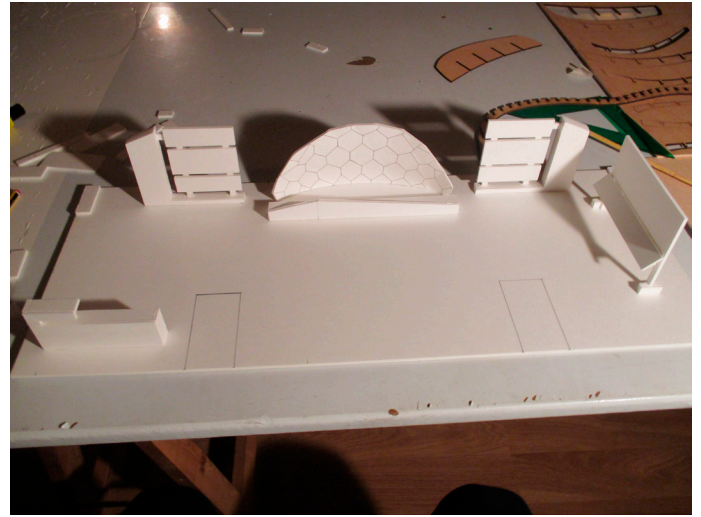
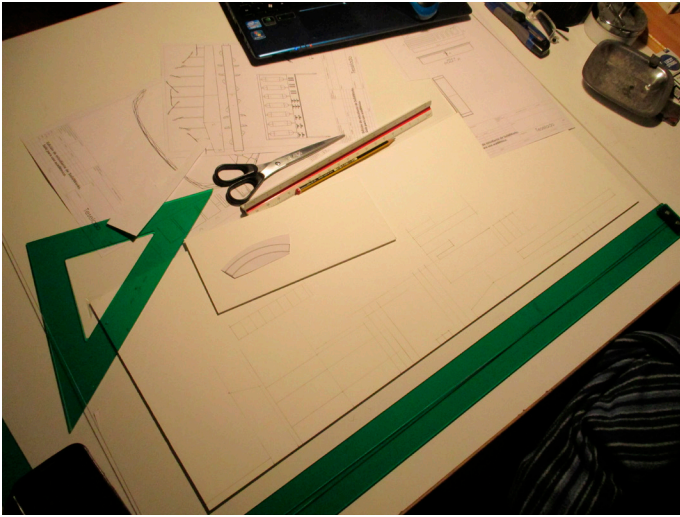
## 3.6 MAQUETA

Con todo el diseño definido, se construye una maqueta para demostrar que se puede llevar a cabo con tecnologías de fabricación digital. Para ello, se corta todas las secciones que se tenía en plano gracias al algoritmo en tableros de contrachapado de 3mm. El corte se realiza con una máquina Láser Print, de corte láser.

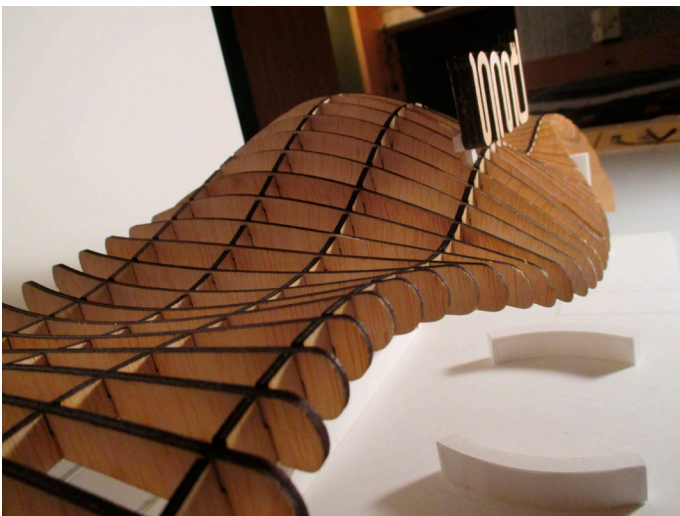
La maqueta es un modelo a escala 1:25 (60x20x18cm). El 3D se tuvo que cambiar respecto al original para poder llevar a cabo su fabricación sin problemas: se aumentó el ancho del sólido para tener secciones más resistentes, puesto que había zonas que solo alcanzaban 1mm de espesor debido a la escala. Además, el grosor de las secciones se unificó en 3mm para evitar problemas en las uniones y una fabricación complicada al tener que contar con tableros de dos grosores. Obviamente, cada sección es un sólido y no se han dividido entre sí como se haría en el stand real, de nuevo para favorecer el montaje y la fabricación.











La base y los muebles del interior del stand están fabricados a partir de cartón pluma de 3mm.



## 3.7 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

---

Se ha comprendido en que consiste el concepto de diseño paramétrico y cómo se aplica la programación a la generación de formas, entendiendo qué problemas puede abarcar.

Se han clasificado los métodos constructivos de fabricación digital para su mejor comprensión. Después del estudio realizado se tiene una visión más global de qué procesos elegir en función del tipo de proyecto.

Se ha aprendido a manejar con suficiente soltura el software de Rhinoceros+Grasshopper.

Se han experimentado todos los pasos que hay que realizar en el proceso de diseño de un stand y se ha desarrollado hasta su preparación para la fabricación, eligiendo entre varias alternativas la óptima, y viendo qué problemas se encuentran en la aplicación del diseño paramétrico a algo que se debe materializar.

En resumen, este proyecto ha supuesto un perfeccionamiento de las habilidades de modelado 3D en varios softwares, un nuevo enfoque gracias a la programación, y un acercamiento a la realidad de qué se puede fabricar y cómo, ganando cierta experiencia en la toma de decisiones en lo que respecta a estructuras, ensamblajes y procesos de fabricación. También he adquirido experiencia en el diseño de elementos de arquitectura efímera y sobre cuáles son los aspectos que hay que tener en cuenta para el diseño de un stand.

### 3.7.2 TRABAJO FUTURO

En lo que se refiere al trabajo futuro, quedan todavía varios frentes abiertos:

Se puede experimentar con más métodos constructivos además del seccionamiento o el teselado para ver si son realmente viables a la hora de fabricar un stand. Se podría también experimentar con la combinación de métodos constructivos, por ejemplo, que la estructura del stand construida a base de secciones después se cubriese con un teselado.

Experimentar con nuevos softwares de programación aplicada a geometrías, o con nuevos métodos de fabricación digital (este campo está evolucionando continuamente y cada vez la impresión 3D es mas eficiente).

Queda desarrollo técnico por hacer, comprobando con un análisis estático más preciso si la estructura es resistente. Se podría diseñar más en profundidad el mobiliario del stand, con un buen despiece y unos planos técnicos para la fabricación de los mismos.

### 3.7.3 OPINIÓN PERSONAL

Después de todo el proyecto, la primera sensación que queda es la de haber aprendido muchas cosas nuevas. Manejar la herramienta de Grasshopper ha servido para comprender en que se basa la programación aplicada a formas y geometrías.

Tras haber estudiado sus formas de aplicación en métodos constructivos he comprobado que se trata de una herramienta muy interesante en diferentes aspectos:

- Supone una forma de crear geometrías espectaculares muy al alcance de la mano. Con toda la cantidad de información que hay en internet al respecto, se puede aprender y ejercitar la habilidad en el manejo de Grasshopper. Además, ejercita mucho la creatividad y la concepción de nuevas formas.

- Es muy gratificante desarrollar una definición propia, inventada por uno mismo, y que tras varias pruebas y modificaciones finalmente funcione. No se trata de modelar algo y que quede bien, sino de idear un programa cuyo resultado es una nueva aplicación basada en la geometría. Se trata de algo que requiere más ejercitación intelectual, y por lo tanto un resultado positivo es mucho más gratificante.

Si que es cierto que se necesita un período de adaptación sobre todo a la forma de trabajar. El pensamiento paramétrico es algo que hay que ejercitar, ya que hay que pensar más en abstracto. Cuando se está haciendo una definición hay que saber que los parámetros de entrada pueden ser de cualquier forma, por lo que es necesario tener cierta visión general.

Personalmente, el proyecto me ha servido para mejorar mi percepción de la geometría y de los software 3D. He podido acercarme más al funcionamiento de un programa paramétrico y a la lógica matemática que hay que seguir. Se trata de un nuevo enfoque que creo que me ayudará no solo en lo que se refiere al modelado 3D de un proyecto, sino a una visión más global respecto a

diferentes formas de trabajo.

Por otro lado, me ha despertado un mayor interés por la programación en si y un deseo de seguir aprendiendo nuevas formas de programación, ya no solo aplicadas a la geometría.

Centrándose más en el caso práctico, he podido experimentar algunos de los problemas que van surgiendo a lo largo de un proceso completo de diseño, desde la concepción del diseño a la fabricación digital del mismo:

- En primer lugar, trabajar en paramétrico suele dar problemas que se podrían solucionar muy fácilmente en un programa de modelado convencional. Por ejemplo, cuando un modelo tiene interferencias, simplemente se recorta el sólido y ya no hay interferencia, pero esta solución es particular para ese modelado. En un modelado paramétrico, hay que ver por qué se crea esa interferencia y pensar como solucionarla a partir de otras funciones, así cuando surja esa interferencia se solucionará sola, independientemente de la forma con la que estés trabajando. Esto supone, como ya se ha dicho, un mayor esfuerzo intelectual.

- Crear un algoritmo que haga muchas funciones puede hacer que sea muy complejo, teniendo al final una larga cadena de componentes que cuesta procesar minutos y minutos. El objetivo del diseño basado en la programación es poder valorar muchas alternativas en poco tiempo, sin embargo hay que tener cuenta que cuanto más complicada es la definición más tiempo le cuesta procesar toda la información, ya que tiene que procesar un componente detras del otro y manejar muchísimos datos.

- El problema de trabajar con Rhinoceros es que no se pueden modelar ensamblajes o insertar piezas restringidas. Esto hace que sea algo difícil modelar todo un conjunto, por lo que se decidió importar las geometrías de Rhino a SolidWorks para terminar de desarrollar todo

### 3.6.3 OPINIÓN PERSONAL

el stand. Aparecieron algunas dificultades para hacer la traducción de un programa a otro, finalmente se consiguió exportando el sólido en .step, un formato que SolidWorks podía entender bastante bien, aunque con errores.

-Por mucho potencial que tenga la fabricación digital, no todas las formas que se generan en el programa se pueden fabricar. A menudo se choca contra límites de fabricación, límites que pueden venir impuestos por la capacidad de las máquinas, por el material en el que se desea hacer el modelo o por la viabilidad del montaje. En este caso, tres de los mayores problemas con los que se ha tenido que lidiar han sido:

El grosor de las secciones para fabricar la estructura, ya que hay que tener en cuenta la resistencia, pero por otro lado intentar que sea lo más ligera posible. Por como estaba concebida la estructura, fue fácil la solución haciendo que las secciones que sujetaban el peso fuesen más gruesas que las que van montadas (para lo cual hubo que cambiar algunas partes del algoritmo). Por otro lado había que saber que grosores máximos admiten las máquinas CNC, porque las de láser no pueden cortar tableros muy espesos. No obstante, las seccionadoras automáticas con fresadora pueden cortar grandes grosores.

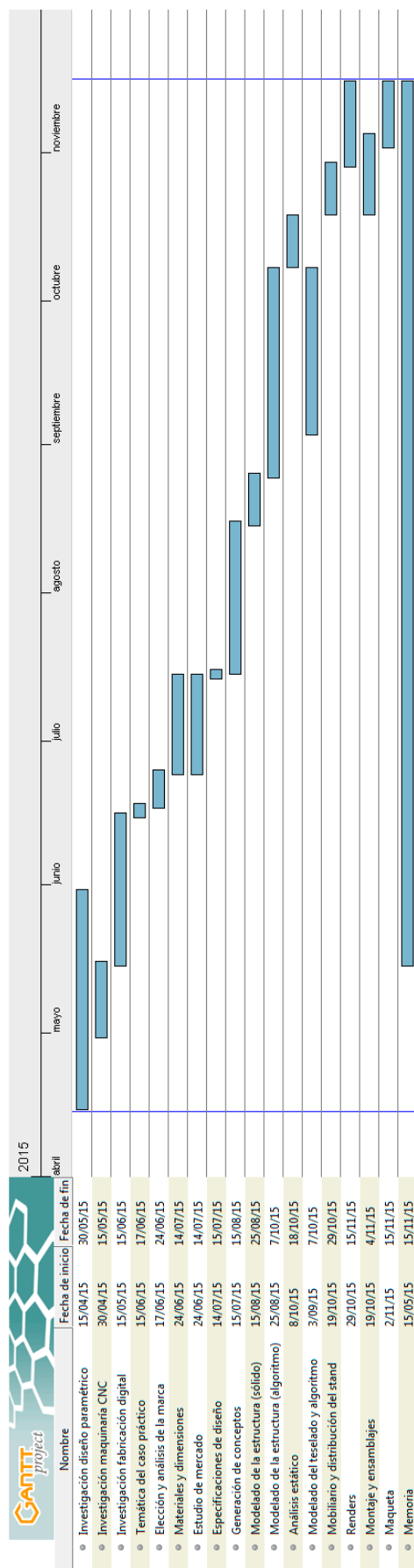
Otro de los problemas era el tamaño de las secciones. Hay que contar con las dimensiones de los tableros comerciales, para lo cual se puso un límite de 2500mm. En el diseño del stand este límite supuso dividir cada sección para después unir las.

De hecho, la unión de cada sección fue otro de los problemas a resolver. Había que hacer perforaciones para poner pasadores y unir las bien para garantizar la resistencia y estabilidad de la estructura. Se decidió unir completamente solo las secciones largas que soportan el peso para no tener un montaje demasiado pesado.

Con el diseño terminado, fue necesario comprobar la resistencia de la estructura. El análisis estático fue un trabajo muy complicado porque la geometría importada daba muchos problemas. Además, analizar mediante el MEF un material como el contrachapado fue otra complicación. El análisis dió resultados positivos, pero no deja de ser una estimación



## 3.8 DIAGRAMA TEMPORAL DE LA REALIZACIÓN DEL PRO-



### CALENDARIO DE TAREAS:

Se divide el proyecto en las sub-tareas a realizar, reflejadas a la imagen con su fecha de inicio y final planificadas.

**Primera fase:** del 15 de abril al 15 de junio (2 meses)

**Segunda fase:** del 15 de junio al 15 de julio (1 mes)

**Tercera fase:** del 15 de julio al 15 de noviembre (4 meses)

Al proyecto se le han dedicado un total de 750 horas.

# SOFTWARE UTILIZADO

---

Rhinoceros 5.0 (modelado de geometrías paramétricas)

+

Grasshopper v0.9.0076

Kangaroo (plugin de Grasshopper)

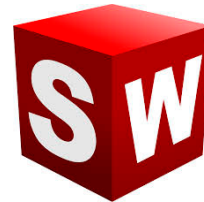
Weaverbird (plugin de Grasshopper)



**Rhinoceros**<sup>®</sup>  
NURBS modeling for Windows



Solidworks 2014 (modelado del resto del stand, planos)



Keyshot 5.0 (renders)



**KeyShot**<sup>®</sup>

Adobe Photoshop CS6 (retoque de renders)



Adobe InDesign CS6 (maquetación de la memoria)



# REFERENCIAS

---

- [1] Grasshopper. Primeros pasos/ CUADERNO 1\_Fabricación de modelos para la arquitectura. Master de Innovación en Arquitectura (Universidad de Sevilla).
  - [2] La seducción paramétrica/ CUADERNO 1\_Fabricación de modelos para la arquitectura. Master de Innovación en Arquitectura (Universidad de Sevilla).
  - [3] “¿Qué es el diseño paramétrico?” por Alexandra Molinare, artículo de [plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-118243/%25c2%25bfque-es-el-diseno-parametrico) // Link: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-118243/%25c2%25bfque-es-el-diseno-parametrico>
  - [4] Sandra Navarrete, “Diseño paramétrico. El gran desafío del siglo XXI” (2011) // Link: [http://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc/publicacionesdc/vista/detalle\\_articulo.php?id\\_libro=470&id\\_articulo=9406](http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/publicacionesdc/vista/detalle_articulo.php?id_libro=470&id_articulo=9406)
  - [5] “¿Qué es CAD software?” Definición de Autodesk <http://www.autodesk.es/solutions/cad-software>
  - [6] “¿Qué es Catia?” Link: <http://www.opportunitiesdoor.com/catia-v5/>
  - [7] “Diseño paramétrico”, artículo de [wikipedia.org](https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_param%C3%A9trico) Link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o\\_param%C3%A9trico](https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_param%C3%A9trico)
  - [8] “AUTODESK 3DS MAX: Modelado y Animación 3D avanzada” por Alejandro Méndez, artículo de [blog.mp3.es](http://blog.mp3.es/autodesk-3ds-max-modelado-y-animacion-3d-de-avanzada/) Link: <http://blog.mp3.es/autodesk-3ds-max-modelado-y-animacion-3d-de-avanzada/>
  - [9] Autodesk Revit. Página oficial: <http://www.autodesk.es/products/revit-family/overview>
  - [10] “Rhinoceros, ¿el modelador más versátil del mundo?” por David López, artículo de [abcm modular.com](http://abcm modular.com/rhinoceros-para-arquitectos-grasshopper) Link: <http://abcm modular.com/rhinoceros-para-arquitectos-grasshopper>
  - [11] “Fabricación digital” de Margarita Medina, presentación on-line. <https://prezi.com/i9-rzj8rgtnx/fabricacion-digital/>
  - [12] “Control numérico” artículo de [wikipedia.org](https://es.wikipedia.org/wiki/Control_num%C3%A9rico) Link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Control\\_num%C3%A9rico](https://es.wikipedia.org/wiki/Control_num%C3%A9rico)
  - [13] “¿Qué es el CNC?” información expuesta por Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Venado Tuerto, Santa Fe, Argentina.
  - [14] “SLS y SLA: en qué se distinguen” artículo de I3DCarlos, en [www.impresoras3D.com](http://www.impresoras3D.com) Link: <http://www.impresoras3D.com/sls-y-sla-que-son-y-en-que-se-distinguen/>
  - [15] “Tecnología FDM” información obtenida de [www.stratasys.com](http://www.stratasys.com) Link: <http://www.stratasys.com/mx/impresoras-3d/technologies/fdm-technology>
  - [16] “Fab Lab ” artículo de [www.wikipedia.org](https://es.wikipedia.org/wiki/Fab_lab) Link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Fab\\_lab](https://es.wikipedia.org/wiki/Fab_lab)
  - [17] Entrevista a Tomás Diez, directo del Fab lab Barcelona, realizada por Esther Val. Link: [http://www.culturarsc.com/RSC/20130911\\_Tomas\\_Diez\\_Fablab.php](http://www.culturarsc.com/RSC/20130911_Tomas_Diez_Fablab.php)
  - [18] “Fabricación Digital y Diseño Paramétrico. Potencialidad creativa con tecnologías mixtas para una producción arquitectónica ampliada.” Tesis de Grado de la Universidad del Litoral. Autores: Martín Veizaga, Luciana Gronda. Director: Dr. Arq. Mauro Chiarella.
- Apuntes de la asignatura Procesos de Fabricación, del grado en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto de la Universidad de Zaragoza.



# REFERENCIAS

---

- [19] "Vaulted Cork Pavillion / Pedro de Azambuja Varela + Maria João de Oliveira + Emmanuel Novo" artículo de [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com) Link: <http://www.archdaily.com/455127/vaulted-cork-pavillion-pedro-de-azambuja-varela-maria-joao-de-oliveira-emmanuel-novo/>
- [20] "Artificial Topography" proyecto realizado por Ryumei Fujiki, visto en su web [www.fads-design.jp](http://www.fads-design.jp) Link: [http://www.fads-design.jp/others/architec\\_03/detail.html](http://www.fads-design.jp/others/architec_03/detail.html)
- [21] "Sectionimal" proyecto realizado por el estudio chileno gt\_2P, visto en un artículo de la revista on-line de diseño y arquitectura [www.dezeen.com](http://www.dezeen.com) Link: [http://www.dezeen.com/2009/12/16/the-sectionimal-by-gt\\_2p/](http://www.dezeen.com/2009/12/16/the-sectionimal-by-gt_2p/)
- [22] "Cave of books", proyecto de arquitectura de la Kyoto University of Art and Design – Japón (2012). Link: <http://blog.bellostes.com/?p=21179>
- [23] Artículo acerca de las Teselaciones. Link: <http://traselastrodeecher.blogspot.com.es/>
- [24] Teselado. Artículo de [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) Link: <https://es.wikipedia.org/wiki/Teselado>
- [25] "ArboSkin - fachada de bioplástico" desarrollado por el Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) de la Universidad de Stuttgart - Alemania (2013). Visto en: <http://www.dezeen.com/2013/11/09/arboskin-spi-ky-pavilion-with-facademade-from-bioplastics-by-itke/>
- [26] Temporary bionic research pavilion (Stuttgart university) Stuttgart – Germany (2011). Proyecto del Institute for Computational Design (ICD) y del Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE). Link: <http://icd.uni-stuttgart.de/?p=6553>
- [27] Cellular Morphology Facade, Prototipo diseñado por Sushant Verma y ensamblado por Apoorva Soni, Mohan Nath, Anand Gawali, Abhishek Singh, Swati Gautam. Link: <http://www.rat-lab.org/#!/cellular-morphology-facade/ctof>
- [28] "Translated Geometry", Proyecto de Ece Tankal, Efilena Baseta and Ramin Shambayati, en el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña. Link: <http://www.archdaily.com/546834/iaac-students-develop-material-system-with-responsive-structural-joints>
- [29] "Sobre el diseño paramétrico y su aplicación en el diseño arquitectónico e interiorismo", artículo de Expresión Volumétrica, blog on-line. Link: <https://sites.google.com/site/evolumetrica/recursos-u-d-3/disenio-parametrico>
- [30] La Voûte de LeFevre, experimental pavilion (Banvard Gallery: Knowlton School of Architecture) Columbus Ohio – United States (2012). Arquitectura, Brandon Clifford + Wes McGe. Link: <http://blog.bellostes.com/?p=25220>
- [31] The Amazing Whale Jaw, por el estudio NIO, en Hoofddorp, Rotterdam, Holanda (2013). Link: <http://www.nio.nl/wordpress/all-projects/the-amazing-whale-jaw/>
- [32] "Novos processos de construção em arquitetura" Gonçalo Castro Henriques y Luís Pedro Esteves. Link: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.060/460>
- [33] COCOON-FS pavilion (Frank Stella exhibition) Jena – Germany (2011). Arquitectura, Julia and Göran Pohl "Pohl Architekten". Link: <http://blog.bellostes.com/?p=19333>
- [34] "Topological interlocking in architectural design" M. Weizmann, O. Amir, Andy Y. J. Grobman. Israel Institute of Technology.
- [35] "SelfSupportingFramework" pavilion (Kassel University), Kassel –Alemania (2010). Diseño, Mischa Proll y Andreas Günther, Universität Kassel Fachbereich Architektur. Link: <http://blog.bellostes.com/?p=12817>
- [36] Pabellón Dragon Skin, (Material Design & Digital Fabrication Workshop en Tampere, Finlandia Instalación temporal para la Tampere Architectural Week 2011). Diseñada por Emmi Keskisarja, Pekka Tynkkynen con Kristof Crolla y Sebastien Delagrangre. Links: <http://blog.bellostes.com/?p=20533> y <http://dragonskinproject.com/>

# REFERENCIAS

---

- [37] Artículo de Wikipedia sobre la arquitectura efímera. [https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura\\_ef%C3%ADmera](https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_ef%C3%ADmera)
- [38] Historia de la marca Nomad Skateboards, obtenida de su web [www.nomadskateboards.com](http://www.nomadskateboards.com)
- [39] Artículo sobre el diseño de stands de la web <http://www.buenosnegocios.com/notas/531-8-claves-armar-un-stand>
- [40] Información acerca de los tableros de madera obtenida de [http://infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_4\\_Tableros\\_Generalidades\\_22.06.2011.pdf](http://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_4_Tableros_Generalidades_22.06.2011.pdf)  
<http://todotecnologia-eso.blogspot.com.es/2011/12/tipos-de-tableros-de-madera.html>
- [41] Algoritmo de seccionamiento desarrollado por Victor Leung. Extraído del foro de grasshopper. <http://www.grasshopper3d.com/forum/topics/a-solid-waffle-for-laser>
- [42] Algoritmo de seccionamiento explicado por rd2tutorials. Link: <https://www.youtube.com/watch?v=gmsrgbPTm-jQ>
- [43] Caracterización mecánica en flexión estática de madera reconstituida. Tableros aglomerados, contrachapados y enlistonados. Por Javier Ramón y Mariana Ramírez. Abril de 2015" <http://www.investigacioneingenieriadelamadera.umich.mx/index.php/madera/article/download/2/2>.
- [44] Algoritmo diseñado por Luis E. Fraguada para la plataforma livearchitecture.com. Descargado de: [http://bfxlog.blogspot.com.es/2009\\_04\\_01\\_archive.html](http://bfxlog.blogspot.com.es/2009_04_01_archive.html)
- [45] Definición que explora el Box-Morph para obtener una teselación basada en las superficies continuas de Erwin Hauer. <http://www.co-de-it.com/wordpress/code/grasshopper-code>
- [46] Algoritmo expuesto por el canal de YouTube "Think Parametric". Link: <https://www.youtube.com/watch?v=Msb-yfC2usUk>

# REFERENCIAS IMÁGENES

**Fig.1** - 0 R N 8: Proyecto de diseño paramétrico realizado por Gerry Cruz, Spyridon Kaprinis, Natalie Popik y Maria Tsironi. Recuperado de: <http://projectsreview2010.aaschool.ac.uk/html/units.php?unit=17&name=925>

**Fig.2** - Pantalla desarrollada en la competición de diseño M3 2010 del Institute of Technology in Architecture (Zurich). Recuperado de: <http://www.mas.caad.arch.ethz.ch/mas1011/indexc725.html?p=645>

**Fig.9** - Escultura diseñada por Ora-Ito usando Grasshopper. Recuperado de: <https://digitalsubstance.wordpress.com/tag/image-heightfield/>

**Fig.10** - Captura de pantalla del software CATIA. Recuperado de: [http://www.opportunitiesdoor.com/s/cc\\_images/cache\\_2433620812.png](http://www.opportunitiesdoor.com/s/cc_images/cache_2433620812.png)

**Fig.11** - Captura de pantalla del software Autodesk 3DS Max. Recuperado de: <http://www.autodesk.es/products/3ds-max/features/all/gallery-view>

**Fig.12** - Captura de pantalla del software Autodesk Revit. Recuperado de: <http://arquidesigns3d.blogspot.com.es/2012/10/revit.html>

**Fig. 21** - Metropol Parasol, en la Plaza de la Encarnación en Sevilla. Estructura realizada aplicando conceptos de fabricación digital. Realizado por el arquitecto Jürgen Mayer con la colaboración de Arup. Recuperado de: <http://miarmapa.esy.es/noticias/la-cuaresma-llegara-a-sevilla-de-la-mano-de-la-caja-de-la-semana-santa/>

**Fig.22** - Prototipo de un menanismo impreso en 3D. [http://www.turkcdcam.net/rapor/autofab/tech-powder\\_binding-bonding.html](http://www.turkcdcam.net/rapor/autofab/tech-powder_binding-bonding.html)

**Fig. 23** - Esquema de funcionamiento de una máquina de Estereolitografía. Recuperado de: <http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>

**Fig. 24** - Esquema de funcionamiento de una impresora 3D SLS.. Recuperado de: <http://www.custompartnet.com/wu/3d-printing>

**Fig. 25** - Esquema de funcionamiento de una impresora 3D FDM. Recuperado de: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>

**Fig. 26** - Pieza impresa usando la tecnología FDM. Recuperado de: <http://www.lupeon.com/impresion-3d/tecnologias-de-impresion/deposicion-de-material-fundido>

**Fig. 27** - Esquema de funcionamiento de una impresora 3D LOM Recuperado de: <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>

**Fig. 28** - Router CNC de 3 ejes. Recuperado de: <http://digitalmedia.architecture.yale.edu/fabricationlabs/medium-cnc-mill>

**Fig. 29** - Router CNC de 5 ejes. Recuperado de: <http://www.axial.com.ar/>

**Fig. 32**- Fab lab Barcelona. Recuperado de: <http://blog.i-mas.com/4331/fab-lab-la-tecnologia-al-servicio-del-ciudadano/>

**Fig. 33** - Lámpara fabricada usando el método constructivo de seccionamiento. Recuperado de: [http://www.artesanum.com/artesania-lampara\\_de\\_pie\\_minimalista\\_en\\_madera\\_natural\\_e\\_ideal\\_como\\_luz\\_de\\_ambiente-340636.html?indice=2](http://www.artesanum.com/artesania-lampara_de_pie_minimalista_en_madera_natural_e_ideal_como_luz_de_ambiente-340636.html?indice=2)

**Fig. 34,35 y 36**- Vistas del pabellón "Vaulted Cork". Fotos realizadas por Joao Morgado. Recuperado de: <http://www.archdaily.com/455127/vaulted-cork-pavillion-pedro-de-azambuja-varela-maria-joao-de-oliveira-emmanuel-novo>

**Fig. 37,38,39 y 40**- Vistas de "Artificial Topology". Fotos realizadas por Masahiro Hoshida. Recuperado de: [http://www.fads-design.jp/others/architect\\_03/detail.html](http://www.fads-design.jp/others/architect_03/detail.html)

**Fig. 41 y 42**- Vistas de la mesa "Sectionimal". Recuperado de: [http://www.dezeen.com/2009/12/16/the-sectionimal-by-gt\\_2p/](http://www.dezeen.com/2009/12/16/the-sectionimal-by-gt_2p/)

**Fig. 43**- Fotografías de "Cave of books". Recuperadas de: <http://blog.bellostes.com/?p=21179>

**Fig. 44**- Metropol Parasol en la Plaza de la Encarnación de Sevilla. Realizado por el arquitecto Jürgen Mayer con la colaboración de Arup. Recuperado de: <http://divisare.com/projects/166459-J-MAYER-H-Architects-Arup-Metropol-Parasol>



# REFERENCIAS IMÁGENES

**Fig. 45-** Serpentine Gallery Pavillion 2005, por Alvaro Siza y Eduardo Souto de Moura, situado en los Kensington Gardens, Londres, donde cada año se construye un pabellón diseñado por reconocidos arquitectos. Recuperado de: [http://www.artofthestate.co.uk/london\\_photos/Serpentine\\_Gallery\\_pavillion\\_2005\\_interior.htm](http://www.artofthestate.co.uk/london_photos/Serpentine_Gallery_pavillion_2005_interior.htm)

**Fig. 46-** Teselación 104 de Escher. Recuperado de: <https://www.pinterest.com/pin/317714948685013664/>

**Fig. 47 y 48-** Teselaciones regulares y semirregulares. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Teselado>

**Fig. 49-** Teselación no regular. Recuperado de: <http://traselastrodeecher.blogspot.com.es/>

**Fig. 50, 51 y 52-** “ArboSkin - fachada de bioplástico” desarrollado por el Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) de la Universidad de Stuttgart - Alemania (2013). Recuperado de: <http://www.dezeen.com/2013/11/09/arboskin-spi-ky-pavilion-with-facademade-from-bioplastics-by-itke/>

**Fig. 53 y 54-** Temporary bionic research pavilion (Stuttgart university) Stuttgart – Germany (2011). Proyecto, Institute for Computational Design (ICD) and the Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE). Fotografías, ICD/ITKE Universität Stuttgart. Recuperado de: <http://www.rat-lab.org/#!cellular-morphology-facade/ctof>

**Fig. 55-** “Cellular Morphology Facade”, Prototipo diseñado por Sushant Verma y ensamblado por Apoorva Soni, Mohan Nath, Anand Gawali, Abhishek Singh, Swati Gautam. Recuperado de: <http://www.rat-lab.org/#!cellular-morphology-facade/ctof>

**Fig. 56-** “Translated Geometry”, Proyecto de Ece Tankal, Efilena Baseta and Ramin Shambayati, en el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña. Recuperado de: <http://www.archdaily.com/546834/iaac-students-develop-material-system-with-responsive-structural-joints>

**Fig. 57-** “Folded Shell Structure” (Estructura-cáscara plegada) diseñada por Liane Ee. Recuperado de: <https://dfabnus.wordpress.com/2012/04/25/folded-shell-structure-by-liane-ee/>

**Fig. 58-** “Rigid Fold Gallery” Imágenes de Tomohiro Tachi. Recuperadas de: <http://www.grasshopper3d.com/profile/TomohiroTa>

**Fig. 59-** “Rigid Origami Structures with Vacuumatics” Imágenes de Tomohiro Tachi. Recuperadas de: <http://www.tsg.ne.jp/TT/cg/VacuumaticOrigamiIASS2012.pdf> chi

**Fig. 60,61-** “Cardboard Banquet”. Proyecto de la Universidad de Cambridge. Recuperado de: <http://www.pleatfarm.com/2009/11/09/cardboard-banquet-cambridge-university/>

**Fig. 62-** Imágenes de “Urban beach”, proyecto creado por Emergent y Tom Wiscombe en 2003, para el Moma de Nueva York. Recuperadas de: <http://divisare.com/projects/17415-Emergent-Tom-Wiscombe-Moma-P-s-1-Urban-Beach>

**Fig. 63-** Colección de mesas “Mercuric” diseñadas por la arquitecta Zaha Hadid para el salón del mueble 2013 en Milán. Recuperadas de: <http://www.designboom.com/architecture/zaha-hadid-marble-tables-for-citco-at-salone-del-mobile-2013/>

**Fig. 64,65 -** La Voûte de LeFevre, experimental pavilion (Banvard Gallery: Knowlton School of Architecture) Columbus Ohio – United States (2012). Arquitectura, Brandon Clifford + Wes McGe. Recuperado de: <http://blog.bellostes.com/?p=25220>

**Fig. 66, 67-** The Amazing Whale Jaw, por el estudio NIO, en Hoofddorp, Rotterdam, Holanda (2013). Recuperado de: <http://www.nio.nl/wordpress/all-projects/the-amazing-whale-jaw/>

**Fig. 68-** COCOON-FS pavilion (Frank Stella exhibition) Jena – Germany (2011). Arquitectura, Julia and Göran Pohl “Pohl Architekten”. Fotografías, pohlarchitekten.de. Recuperado de: <http://blog.bellostes.com/?p=19333>

**Fig. 69-** Aero Pavilion (2011). Diseñado por Jonas Nielsen, David Thomsen, Mads Skak, Henrik Jacobsen, Phillip Klausen, Laura Bogstad. Recuperado de: <http://www.archdaily.com/134992/aero-pavilion-department-for-architecture-design-and-media-technology>

**Fig. 70, 71-** SelfSupportingFramework” pavilion (Kassel University), Kassel –Alemania (2010). Diseño, Mischa Proll y Andreas Günther, Universität Kassel Fachbereich Architektur. Imágenes recuperadas de: <http://www.architonic.com/ntsht/cnc-carpen-try-the-selfsupportingframework-/7000526>

# REFERENCIAS IMÁGENES

**Fig. 72-** Pabellón Dragon Skin, (Material Design & Digital Fabrication Workshop en Tampere, Finlandia Instalación temporal para la Tampere Architectural Week 2011). Diseñada por Emmi Keskisarja, Pekka Tynkkynen con Kristof Crolla y Sebastien Delagrangre. Imágenes recuperadas de: <http://dragonskinproject.com/>

**Fig. 73, 74 y 75 -** Imágenes de la marca Nomad obtenidas de su página web oficial: [www.nomadskateboards.com](http://www.nomadskateboards.com)

**Fig. 76 -** Stand modular predecorado ofrecido por la feria de valencia. Imagen obtenida de <http://expomajor.feriavalencia.com/stand-predecorado/>

**Fig. 77-** Stand personalizado ganador del Premio de Diseño Smagua 2010, diseñador por Sserri. Imagen de <http://www.nstand.com/tips/sserri-i-premio-de-diseno-smagua-2010/>

**Fig. 78-** Proceso de construcción de los stands en una feria. Imágenes recuperadas de:  
<http://sanzespaciocreativo.com/2012/11/como-se-disena-un-stand-capitulo-9-el-desmontaje/como-se-disena-un-stand-capitulo-9-el-desmontaje/>  
<http://www.enviz.co.uk/2009-apprenticeship-program/>

**Fig. 79-** Tableros de contrachapado. Imágenes de: <https://tecnokent.wordpress.com/2012/02/22/389/>

**Fig. 80-** Tableros laminados. Imágenes de: <http://www.dekinsa.es/cgi-vel/dekinsa/index.pro>

**Fig. 81-** Tableros aglomerados. Imágenes de: <http://www.tafisub.com/tablero-impreso.html>

**Fig. 82-** Tableros de densidad media. Imágenes de: <http://www.nationalplyservices.com/medium-density-fibreboard-mdf/>

**Fig. 83-** Acabados en chapa de madera (superior), lacado (en medio), y melaminados (inferior). Imágenes de: <http://madereriel-pino.com.mx/aglomerados.html>

**Fig. 84-** Render de un stand diseñado por Comunicación&Diseño para GPTech <http://www.comunicacionydiseno.es/expertos-en-diseno-fabricacion-y-montaje-de-stands-de-diseno/stand-de-diseno-gptech-intersolar-eeuu-usa/>

**Fig.85 y 86 -** Imágenes de stands diseñados por Contemporanea Eveneti. Imágenes de: <http://www.contemporaneaeventi.com/>

**Fig. 87-** Toyota "The Wave" global stand, hecho por Déri Design. Imágenes obtenidas de: <http://retaildesignblog.net/2013/05/22/toyota-the-wave-global-stand-by-deri-design-geneva/>

**Fig. 89-** Imágenes del exterior e interior del stand para Blackfin. Imágenes de: <http://retaildesignblog.net/2015/03/18/blackfin-stand-the-black-shard-by-anidridedesign-at-mido-2015-milano-italy/>

**Fig. 89-** Imágenes del exterior e interior del stand de Cerro Verde. Obtenidas de: <http://retaildesignblog.net/2013/12/03/cerro-verde-stand-by-mid-arquitectos-la-trastienda-fabrica-de-diseno-arequipa-peru>

**Fig. 90-** Estructura iluminada del stand para MIDO. Imagen sacada de: <http://www.frameweb.com/news/mido-fair-stand>

**Fig. 91-** Imágenes del stand para Toyota en la feria ArteBA 2008. Obtenidas de: [http://www.arquimaster.com.ar/diseno/nota\\_stand\\_artek.htm](http://www.arquimaster.com.ar/diseno/nota_stand_artek.htm)

**Fig. 92-** Interior del espacio expositivo para Baerlocher. Imágenes de: <http://www.contemporist.com/2013/12/05/molecule-trade-fair-stand-by-wroom/>

**Fig. 93-** Stand de O'Neill para la ISPO de Munich diseñado por el estudio Hysos. Imágenes de: <http://www.hysos.com/de-de/cases/messedesign-bau/oneill-auf-ispo-muenchen.aspx>

**Fig. 94-** Espacio expositivo de Vans. Imágenes de: <http://greenroomretail.co.uk/projects/vans-exhibition-stand>

**Fig. 95-** Sala de muestras de DC Shoes.

**Fig. 96-** Espacio expositivo de Rip Curl. Imágenes de: [http://www.mission.fr/fr/stand/rip-curl-stand-ispo-munich\\_25.html](http://www.mission.fr/fr/stand/rip-curl-stand-ispo-munich_25.html)

**Fig. 97-** Foto de la trayectoria de una tabla. Imagen de Buzzy Sullivan, extraída de: <http://lenscratch.com/2010/09/buzzy-sullivan/>

# REFERENCIAS IMÁGENES

---

**Fig. 98-** Imágenes de un skatepart. Obtenidas de: [http://www.parracity.nsw.gov.au/play/sports\\_and\\_recreation/skate-parks](http://www.parracity.nsw.gov.au/play/sports_and_recreation/skate-parks)

**Fig. 99-** Imágenes de un loop y una mini-ramp. Imagen de: <http://californiaskateparks.com/2006/12/the-skylit-bowl-at-west-side-skatepark-is-complete/>

**Fig. 132-** Características de raíles y focos extraídas del catálogo. Catálogo sacado de : <http://www.erco.com/products/indoor/track-system/erco-track-104/es/>

**Fig. 136-** Tabla extraída del trabajo de posgrado de “Caracterización mecánica en flexión estática de madera reconstituida. Tableros aglomerados, contrachapados y enlistonados. Por Javier Ramón y Mariana Ramírez. Abril de 2015” <http://www.investigacioningenieriadelamadera.umich.mx/index.php/madera/article/download/2/2>.

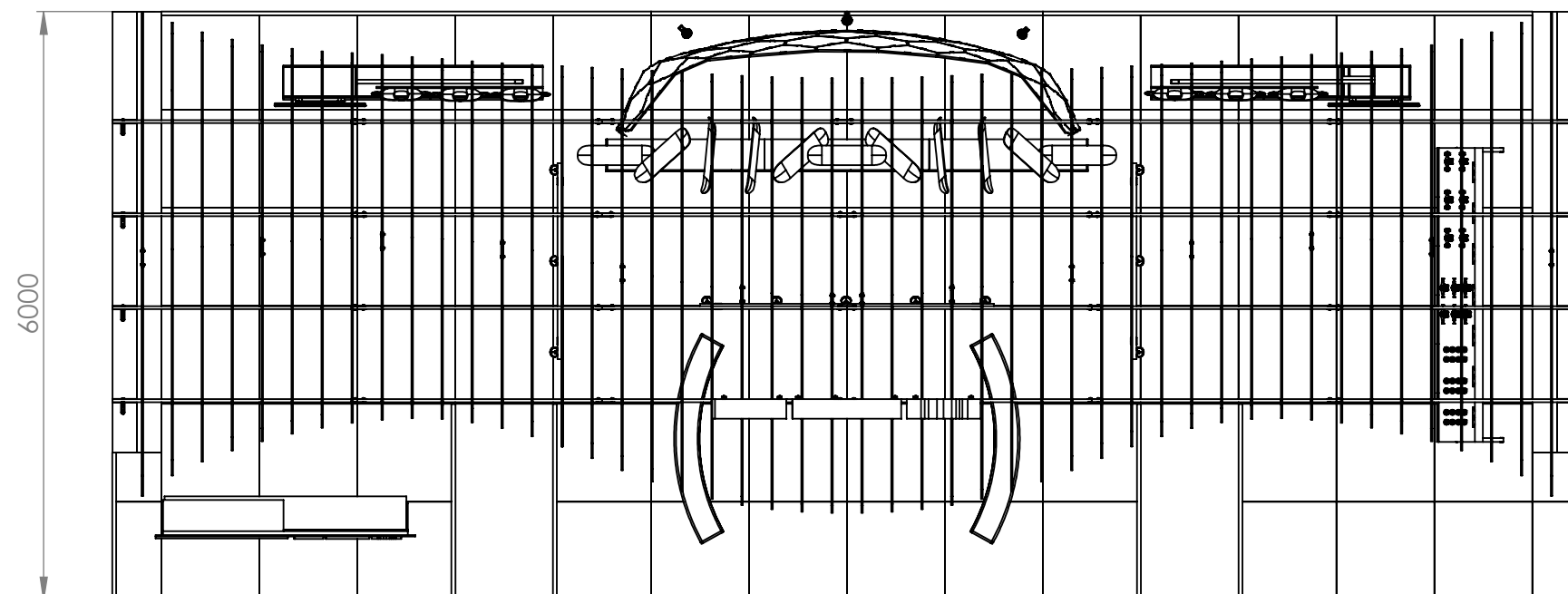
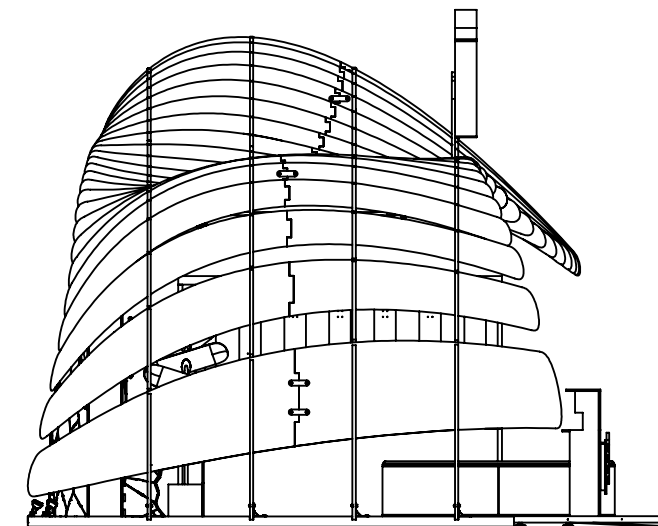
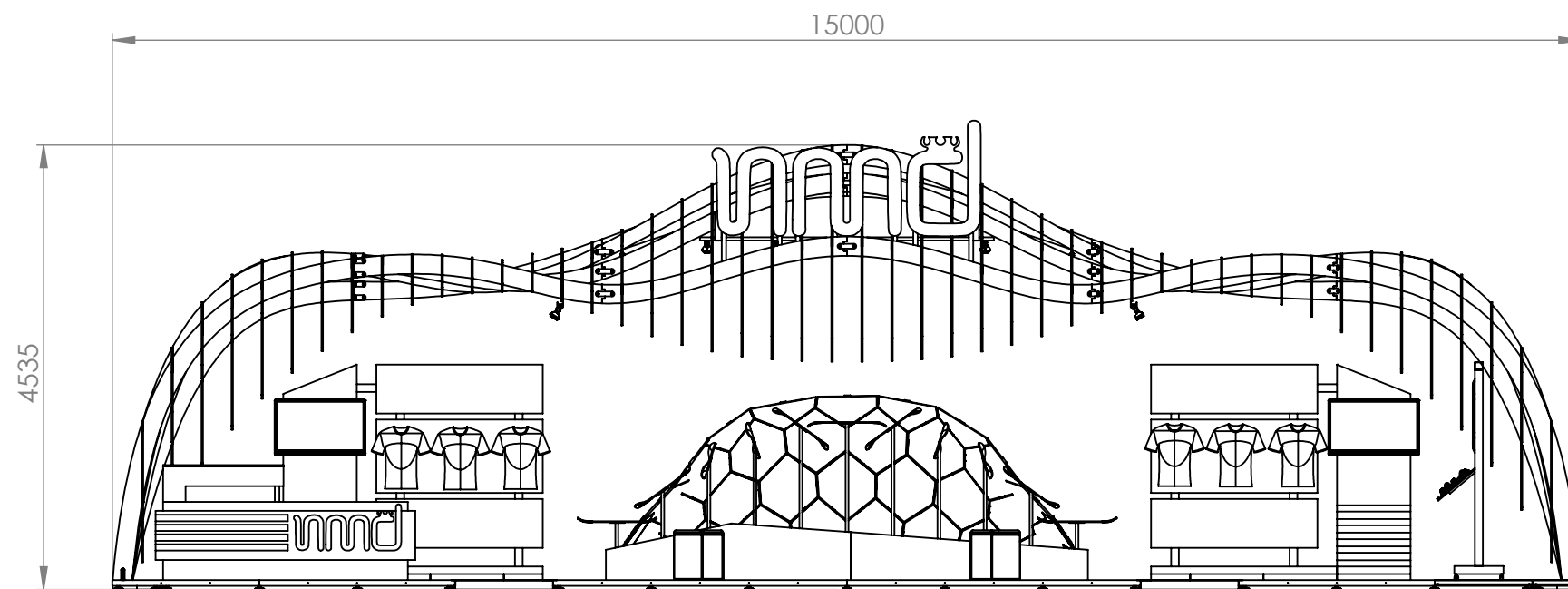
**Fig. 137-** Tablas con las características de la madera de pino americano. La tabla está extraída de: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=1bec7114d2524b63826044c3cc6c344c&ckck=1>

**Fig. 154.** - Imágenes del catálogo de OCTANORM. Catálogo sacado de <http://www.octanorm.es/home2.aspx>




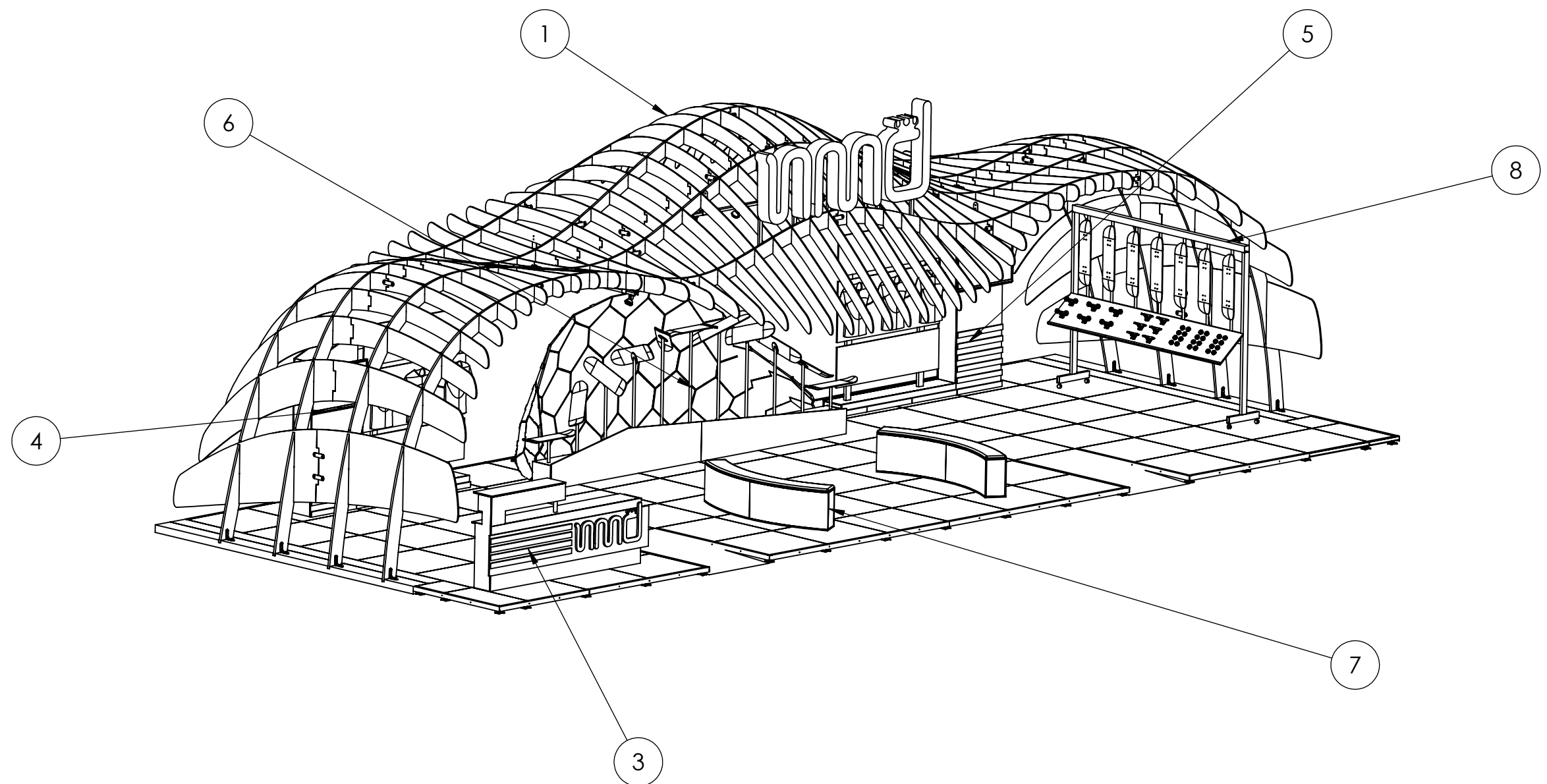
# COMPONENTES GRASSHOPPER

---




**Edición de estudiante de SolidWorks.  
Sólo para uso académico.**

 <b>Universidad Zaragoza</b>				TÍTULO: Dimensiones generales		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL:	CONJUNTO	A3
DIBUJ.	J. Viamonte		25-10-2015		Stand Nomad	
VERIF.				PESO:	ESCALA 1:70	HOJA 1 DE 1

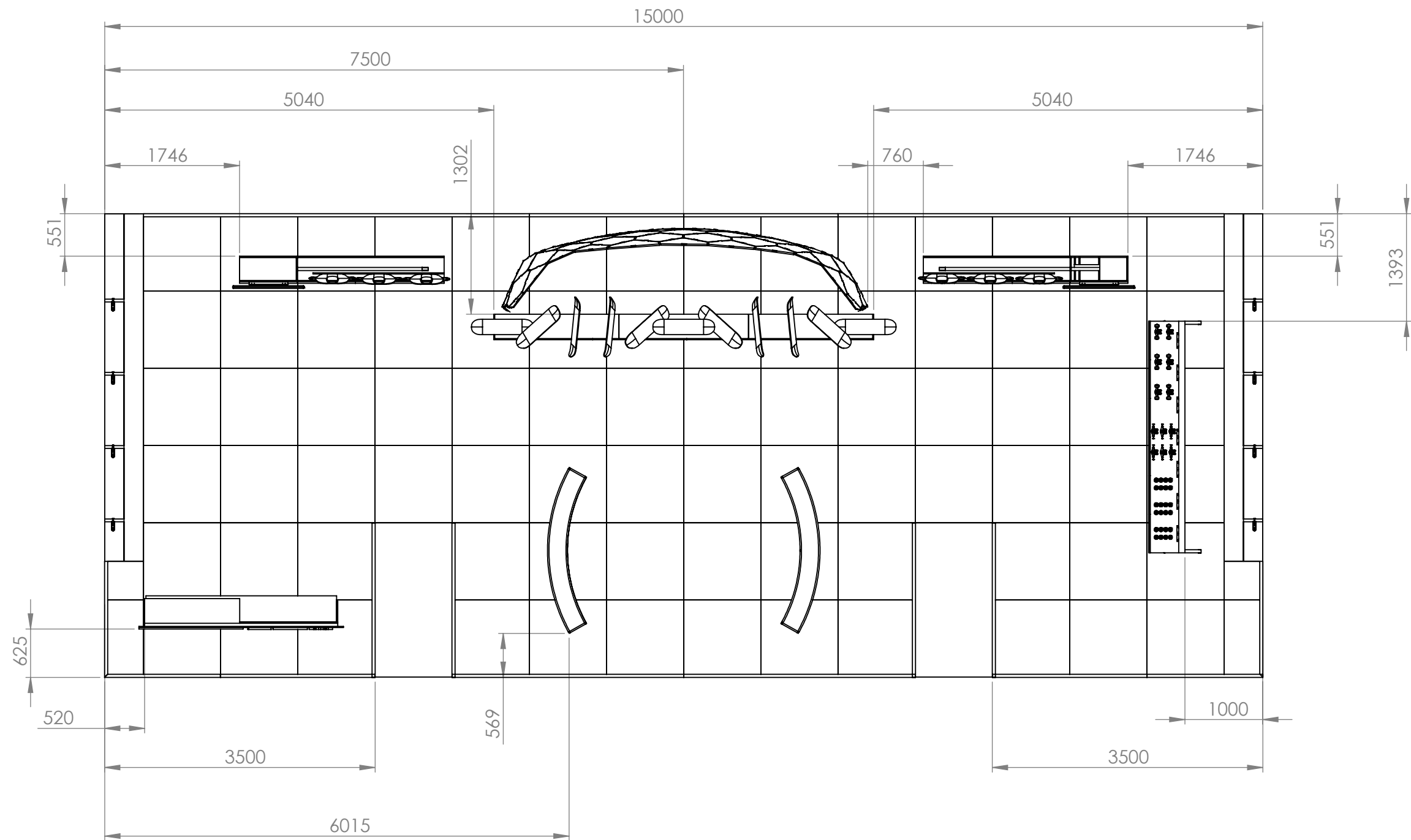


8	1	Mueble lateral	
7	1	Banco curvo	
6	1	Exposición central	
5	1	Mueble televisión derecho	
4	1	Mueble televisión izquierdo	
3	1	Mostrador	
2	1	Tarima flotante	
1	1	Estructura stand	
N	Cantidad	Designación	Material


Edición de estudiante de SolidWorks.  
Sólo para uso académico.

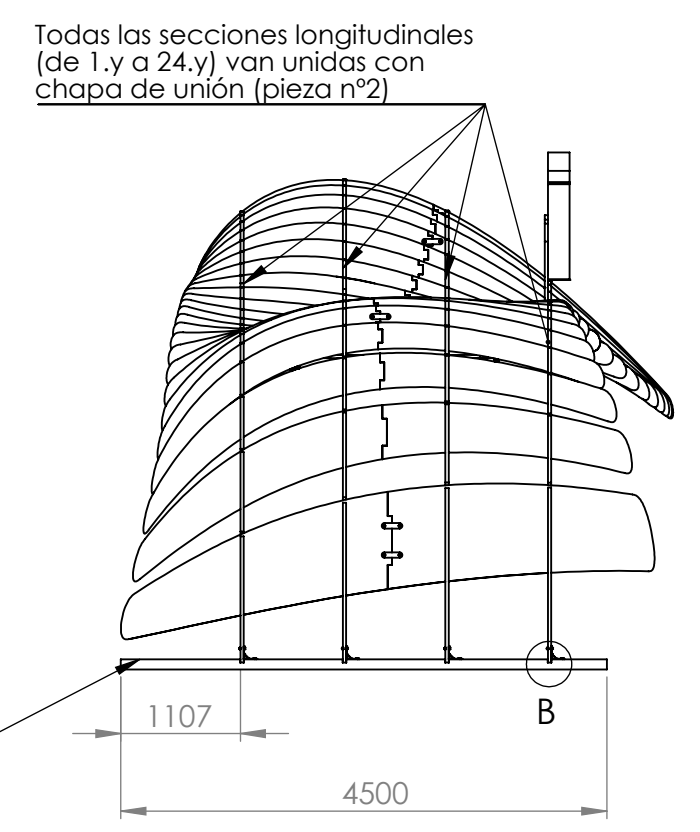
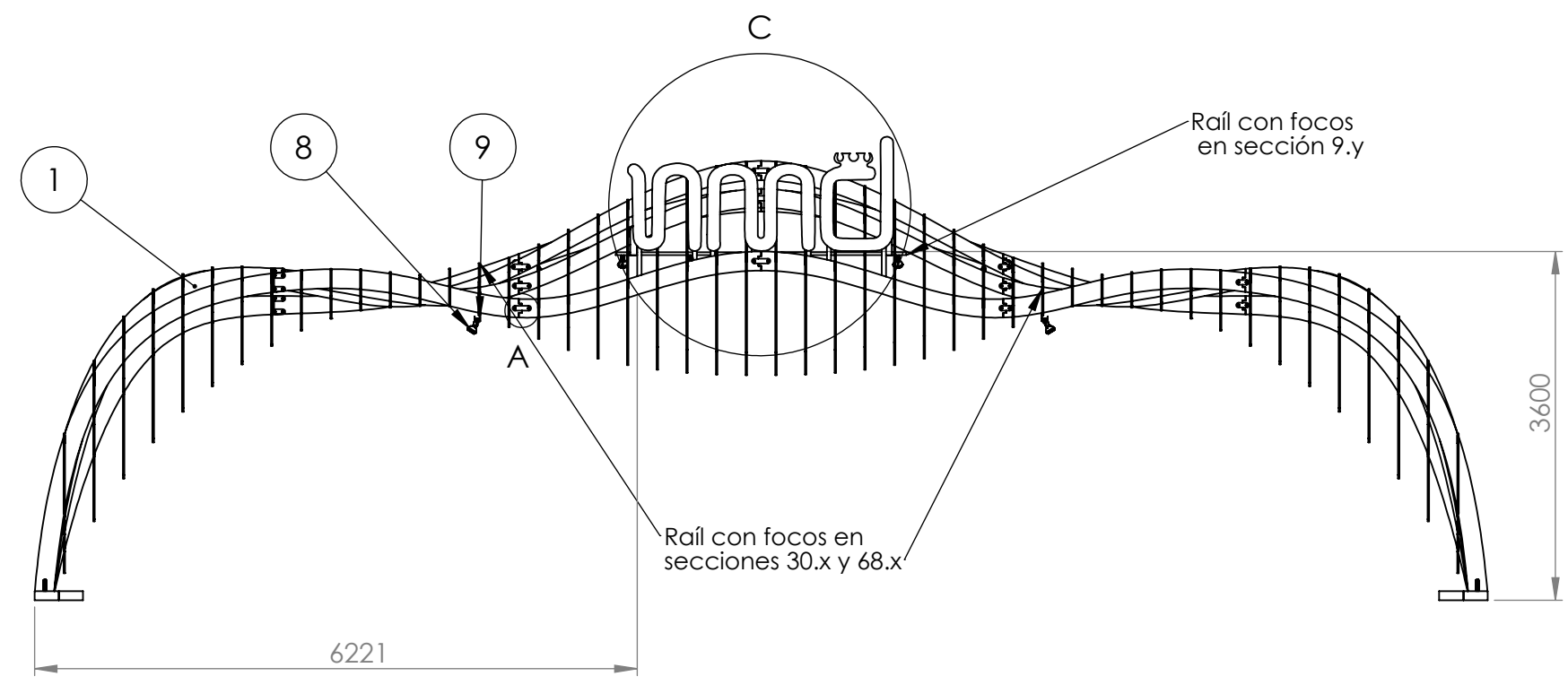
 <b>Universidad Zaragoza</b>				TÍTULO: Sub-conjuntos			
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL:	CONJUNTO	Stand Nomad	
DIBUJ.	J. Viamonte		25-10-2015			A3	
VERIF.				PESO:	ESCALA 1:60	HOJA 1 DE 1	





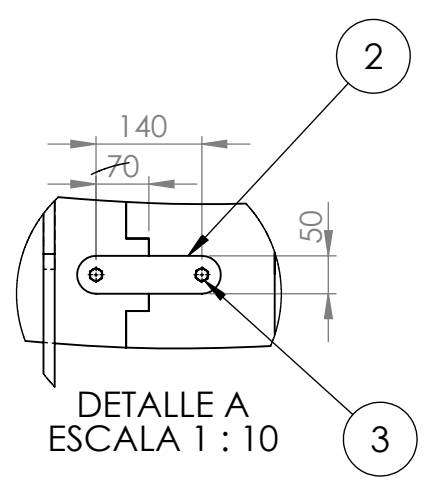
**Edición de estudiante de SolidWorks.  
Sólo para uso académico.**

 <b>Universidad Zaragoza</b>				TÍTULO: Distribución en planta			
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL:	CONJUNTO	Stand Nomad	
DIBUJ.	J. Viamonte		25-10-2015			A3	
VERIF.				PESO:	ESCALA: 1:60	HOJA 1 DE 1	

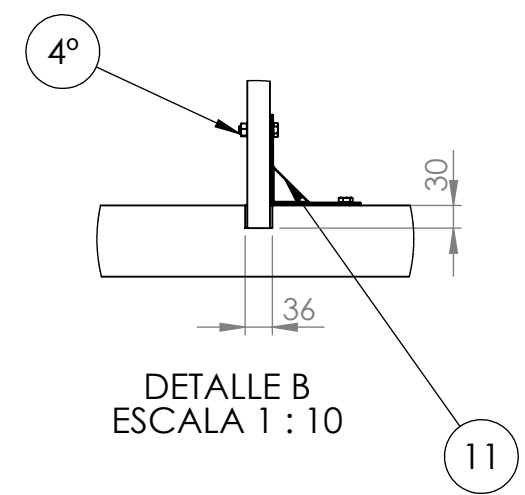


Todas las secciones longitudinales (de 1.y a 24.y) van unidas con chapa de unión (pieza nº2)

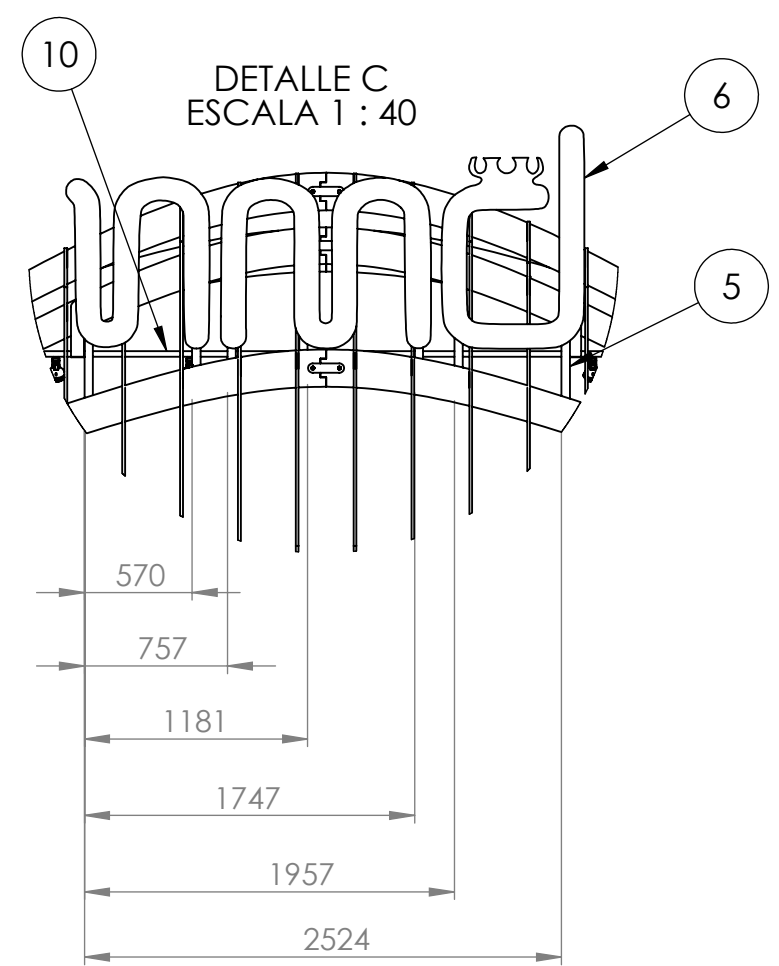
De las secciones transversales, solo se unen con chapa de sujeción una de cada 4.



DETALLE A  
ESCALA 1 : 10




DETALLE B  
ESCALA 1 : 10



DETALLE C  
ESCALA 1 : 40

12	4	Viga de madera 250x94x4500	
11	8	Escuadra ángulo 90° acero	
10	2	Raíl electrificado ERCO 3000mm	78303.000
9	1	Raíl electrificado ERCO 2000mm	78302.000
8	11	Foco "Parscan Proyector" ERCO	71604.00
7	26	ISO 4014 - M8 x 40 x 22-N	
6	1	Logo	Metacrilato y DM
5	7	Barra sujeción logo	Acero
4	88	Hexagon Nut ISO - 4032 - M10 - W - N	
3	96	ISO 4017 - M10 x 45-N	
2	80	Chapa unión secciones	Chapa de acero comercial
1	1	Secciones estructura (4 longitud., 48 transvers.)	Contrachapado con acabado
N	Cantidad	Designación	Material



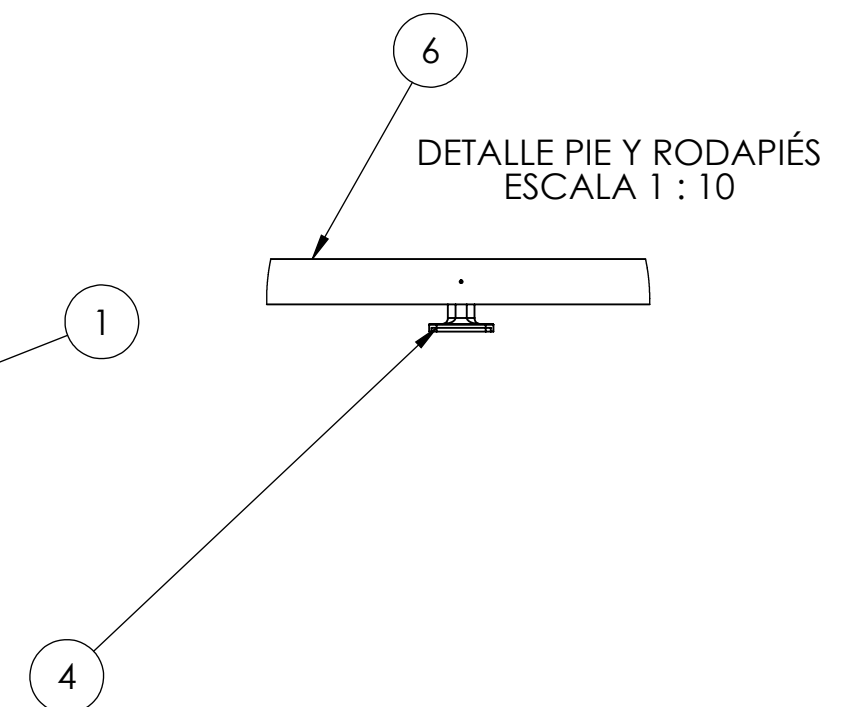
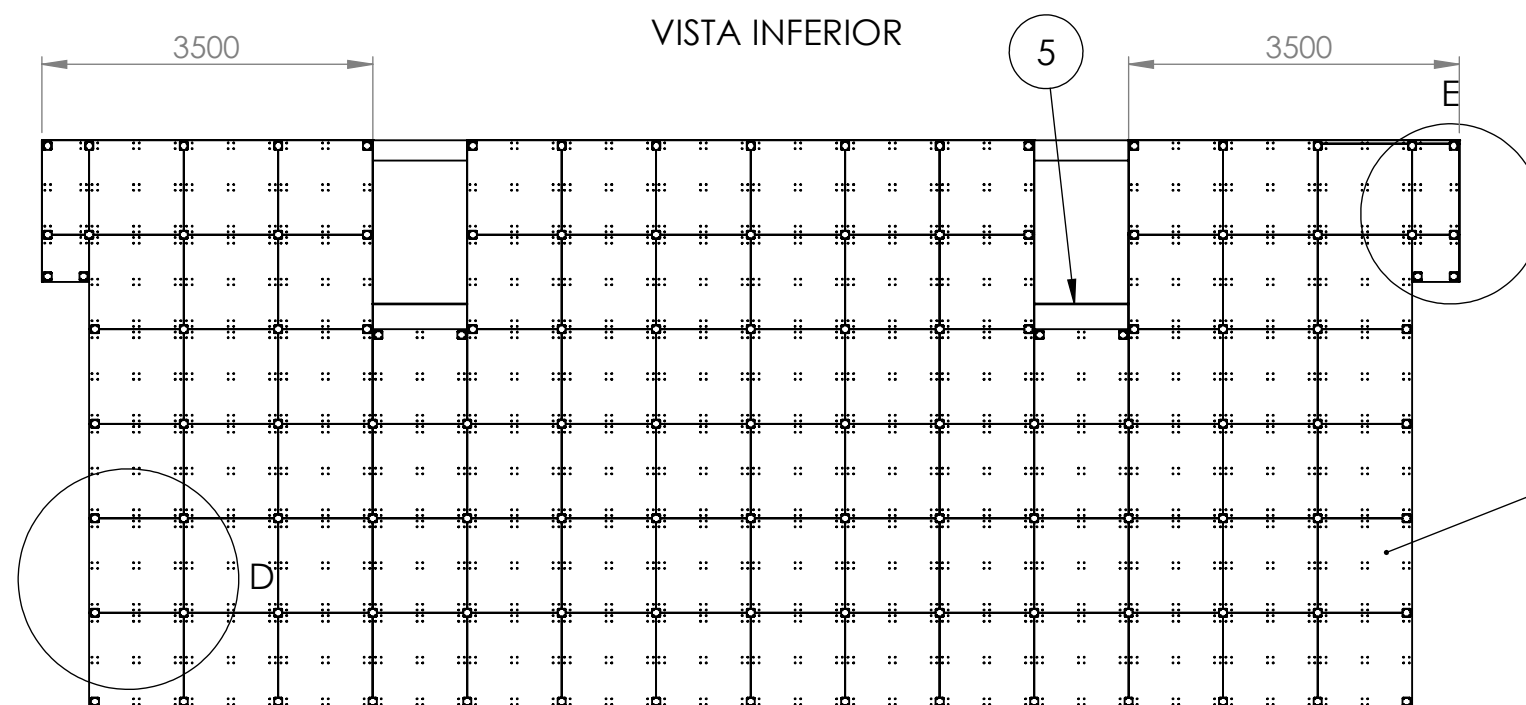
Universidad  
Zaragoza

TÍTULO:  

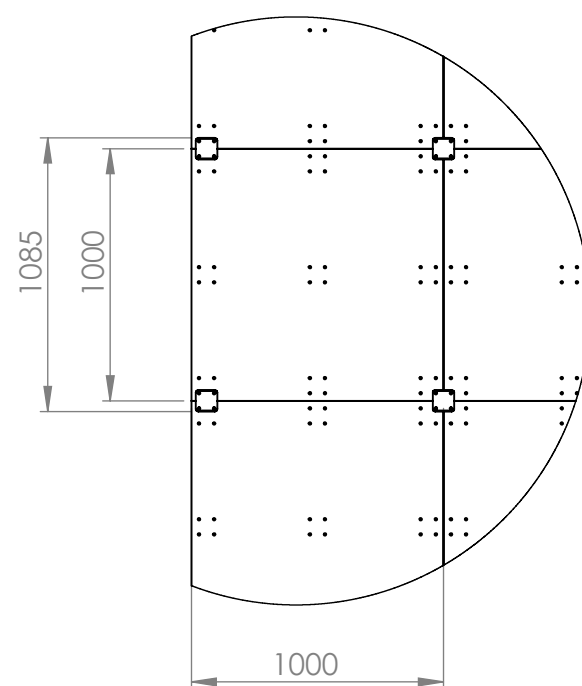
# Estructura stand

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL:	CONJUNTO	Stand Nomad	A3
DIBUJ.	J. Viamonte		25-10-2015				
VERIF.				PESO:	ESCALA: 1:70	HOJA 1 DE 1	

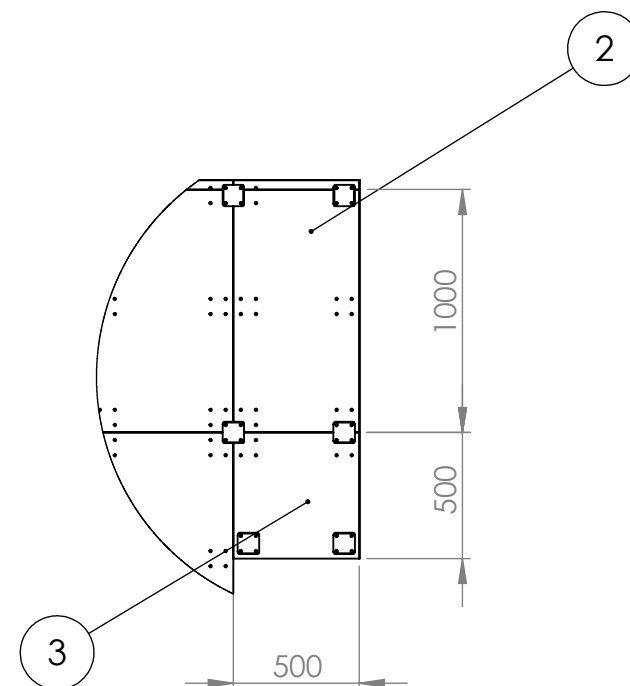
Edición de estudiante de SolidWorks.  
Sólo para uso académico.



DETALLE D  
ESCALA 1 : 30



DETALLE E  
ESCALA 1 : 30



6	16	Rodapiés S0500	
5	2	Rampa 1000x2000x100	
4	117	Pie de la tarima HS1SP	
3	2	Tarima flotante 0,5x0,5m	
2	2	Tarima flotante 1x0,5m	
1	80	Tarima flotante 1x1m	
N	Cantidad	Designación	Material



Universidad  
Zaragoza

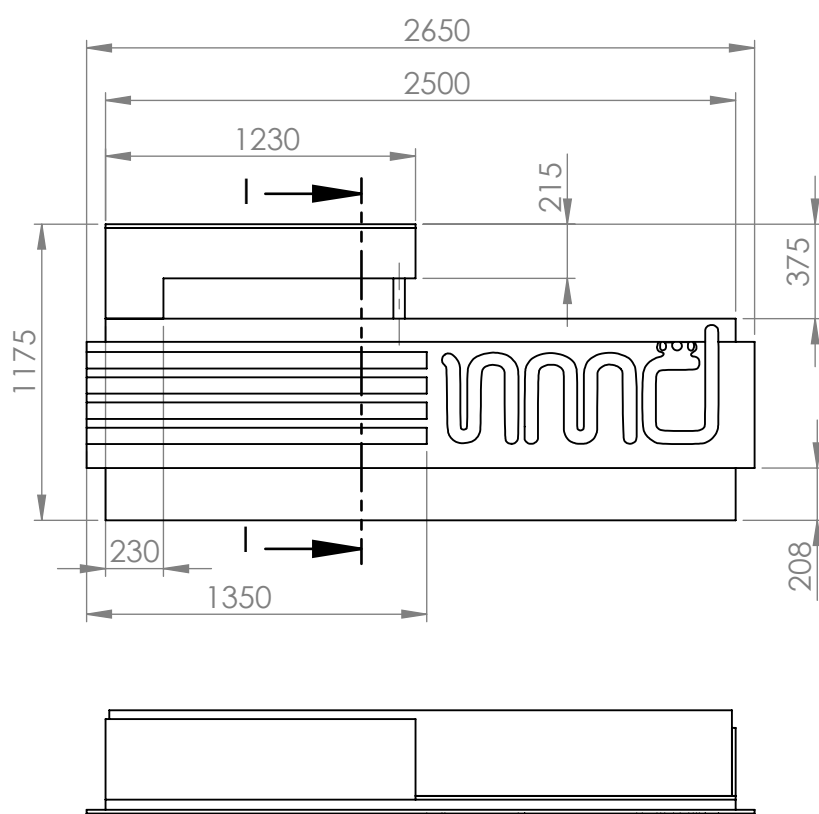
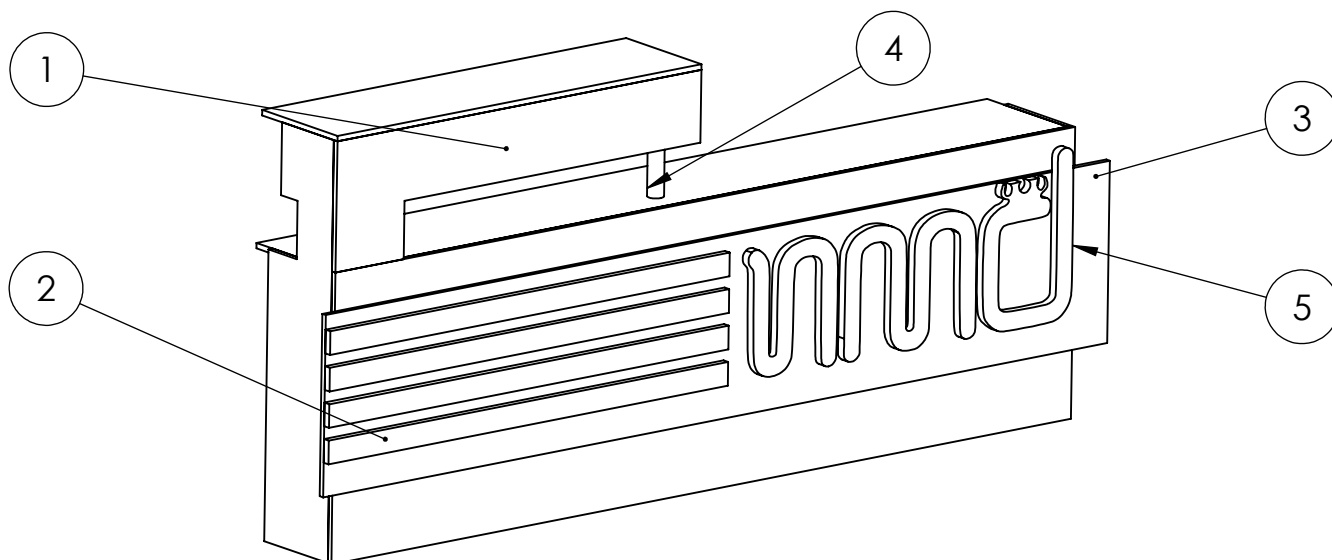
TÍTULO:

Tarima flotante

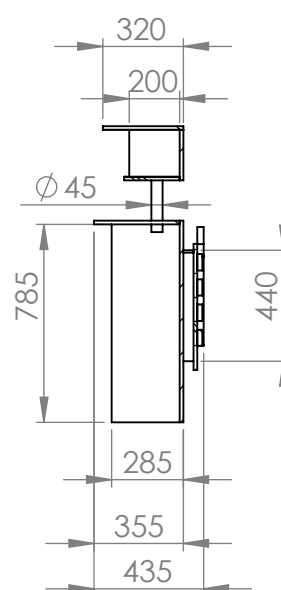
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL:	CONJUNTO	Stand Nomad	A3
DIBUJ.	J. Viamonte		25-10-2015				
VERIF.				PESO:	ESCALA:1:80	HOJA 1 DE 1	

**Edición de estudiante de SolidWorks.  
Sólo para uso académico.**





SECCIÓN I-I  
ESCALA 1 : 30



Tableros de espesor 15mm

5	1	Logo pequeño	Melamina y DM
4	1	Tubo $\varnothing 45$	Acero
3	5	Tableros aglomerados melamina Fresno	
2	4	Tableros aglomerados melamina Nogal	
1	8	Tableros aglomerados melamina Gris	
N	Cantidad	Designación	Material



**Universidad**  
Zaragoza

TÍTULO: **Mostrador**

**Edición de estudiante de SolidWorks.**  
**Sólo para uso académico.**

CONJUNTO

**Stand Nomad**

A3

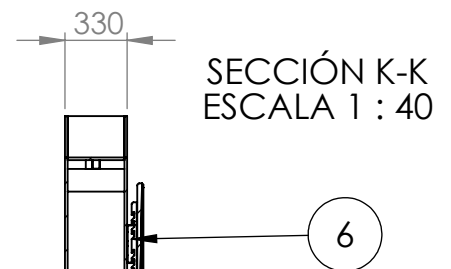
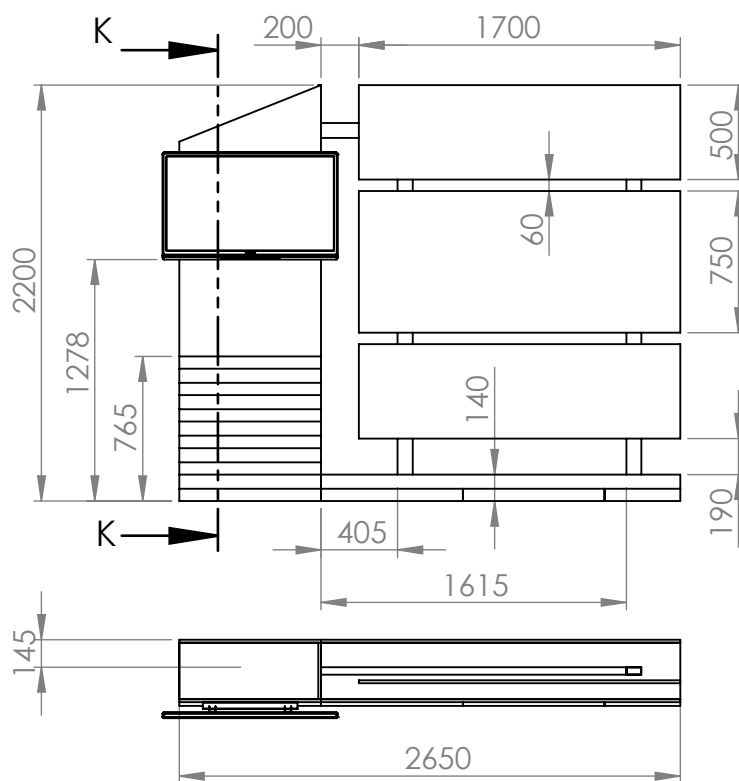
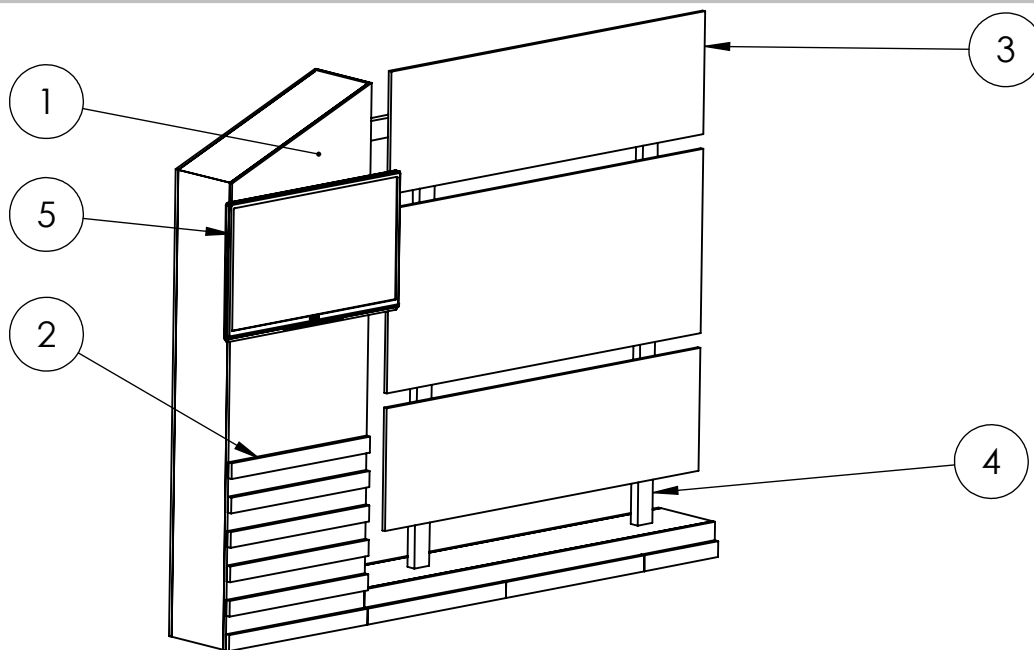
DIBUJ.

VERIF.

PESO:

ESCALA: 1:40

HOJA 1 DE 1



Tableros de 15mm de espesor

6	1	Soporte televisión pared	
5	1	Televisión Philips 42"	
4	3	Perfil metálico 40x80mm	Acero pintado
3	2	Tableros aglomerados desnudos	
2	10	Tableros aglomerados melamina Nogal	
1	12	Tableros aglomerados melamina Fresno	
N	Cantidad	Designación	Material



Universidad  
Zaragoza

TÍTULO:

Mueble televisión izquierdo

Edición de estudiante de SolidWorks.  
Sólo para uso académico.

CONJUNTO

Stand Nomad

A3

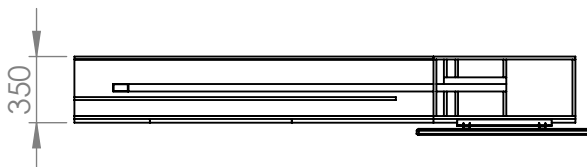
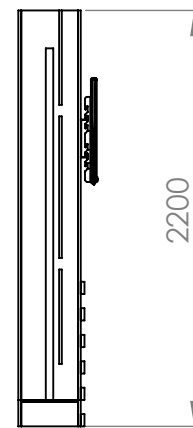
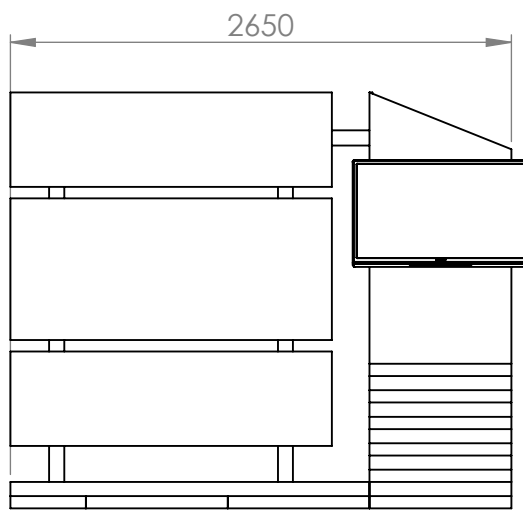
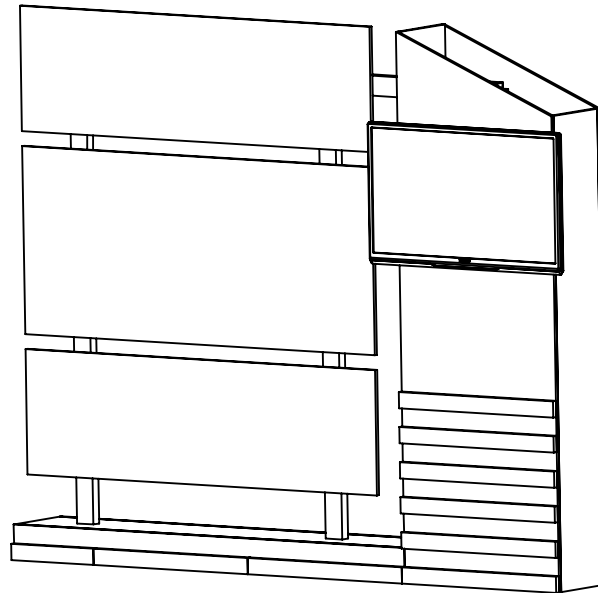
DIBUJ.

VERIF.

PESO:

ESCALA: 1:40

HOJA 1 DE 1



Piezas y materiales exactamente igual que en "Mueble Televisión Izquierdo"

Medidas simétricas

Tableros de 15mm

6	1	Soporte televisión pared	
5	1	Televisión Philips 42"	
4	3	Perfil metálico 40x80mm	Acero pintado
3	2	Tableros aglomerados desnudos	
2	10	Tableros aglomerados melamina Nogal	
1	12	Tableros aglomerados melamina Fresno	
N	Cantidad	Designación	Material



**Universidad**  
Zaragoza

TÍTULO:

Mueble televisión derecho

**Edición de estudiante de SolidWorks.**  
**Sólo para uso académico.**

CONJUNTO

Stand Nomad

A3

DIBUJ.

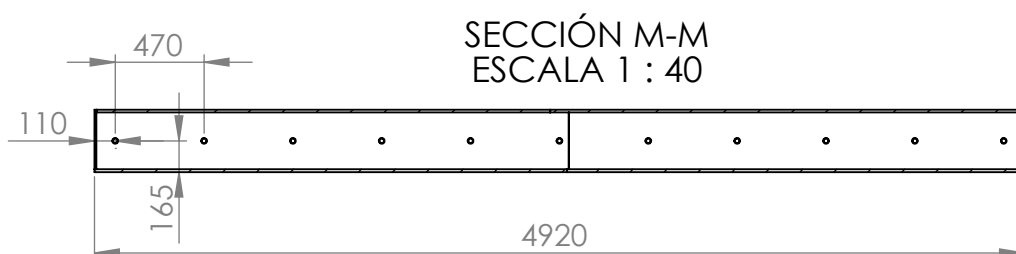
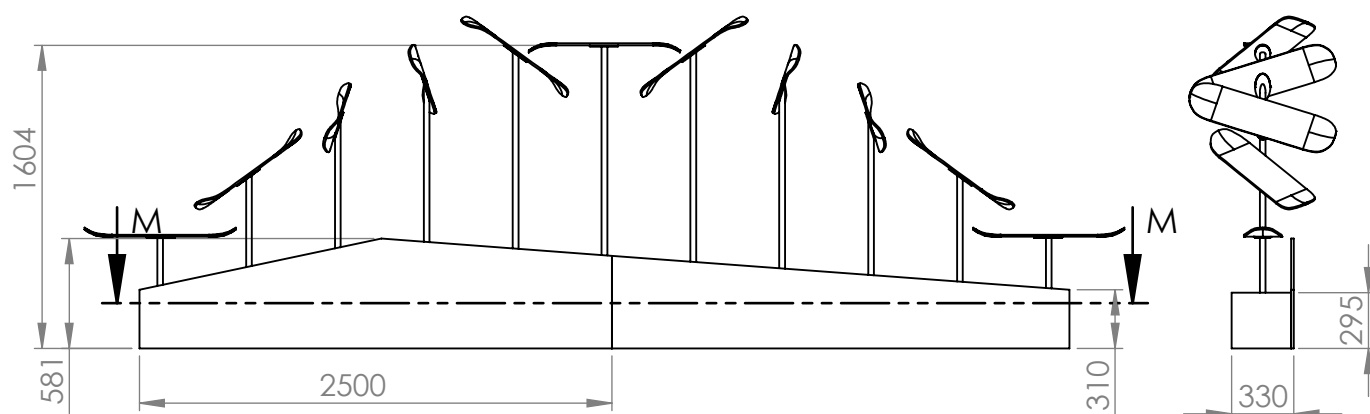
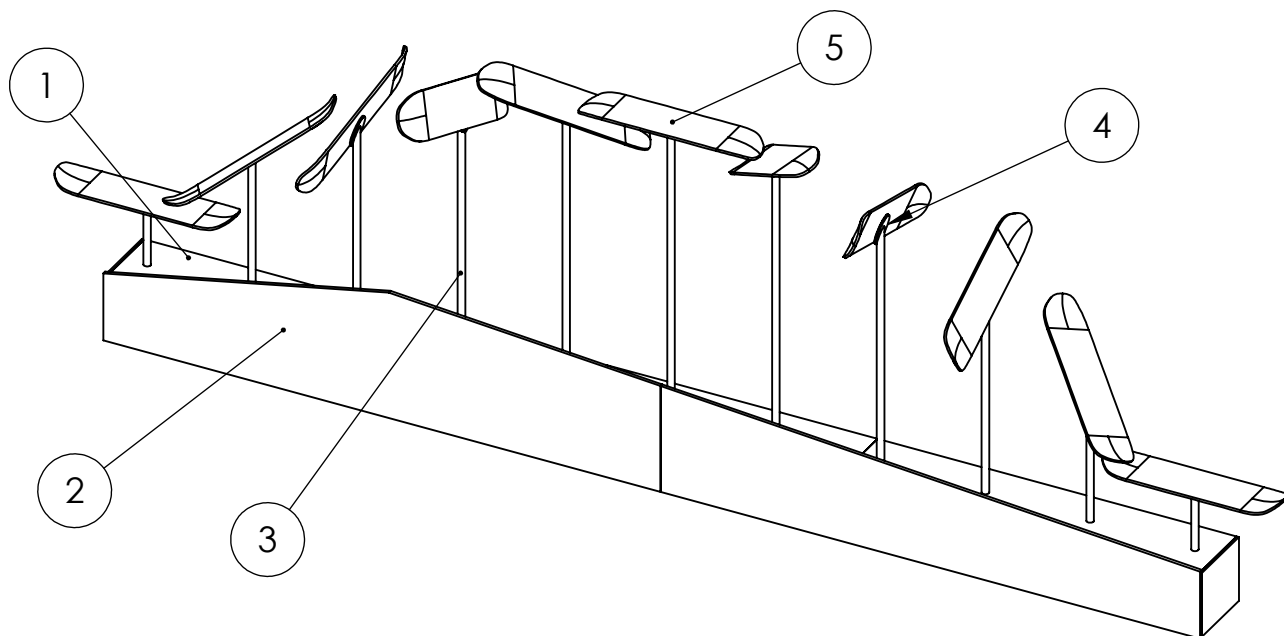
VERIF.

PESO:

ESCALA: 1:40

HOJA 1 DE 1





56	11	Tablas skate	
4	11	Chapas soldadas	Chapa acero
3	11	Tubos $\varnothing$ 30mm	Acero
2	4	Tableros aglomerados desnudos	
1	4	Tableros aglomerados melamina Gris	
N	Cantidad	Designación	Material



Universidad  
Zaragoza

TÍTULO:

Exposición central

Edición de estudiante de SolidWorks.  
Sólo para uso académico.

CONJUNTO

Stand Nomad

A3

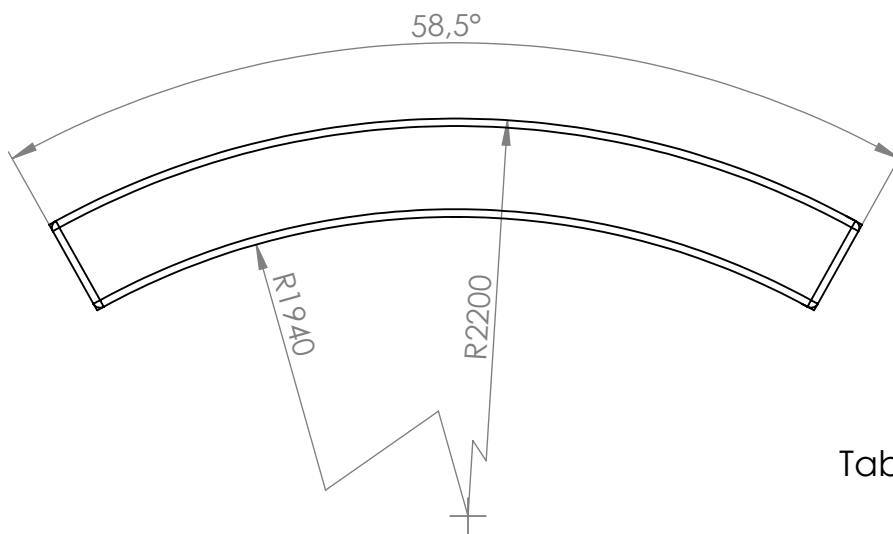
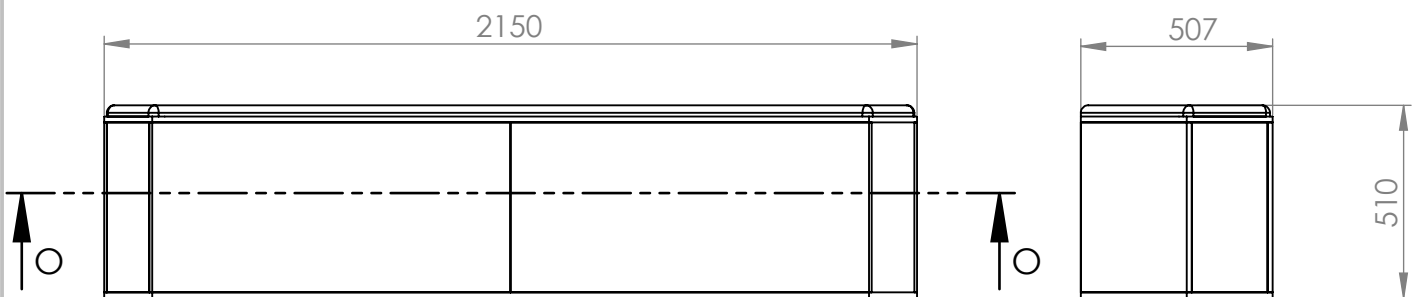
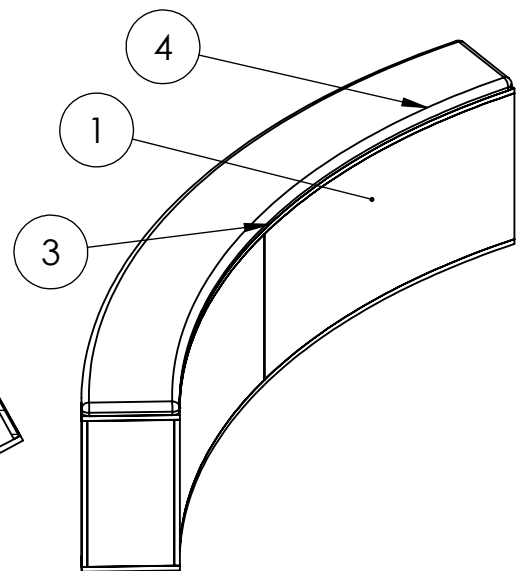
DIBUJ.

VERIF.

PESO:

ESCALA: 1:40

HOJA 1 DE 1



Tableros de 15mm de espesor

4	3	Cojines de cuero sintético	Acero
3	4	Zócalo de chapa	Chapa acero
2	5	Tableros aglomerados desnudos	
1	4	Tableros DM ranurados	
N	Cantidad	Designación	Material



Universidad  
Zaragoza

TÍTULO:

Banco curvo

Edición de estudiante de SolidWorks.  
Sólo para uso académico.

CONJUNTO

Stand Nomad

A3

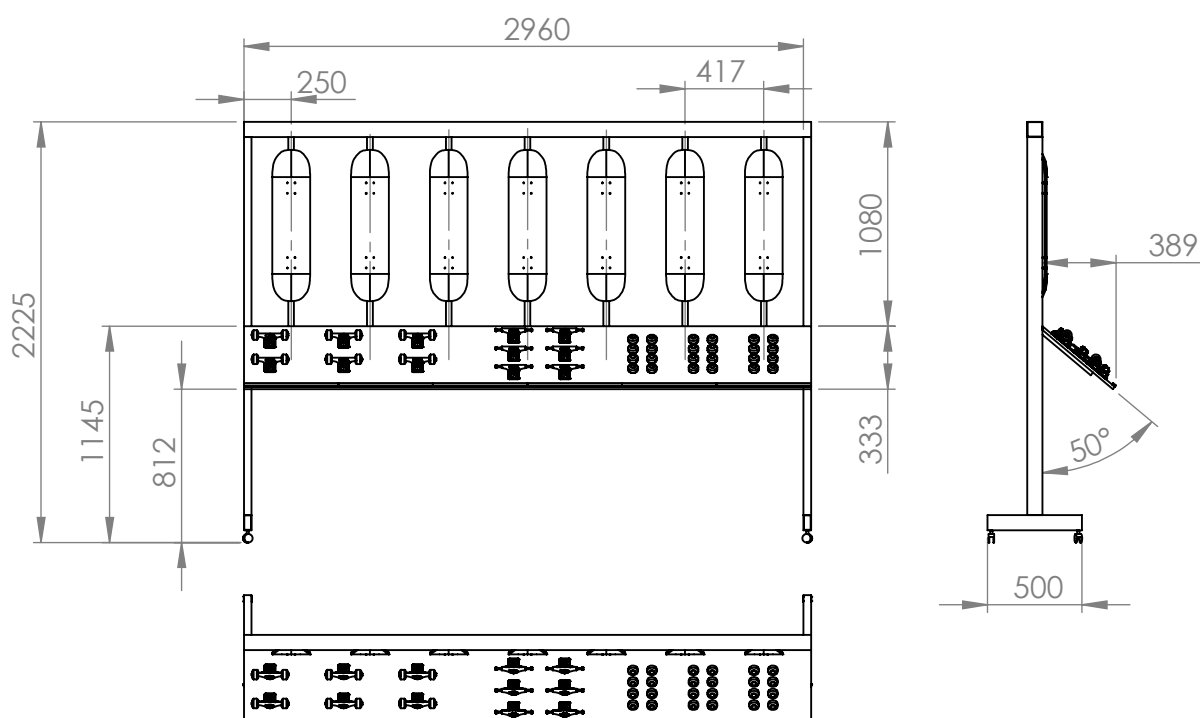
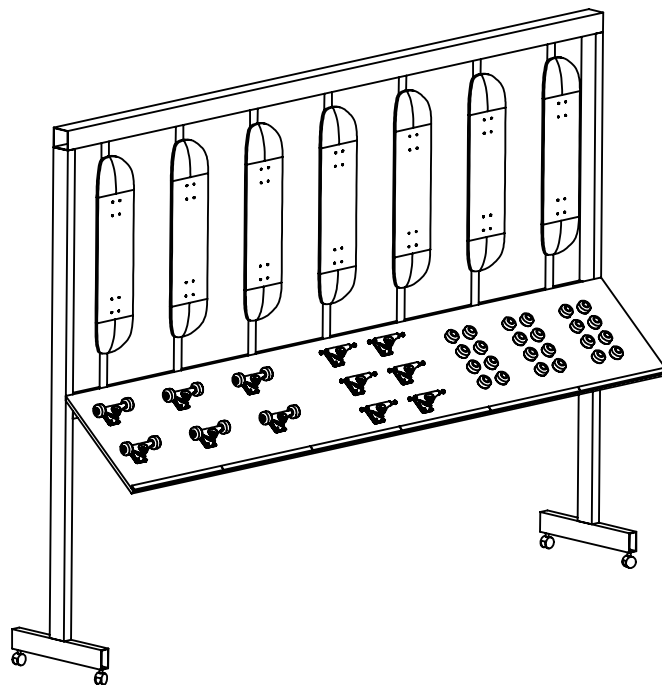
DIBUJ.

VERIF.

PESO:

ESCALA: 1:40

HOJA 1 DE 1



Tableros de 15mm de espesor

6	6	Listones 500mm	Madera pino
5	4	Ruedas giratorias	
4	3	Pernos sujeción	
3	7	Tubo de $\varnothing 30$ mm	Acero pulido
2	5	Perfil acero de 80x80mm	Acero pintado
1	4	Tableros aglomerados melamina Fresno	
N	Cantidad	Designación	Material



**Universidad**  
Zaragoza

TÍTULO:

Mueble lateral

**Edición de estudiante de SolidWorks.**  
**Sólo para uso académico.**

CONJUNTO

Stand Nomad

A3

DIBUJ.

VERIF.

PESO:

ESCALA: 1:1000

HOJA 1 DE 1