

Trabajo Fin de Grado

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

Autor/es

Juan Viamonte Olmeda

Director/es

Francisco José Serón Arbeloa

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2015

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

RESUMEN

En el diseño y la ingeniería 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. En este proyecto se profundiza en el diseño basado en la programación, en qué consiste y de qué forma ayuda en la resolución de problemas de ingeniería y diseño. Además, se estudia como materializar aquello que se modela de forma directa con los métodos constructivos de los que se dispone gracias a herramientas de CAD/CAM y la fabricación digital. También se hace una labor de comprensión y ejercitación del software Rhinoceros + Grasshopper para su uso en el proyecto.

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 para una marca de ropa) 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. Con el caso práctico se observan los conflictos que aparecen entre un modelado de smart geometry y su fabricación, surgiendo una serie de problemas relativos a dimensiones, materiales o restricciones mecánicas que hay que ir resolviendo, modificando el original hasta conseguir que sea viable.

El resultado es el modelo 3D del stand, con una estructura exterior y una serie de elementos que componen el interior. Se tienen todos los ficheros necesarios para la fabricación digital mediante máquinas CNC, así como los planos y las instrucciones de montaje necesarios para llevarlo a cabo. Se ha comprobado además la resistencia del mismo con un análisis mecánico.

En conclusión, se ha entendido como funciona la programación aplicada a formas y se ha valorado el potencial que tiene en el campo de la arquitectura efímera viendo como puede resolver diferentes necesidades. Por otro lado, se ha experimentado con el proceso de diseño de un stand expositivo y con las restricciones con las que hay que tratar, así como los diferentes problemas que hay que resolver.

ÍNDICE

1. OBJETIVO Y ALCANCE	3
1.1 Introducción.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Alcance.....	4
1.4 Planteamiento del problema.....	4
2. ANTECEDENTES	5
2.1 Diseño paramétrico.....	5
2.2 Software y herramientas.....	7
2.3 Fabricación digital.....	10
2.3.1 Máquinas CNC.....	10
2.3.2 Métodos constructivos.....	11
3. REQUISITOS DE DISEÑO	21
3.1 Temática del caso práctico.....	21
3.2 Elección y análisis de la marca.....	21
3.3 Aspectos relevantes en el diseño de un stand.....	22
3.3.1 Material.....	22
3.3.2 Dimensiones.....	23
3.4 Estudio de mercado.....	24
3.5 Especificaciones de diseño.....	25
4. ANÁLISIS DE SOLUCIONES	26
4.1 Generación de conceptos.....	26
5. RESULTADOS FINALES	29
5.1 Desarrollo de la estructura.....	29
5.1.1 Modelado del sólido.....	29
5.1.2 Algoritmo seccionamiento.....	31
5.1.3 Análisis estático.....	41
5.2 Desarrollo del interior del stand.....	42
5.2.1 Teselado.....	42
5.2.2 Muebles y distribución.....	44
5.3 Renders.....	46
5.4 Montaje y ensamblajes.....	47
5.5 Maqueta.....	48
5.6 Conclusiones y trabajo futuro.....	49
6. DIAGRAMA TEMPORAL DE LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO	50
7. BIBLIOGRAFÍA	51

1. OBJETIVO Y ALCANCE

Diseñar, producir y fabricar deben entenderse como tres fases de un mismo proceso enfocado en la concepción, desarrollo y materialización de soluciones para 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.^[1]

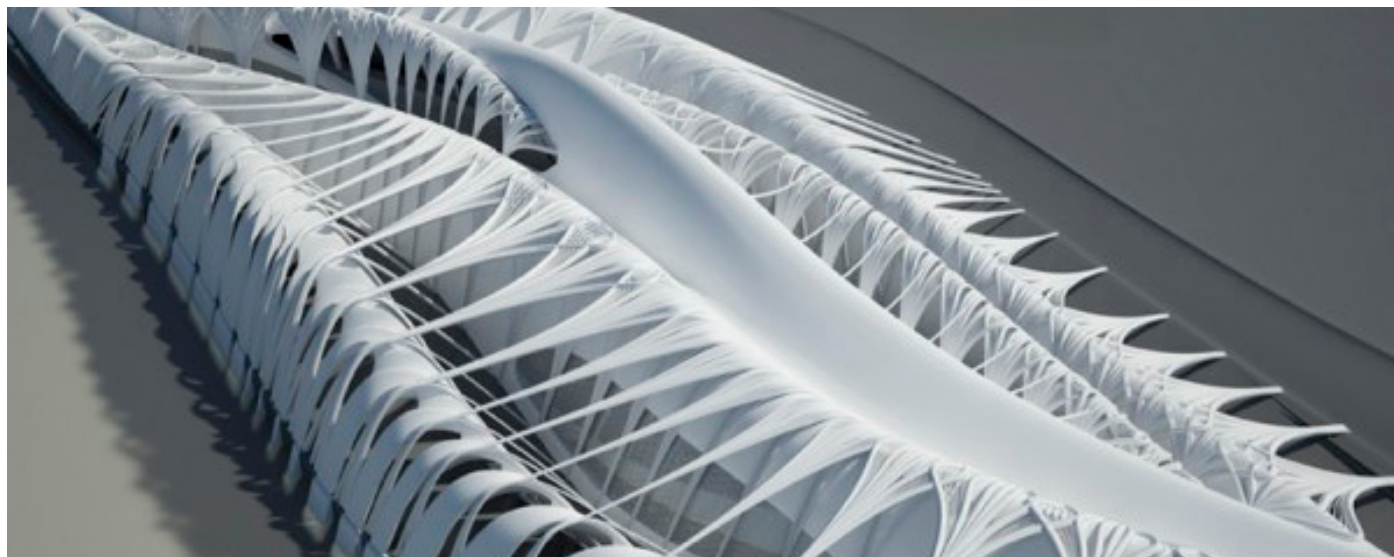


Fig.1 - 0 R N 8: Proyecto de diseño paramétrico realizado por Gerry Cruz, Spyridon Kaprinis, Natalie Popik y Maria Tsironi.

1.1 INTRODUCCIÓN

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.

1.2 OBJETIVO DEL TFG

Estudio del concepto de diseño paramétrico y su aplicación en proyectos reales, es decir, 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, es decir, 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, es decir, la 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.

1.3 ALCANCE

Se estudiarán diferentes ejemplos de aplicación del diseño paramétrico y de la fabricación digital en proyectos reales, con las características de cada uno para sacar unas conclusiones. Este estudio estará guiado por una clasificación que divide los métodos constructivos en 5: seccionamiento, teselado, entrelazado, plegado y contorneado.

Se ejercitará el manejo del software Rhinoceros+Grasshopper con una serie de ejercicios prácticos hasta adquirir la soltura suficiente para afrontar el proyecto.

El proceso de diseño del stand constará de las siguientes partes:

- Elección y análisis de la marca
- Estudio de mercado
- Especificaciones de diseño
- Concepción de la idea
- Selección del concepto más adecuado
- Modelado en Rhinoceros+Grasshopper
- Análisis estático para comprobar la resistencia del conjunto
- Selección de materiales, dimensiones, ensamblajes y formas de montaje.
- Planos explicativos.
- Maqueta.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

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.

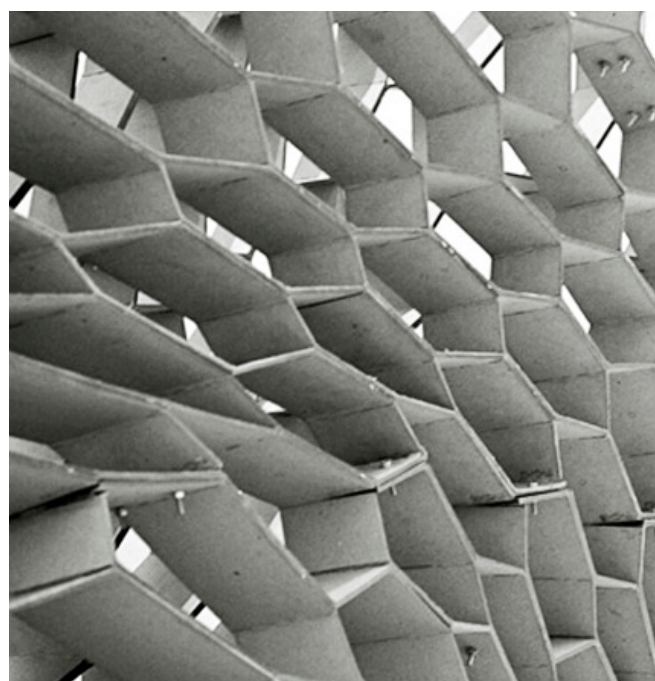


Fig.2 - Pantalla desarrollada en la competición de diseño M3 2010 del Institute of Technology in Architecture (Zurich)

2. ANTECEDENTES

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.

2.1 DISEÑO PARAMÉTRICO

¿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.

Se pueden crear asociaciones geométricas entre elementos de manera que los cambios en un elemento afectan a los demás. Estas asociaciones pueden ser posicionales, o pueden entrar en juego complicadas relaciones matemáticas o puertas lógicas.

Por ejemplo, imaginemos que tenemos una esfera en el espacio. El radio de la esfera puede depender de la longitud de la distancia al origen, poniendo como condición que el radio de la esfera sea $1/10$ de la distancia, por lo que cuanto más cerca esté del punto más pequeña será. (Fig.3)

También pueden entrar en juego grandes volúmenes de datos que se pueden manejar de manera cómoda. 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.4)

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.5)

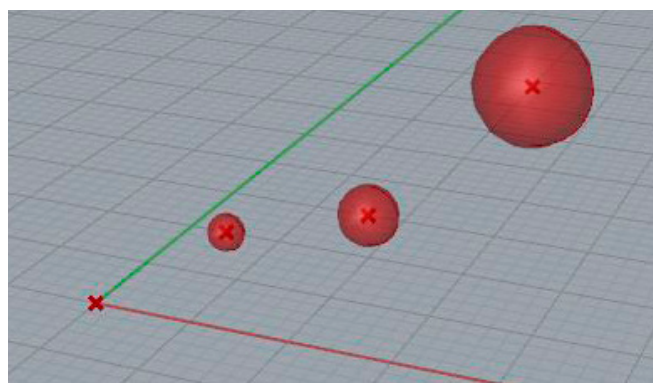


Fig. 3. Esferas dependientes de la distancia al origen.

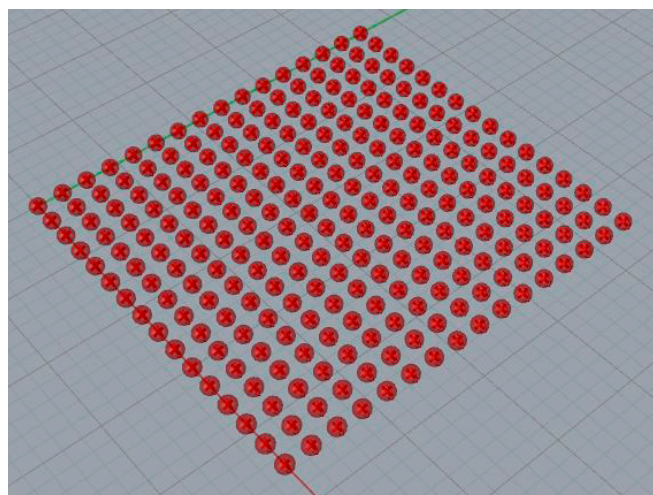


Fig. 4 Matriz de n^2 esferas.

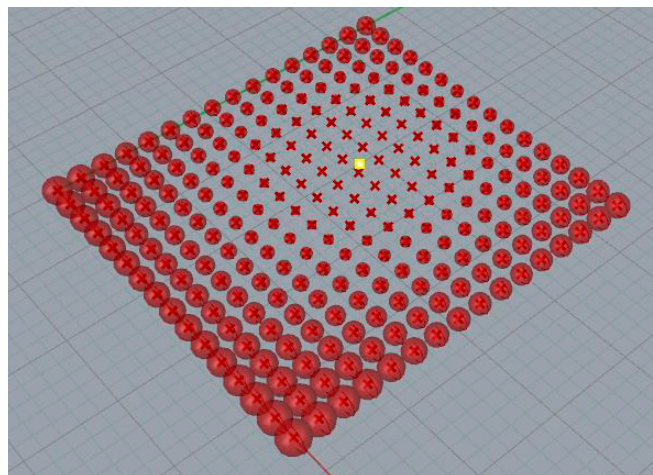


Fig. 5 Matriz de n^2 esferas dependientes de la distancia a un punto determinado.



Fig.6 - Escultura diseñada por Ora-Ito usando Grasshopper.

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.

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.

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.

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.

Del modelo a la materialización: esta es una metodología 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.^[3]

(Para más información ver páginas 6, 7 y 8 del ANEXO I: Dossier)

2.2 SOFTWARE Y HERRAMIENTAS

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.

2.2.1 PROGRAMAS PARAMÉTRICOS

Algunos programas paramétricos son:

CATIA

El sistema CATIA (**Fig.7**) (Computer Aided three-dimensional Interactive Application- en español “Sistema interactivo tridimensional ayudado por ordenador”) es un programa creado y comercializado por Dassault Systèmes.^[6]

AUTODESK 3DS MAX

3ds Max® (**Fig.8**) 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.^[8]

AUTODESK REVIT

El software de diseño de edificios Revit® (**Fig.9**) 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.^[9]

(Para más información ver páginas 9 a 11 del ANEXO I: Dossier)

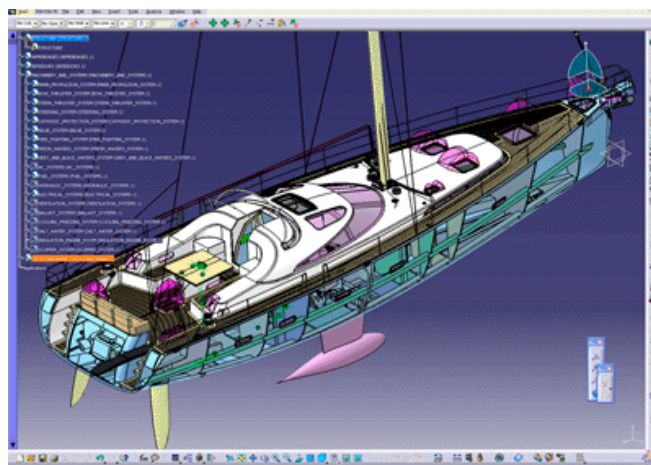


Fig.7- Captura de pantalla del software CATIA.

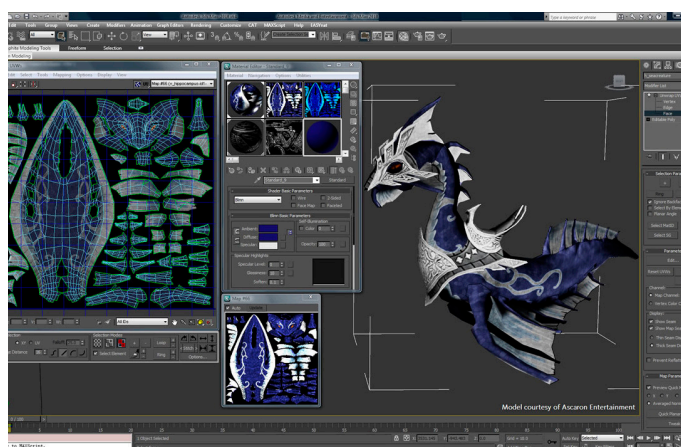


Fig.8 - Captura de pantalla del software Autodesk 3DS Max.

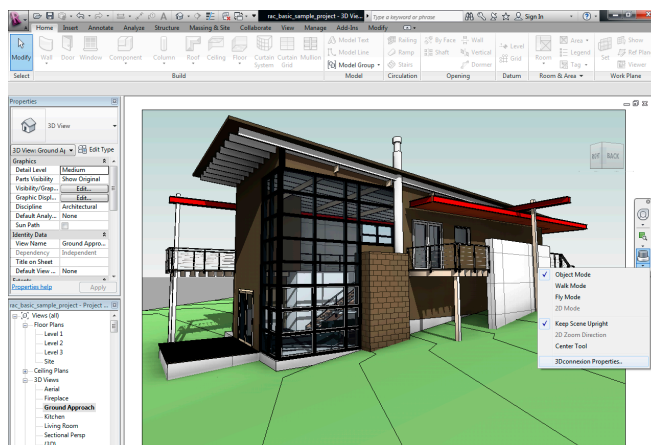


Fig.9 - Captura de pantalla del software Autodesk Revit.

2.2.2 COMPRENSIÓN DE LA HERRAMIENTA: 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.^[10]

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

Otra de sus grandes ventajas es el amplio catálogo de extensiones y plugins del que dispone. Uno de los plug-ins que más relevancia tienen es Grasshopper, con el que se consigue dotar a Rhinoceros de esa naturaleza paramétrica de la que carecía. Se ha decidido que el proyecto se realice en su mayor parte usando este software por 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 característica 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.

¿Cómo funciona?

Grasshopper ofrece un interfaz basada en un lenguaje de programación visual que utiliza el concepto de componente. (Fig.10) 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

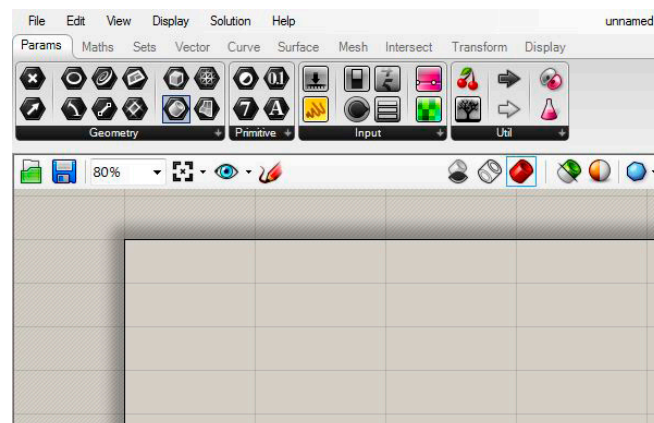


Fig.10 - Lienzo de trabajo de Grasshopper.

noción de programación y de diseño de algoritmos de cara a la comprensión de la herramienta.

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.

(Para más información ver páginas 11 y 12 del ANEXO I: Dossier)

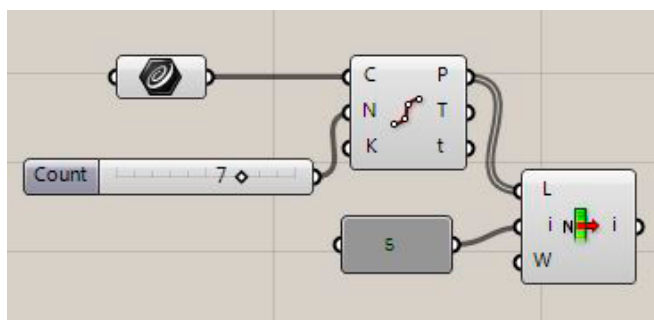


Fig.11 - Componentes de Grasshopper. Inputs a la izquierda y outputs a la derecha de cada componente. Definición con una curva como parámetro inicial, un componente que la divide en 7 puntos y la extracción del punto número quinto con el componente "list item".

EJERCICIOS PRÁCTICOS

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. (Fig. 12 y 13)

(Para ver todos los ejercicios prácticos y sus explicaciones ver páginas: de 13 a 17 del ANEXO I: Dossier)

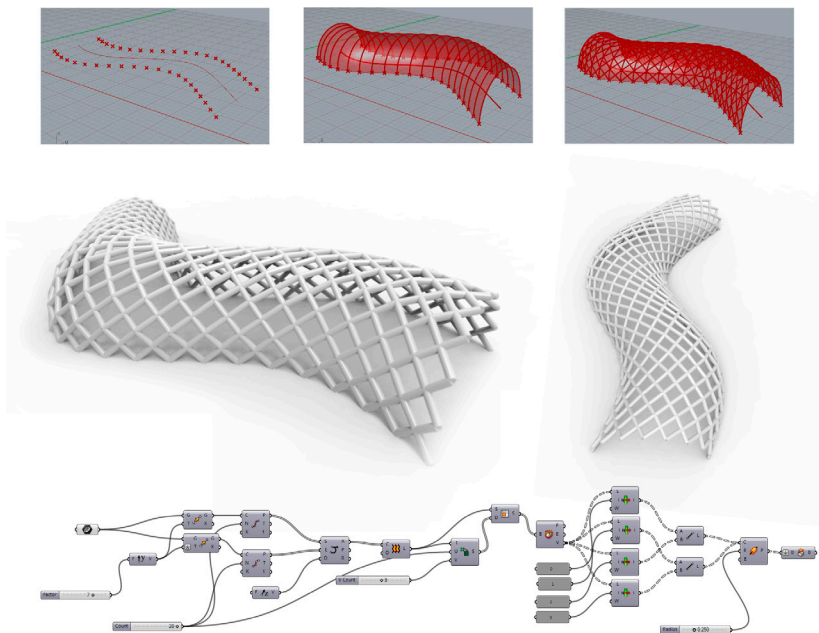


Fig.12- Definición de Grasshopper con render de los resultados. Definición original propia.

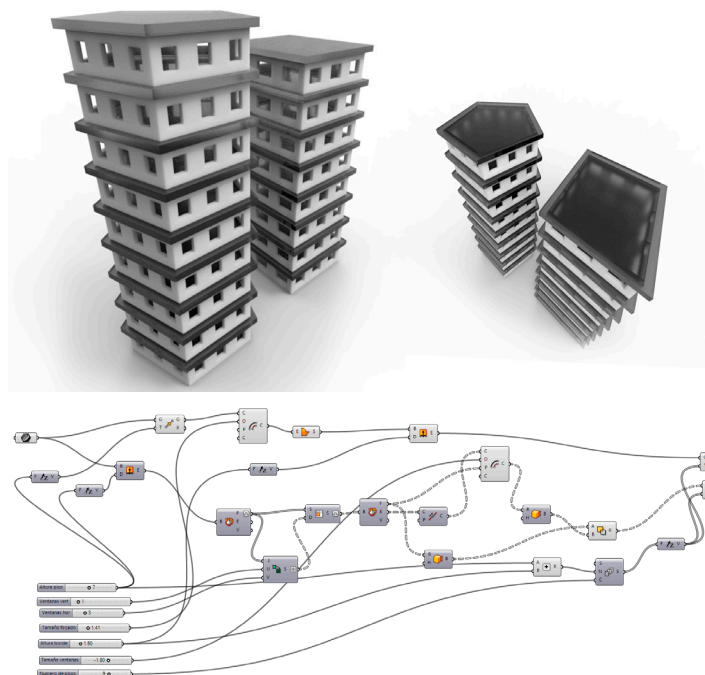


Fig.13 - Definición de Grasshopper, modelado de un edificio con render de los resultados. Definición original propia.

2.3 FABRICACIÓN DIGITAL

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). 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.^[11]

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.

APLICACIÓN

La fabricación digital se usa en campos muy variados como el diseño, la arquitectura, 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.14**), 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.

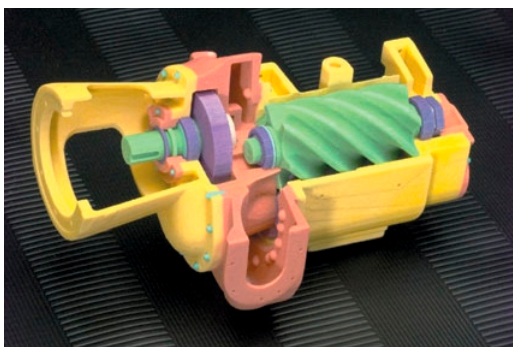


Fig. 14 - Prototipo de un mecanismo mediante impresión 3D.

2.3.1 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^[12]. De esta forma se pueden hacer movimientos que no se podrían conseguir manualmente como círculos perfectos o complicadas figuras tridimensionales.

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

SLS (Selective Laser Sintering - Sinterización Selectiva por Láser)

FDM (Fused Deposition Modeling - Modelado por Deposición Fundida)

LOM (Laminated Object Manufacturing - Fabricación por objeto laminado)

MÁQUINAS CNC SUSTRATIVAS

Router CNC

Corte con Láser

Corte por plasma

Corte por chorro de agua

*(Para ver más información acerca de la fabricación digital y el estudio de las máquinas CNC, consultar páginas: 18 a 24 del ANEXO I: Dossier)
[14], [15], [16], [17]*

2.3.2 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.^[18]

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. Ha sido 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 de 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.

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 obtenidas mediante planos de corte, planas, que en su conjunto conforman el volumen final que se estaba buscando.

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. 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 desea obtener y por lo general existen 3 lógicas de trabajo principales: **secciones paralelas**, **apilamiento** y **parrilla o waffle**.

Secciones paralelas: Esta lógica es aplicable tanto en proyectos de escala pequeña, o de tamaño a escala humana, hasta la construcción de grandes infraestructuras. Consiste en situar secciones verticales paralelas para generar el volumen. Cuantas más secciones componen el sólido y menor distancia hay entre ellas, mayor sensación de suavidad en la transición pero más cantidad de material.

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 esta impresora corta láminas del material y las pega una encima de otra.

Waffle: 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.

Secciones paralelas

El pabellón Vaulted Cork (**Fig.15**) es un proyecto realizado por Pedro de Azambuja Varela, Maria João de Oliveira y Emmanuel Novo. Expuesto en la feria “Concreta 2013” y promovido por Amorim Isolamentos Lda.^[19] 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

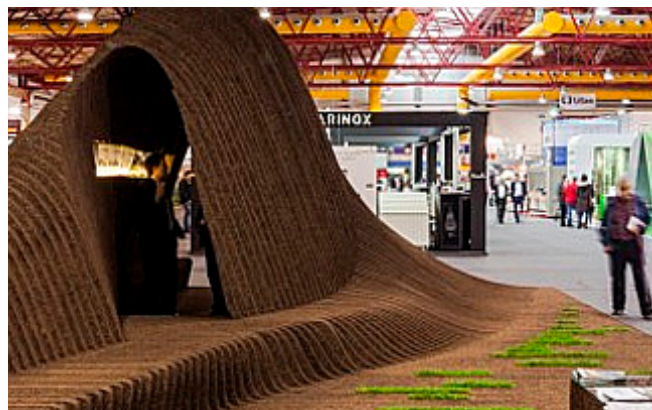


Fig. 15- Vistas generales del pabellón “Vaulted Cork”. Fotos realizadas por Joao Morgado.

Apilamiento

Un proyecto que pone en práctica esta lógica es el llevado a cabo por el arquitecto Ryumei Fujiki en “Artificial Topography” (**Fig.16**), ganador del primer premio del “concurso internacional de arte en un container” convocado en la Kobe Biennial 2011, Japón.^[20] 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.



Fig. 16- “Artificial Topography” por dentro. Fotos realizada por Masahiro Hoshida.

Waffle

Encontramos un ejemplo de waffle aplicado al diseño de producto en la mesa paramétrica “Sectionimal”^[21] desarrollada por el estudio chileno de diseño y fabricación digital gt_2P (**Fig.17**)

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.

(Para ver más información acerca del seccionamiento: páginas 25 a 30 del ANEXO I: Dossier)
[22]

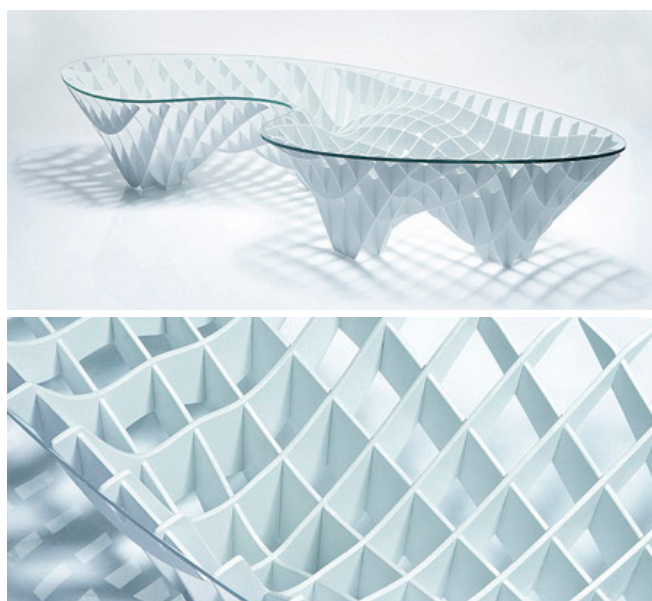


Fig. 17- Vista general y detalle de la mesa “Sectionimal”.

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.18)



Fig. 18 - Teselación 104 de Escher.

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.

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^[23]:

Teselaciones poligonales regulares.^[24]

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°.(Fig.19)

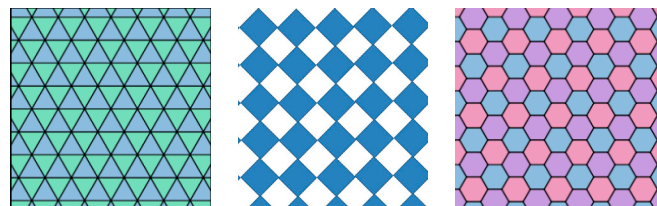


Fig. 19- Teselaciones regulares a partir de triángulos, cuadrados y hexágonos.

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.20)

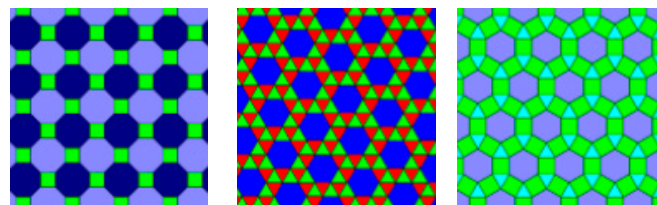


Fig. 20- Teselaciones semirregulares.

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.21)

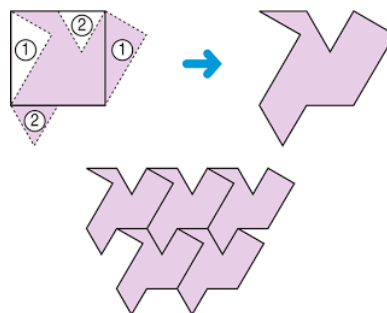


Fig. 21- Técnica del mordisco.

“ArboSkin - fachada de bioplástico”^[25] 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. 22 y 23).

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

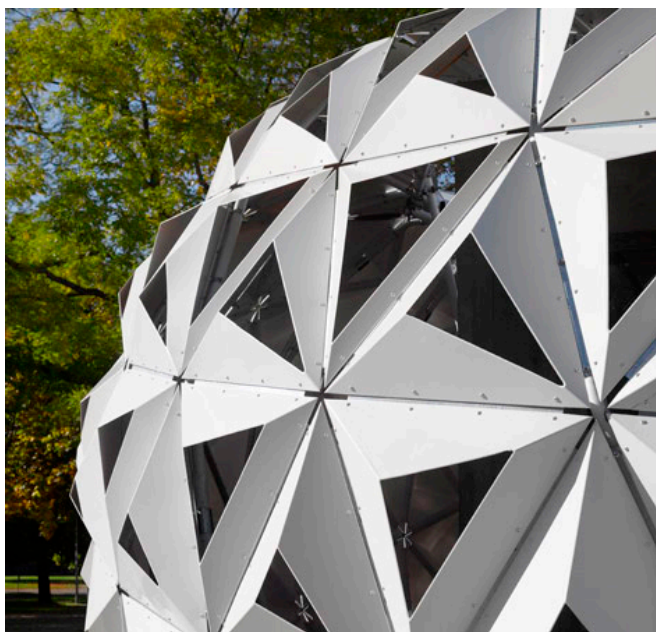


Fig. 23 Detalle de “Arbo-Skin”.

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 24 y 25)

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.

(Para ver más información acerca del teselado: páginas 31 a 35 del ANEXO I: Dossier) [27], [28]



Fig. 24-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. 25- Imagen del resultado final del pabellón temporal biónico. Fotografías, ICD/ITKE Universität Stuttgart.

PLEGADO (Folding)

El plegado es una técnica constructiva que transforma una superficie plana, bidimensional, en una tridimensional. 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. Además, 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 complejas 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.

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.^[29]

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.26)**

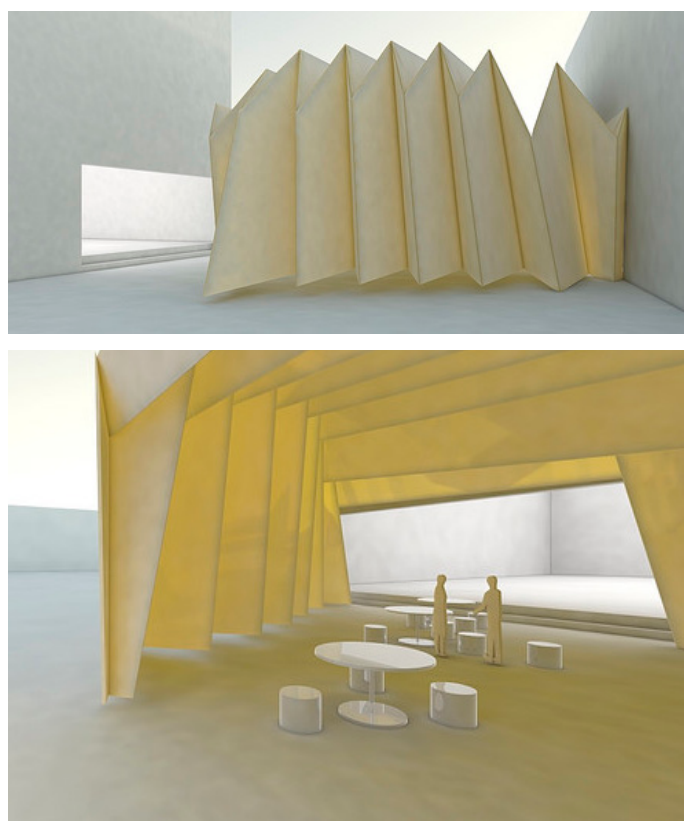


Fig. 26- “Rigid Fold Gallery” Imágenes de Tomohiro Tachi.



Fig. 27- "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.27 y 28) 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. 28- 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.29) 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.

(Para ver más información acerca del plegado: páginas 36 a 38 del ANEXO I: Dossier)

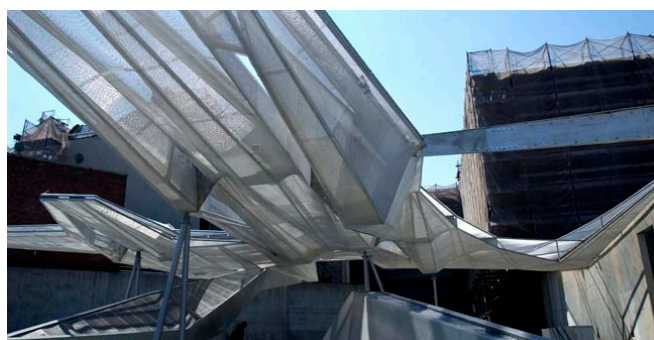


Fig. 29- Imágenes de "Urban beach".

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.30**).

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 desechado, 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 desecho consecuente. Por esto

es una técnica que se suele combinar con otros métodos constructivos vistos anteriormente, con el fin de explotar sus ventajas y reducir al mínimo los desechos o el tiempo de fabricación.

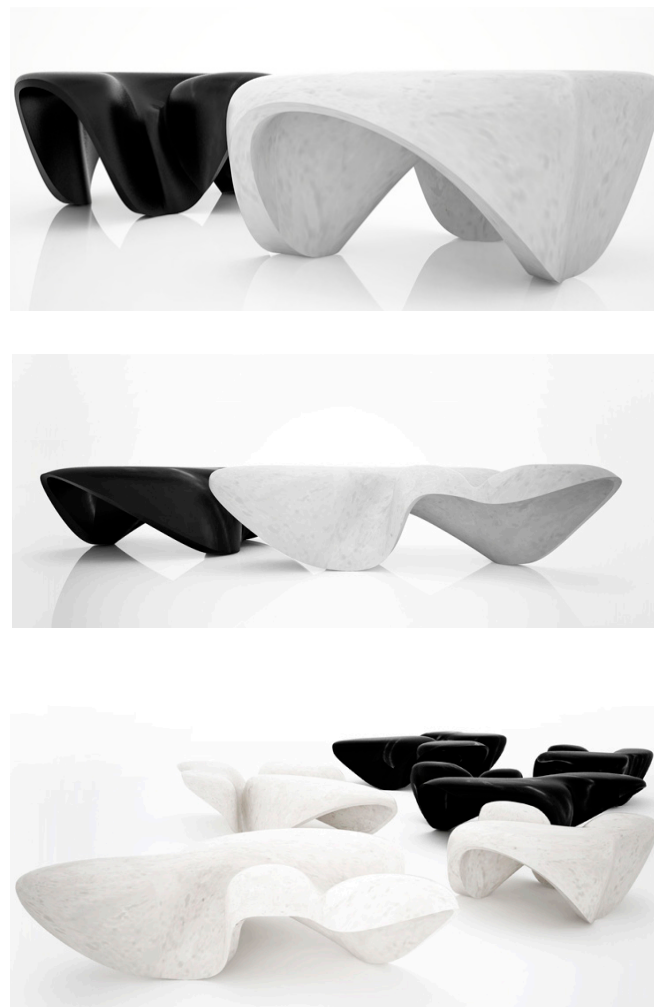


Fig. 30- Colección de mesas “Mercuric” diseñadas por la arquitecta Zaha Hadid para el salón del mueble 2013 en Milán. Estas mesas son un ejemplo de las posibilidades que ofrece el contorneado. En este caso se pretende imitar la precisión de la artesanía escultórica en el mármol creando esas formas onduladas.

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^[30]. Es el resultado de una investigación en torno a la aplicación de técnicas tradicionales como la estereotomía (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.31 y 32).

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.



Fig. 31- La Voûte de LeFevre, experimental pavilion (Banvard Gallery: Knowlton School of Architecture) Columbus Ohio – United States (2012). Arquitectura, Brandon Clifford + Wes McGee



Fig. 32- Vista 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”^[31] 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.33)

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.34). 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.

(Para ver más información acerca del contorneado: páginas 39 a 42 del ANEXO I: Dossier) [32],[33]

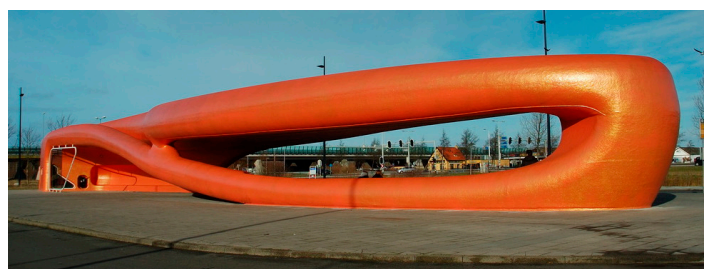


Fig. 33- The Amazing Whale Jaw, por el estudio NIO, en Hoofddorp, Rotterdam, Holanda (2013).



Fig. 34- Fabricación de The Amazing Whale Jaw.

ENTRELAZADO (Interlocking)

El quinto y último método constructivo que se va a explicar es el de interlocking. 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.^[34]

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.

Idear el sistema de unión de las piezas es el principal reto de este tipo de diseños, sobre todo cuando el volumen de piezas usadas es alto. En el proyecto del pabellón “SelfSupportingFramework”^[35] 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.

El resultado es una estructura estable y resistente, (**Fig.35**) 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.36**)

Encontramos otro ejemplo de interlocking en el pabellón “Dragon-Skin” (piel de dragón) (**Fig.37**), desarrollado en colaboración entre los arquitectos Emmi Keskisarja, Pekka Tynkkynen, Kristof Crolla y Sebastien Delagrangé. 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.

(Para ver más información acerca del entrelazado: páginas 43 a 45 del ANEXO I: Dossier)



Fig. 35- SelfSupportingFramework” pavilion (Kassel University), Kassel –Alemania (2010).



Fig. 36- SelfSupportingFramework” pavilion. Detalle de las barras.



Fig. 37- Pabellón Dragon Skin.

COMENTARIOS FINALES ACERCA DE LA FABRICACIÓN DIGITAL

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 suelen ser mixtos, en los que se mezclan varios métodos constructivos.

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 del espacio expositivo seleccionado.

Los métodos elegidos son los de seccionamiento y de 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.

CARACTERÍSTICAS MÁS RELEVANTES DE LOS MÉTODOS CONSTRUCTIVOS

A continuación se resumen aquellos aspectos más significativos de los métodos ya expuestos:

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.

3. REQUISITOS DE DISEÑO

“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)^[37]

3.1 TEMÁTICA DEL CASO PRÁCTICO

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?

3.2 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.

La temática del skateboarding se adapta bastante a las posibles soluciones formales que se pueden conseguir gracias al diseño paramétrico.



Fig. 38- Logo de Nomad y características de la marca.

(Para ver más información acerca de la marca seleccionada: páginas 49 y 50 del ANEXO I: Dossier)

3.3 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. Cualquier decisión de diseño, formal, de materiales, etc. deberá estar justificada y relacionada con la marca.

3.3.1 MATERIALES

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**.

Se ha hecho un estudio en el que se estudiaban los principales tipos de tableros con sus características.

(Para ver más información acerca del estudio de materiales: páginas 52 a 56 del ANEXO I: Dossier)

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 láser 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 ya que al estar compuestos de virutas 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 que no resalte demasiado.

3.3.2 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 6m² o 9m²), y los más grandes pueden llegar a abarcar una superficie muy amplia, de hasta 300m² (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.



Fig. 39- Tableros de contrachapado.



Fig. 40- Tableros laminados.



Fig. 41- Tableros aglomerados.



Fig. 42- Tableros de densidad media.

3.4 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.

(Para ver más información acerca del estudio de mercado: páginas 57 y 68 del ANEXO I: Dossier)

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO

- 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).



Fig. 43- Foto del stand para Amega Biotech.



Fig. 44- Imágenes del stand para Toyota en la feria ArteBA 2008.

- 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.

3.5 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.

4. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

4.1 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.

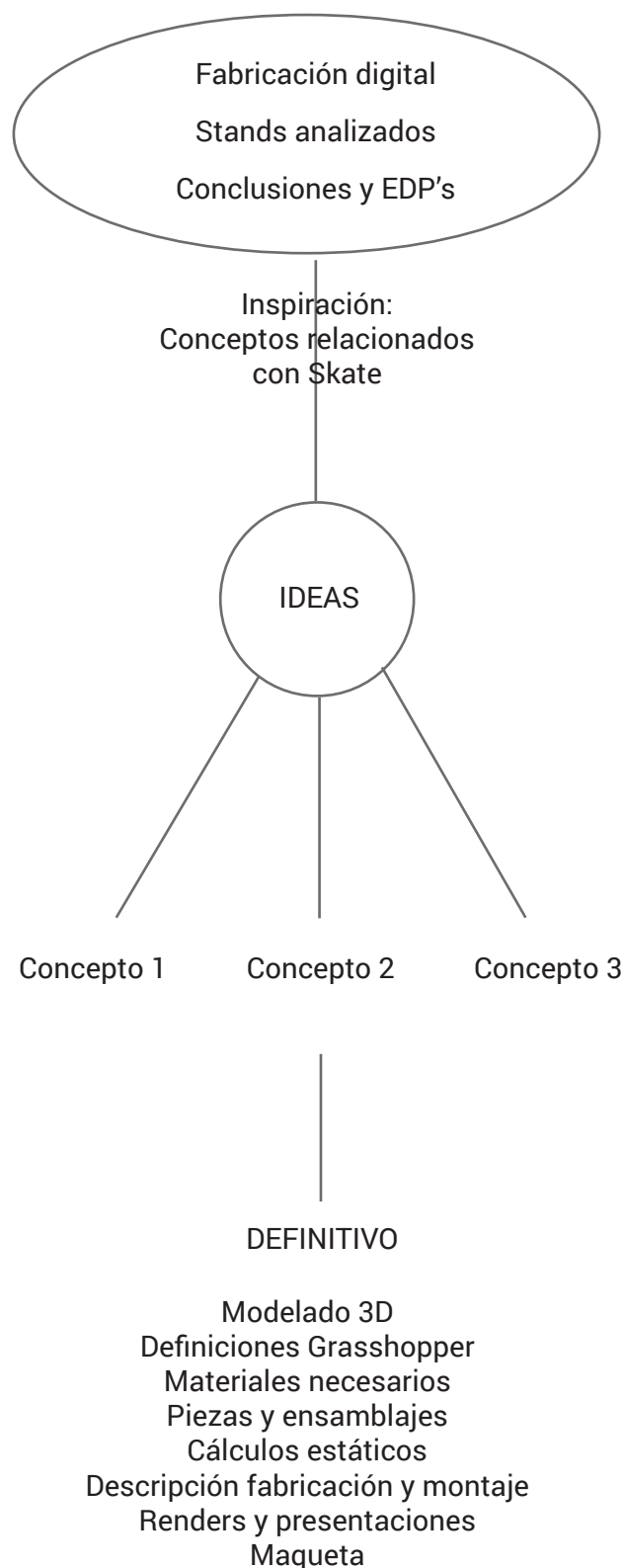


Fig. 45 - Esquema del proceso de diseño.

CONCEPTO 1: Estructura envolvente.

El primer concepto se inspira en la trayectoria que sigue la tabla de skate cuando se realizan trucos con ella 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. (Fig.46, 47)

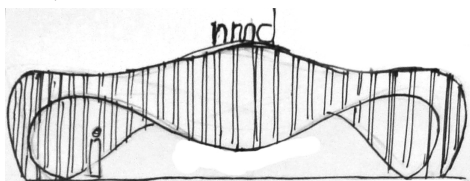


Fig. 47 - Alzado del concepto 1.

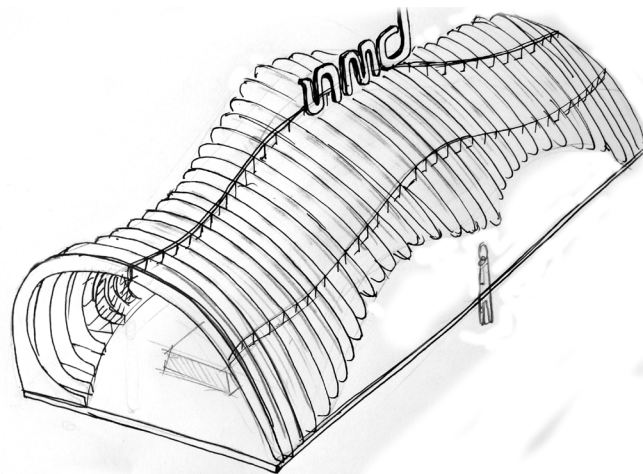


Fig. 46- Boceto del concepto 1.

CONCEPTO 2: Pasillo cambiante.

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.48, 49)

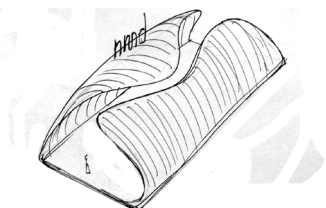


Fig. 49 - Variante del concepto 2.

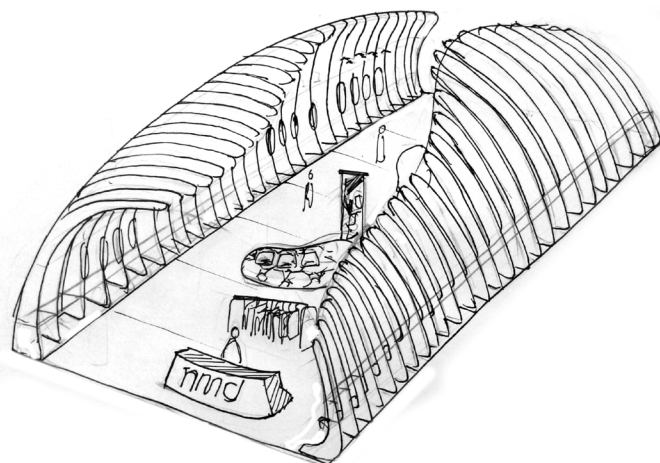


Fig.48 - Boceto del concepto 2.

CONCEPTO 3: Looping.

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.50, 51)



Fig. 51- Alzado del concepto 3.

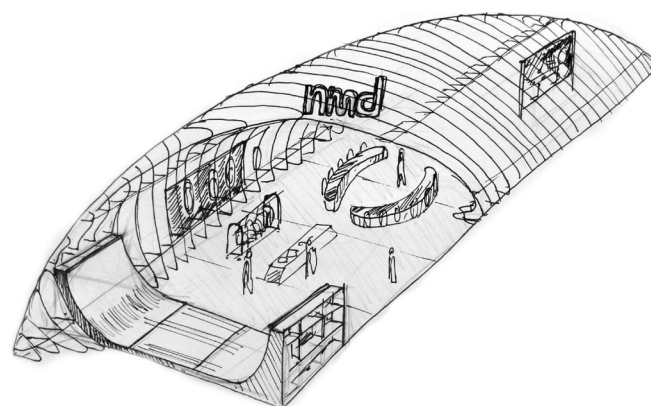


Fig. 50 - Boceto del concepto 3.

(Para ver más información acerca de los conceptos: páginas 73 a 75 del ANEXO I: Dossier)

Tras descartar el tercer concepto (ver página 77 del ANEXO I: Dossier) queda por 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 (Fig.52). Posteriormente se ponderarán según unos criterios establecidos por el autor para seleccionar la mejor alternativa de las 4 evaluadas.

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.

Esta evaluación (Fig.53) está realizada por el autor debido a las características del proyecto. Gracias a ella 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.**

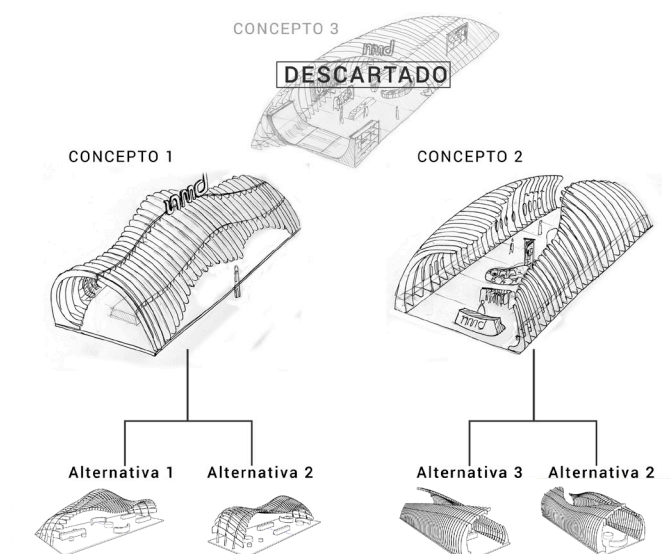
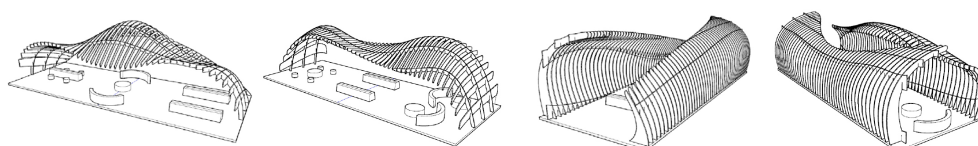


Fig. 52- Esquema del proceso de diseño.

(Para ver más información acerca de las alternativas y el proceso de selección: páginas 76 a 79 del ANEXO I: Dossier)



	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
TOTAL	11	9	5	6

Fig. 53- Tabla de valoración de los conceptos.

5. RESULTADOS FINALES

5.1 DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA

5.1.1 MODELADO DEL SÓLIDO

El modelado del volumen principal, que constituirá la estructura del stand, 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.54**).

Se plantean las dos curvas principales, o curvas longitudinales, que se dibujan en los extremos de la caja (**Fig.55**).

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".

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.56**), 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.57**).

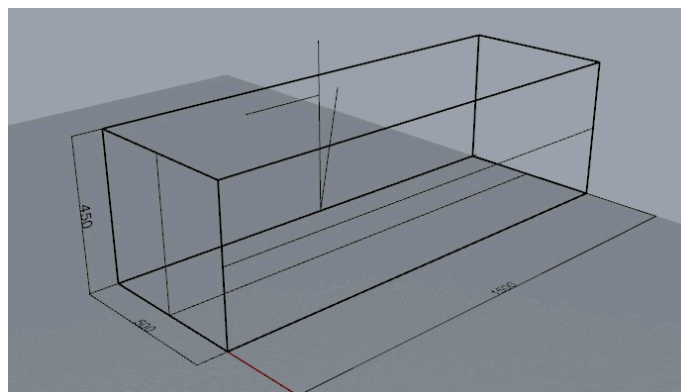


Fig. 54- Caja delimitadora con las dimensiones generales de la estructura: 1500x450x500mm

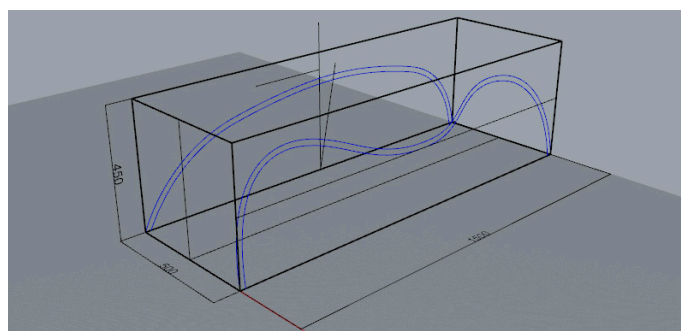


Fig. 55- Curvas longitudinales delimitadas por la caja contenedora.

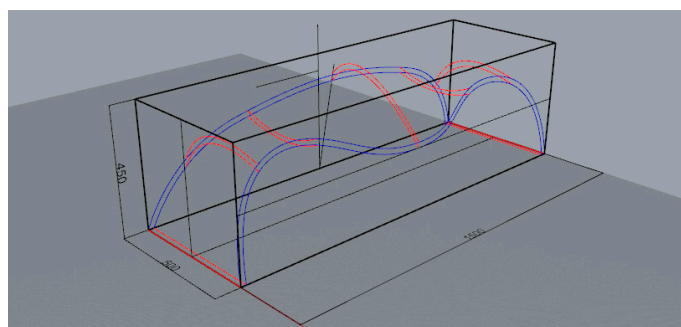


Fig. 56- Curvas transversales creadas basándose en las curvas longitudinales de referencia.

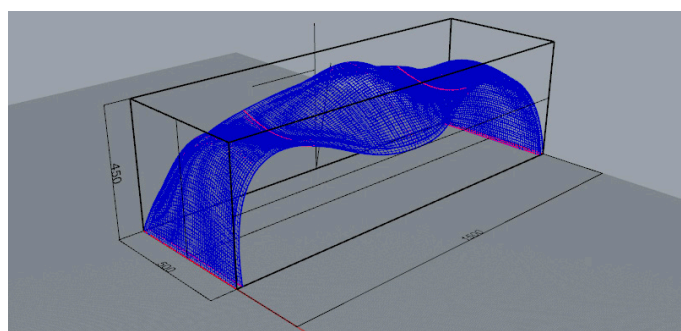


Fig. 57- Superficies generadas a partir de las curvas.

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.58**) 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.

Para corregir esto simplemente se le dio inclinación a las curvas longitudinales, metiéndolas hacia dentro y en diferentes posiciones. El cambio es bastante notable. (**Fig.59**)

El segundo sólido solucionaba el problema de la inclinación y resultaba mucho más orgánico y atractivo (**Fig.60**). Sin embargo, seguía teniendo un problema que no se había tenido en cuenta antes: la poca altura que alcanzaban algunos puntos del sólido.

Se deciden corregir esos errores dibujando curvas más amplias, cuya progresión era más brusca y vertical, y estableciendo el límite de altura mínima en 2,30m. Con esto se intenta aumentar el volumen encerrado por la estructura, ya que en el del primer modelado era escaso. El resultado final es el que se ve a continuación. (**Fig.61**)

(Para ver más información acerca del modelado del sólido: páginas 80 a 85 del ANEXO I: Dossier)

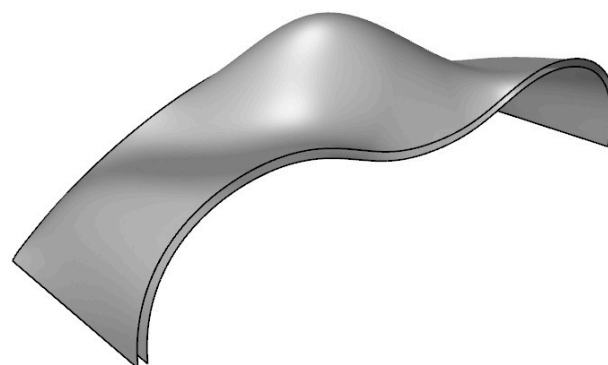


Fig. 58- Volumen resultante de la primera prueba.

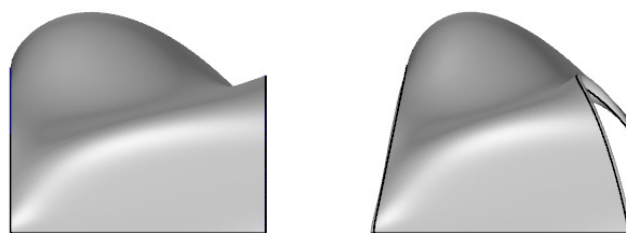


Fig. 59- Diferencia entre el volumen con las curvas longitudinales planas (izquierda) y el volumen con las curvas longitudinales inclinadas (derecha).



Fig.60- Segundo sólido modelado.

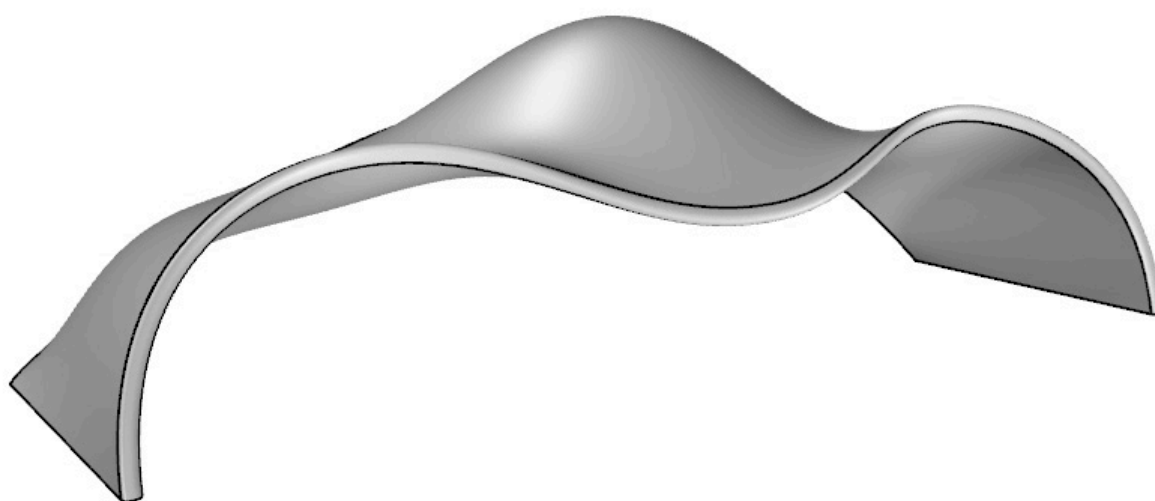


Fig. 61- Sólido definitivo tras las correcciones.

5.1.2 ALGORITMO DEL SECCIONADO

En la imagen de la derecha se observa una vista alejada del algoritmo diseñado. Se trata de una mezcla de ideas cogidas de los tutoriales y de ideas desarrolladas por mi el autor.

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.

Para la explicación por partes, la definición se divide en zonas (**Fig.62**):

- 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.

(Para ver más información acerca del algoritmo y su funcionamiento: páginas **86 a 95** del ANEXO I: Dossier)

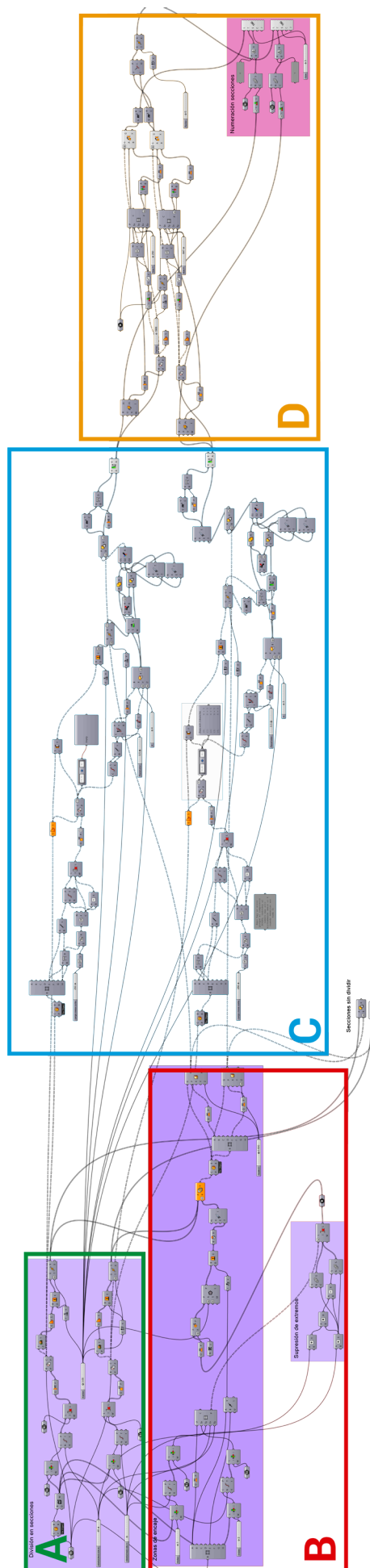
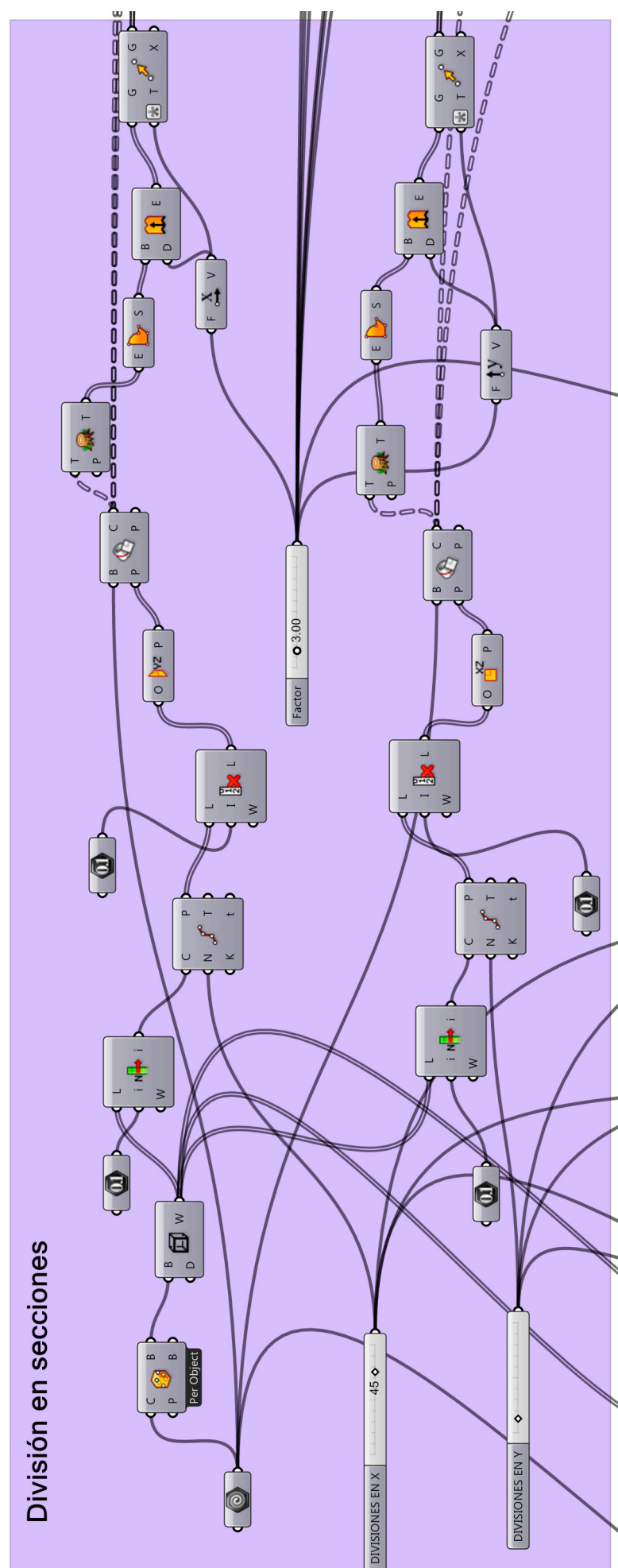
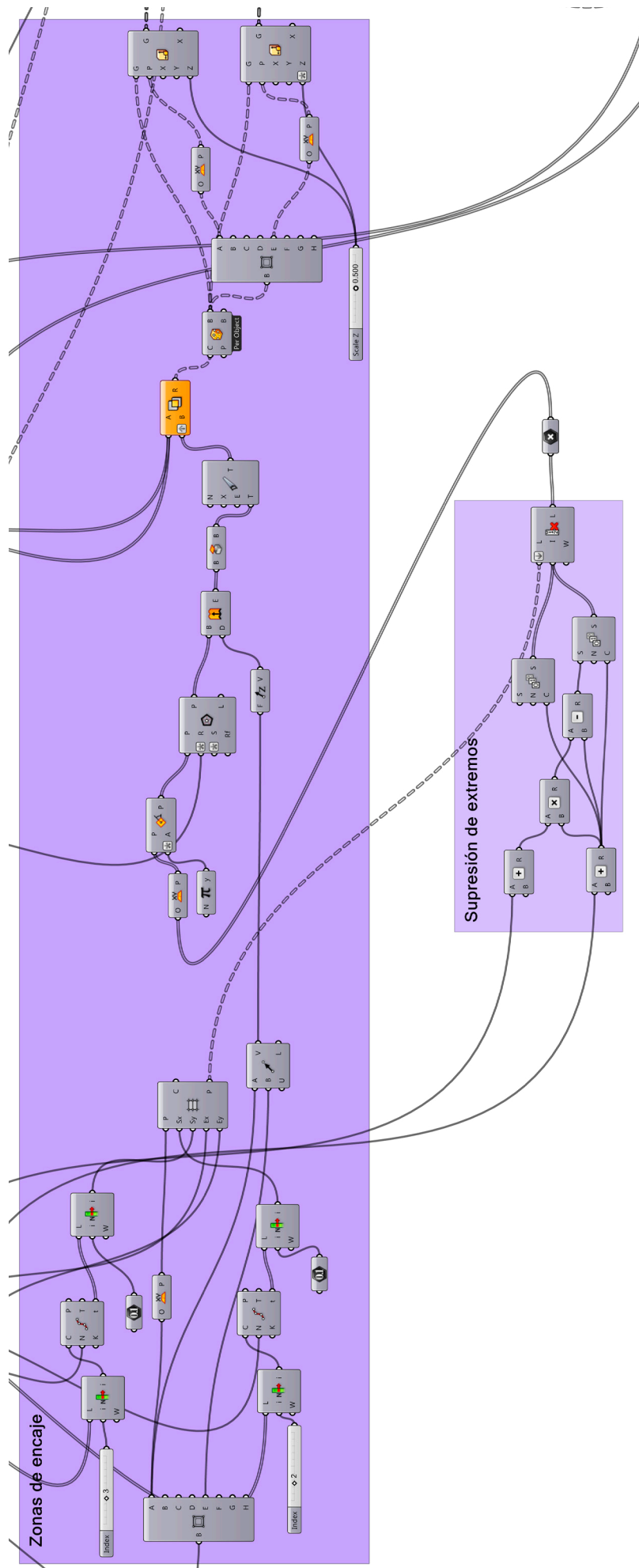


Fig. 62- División de la definición por zonas.





B - Creación de las uniones

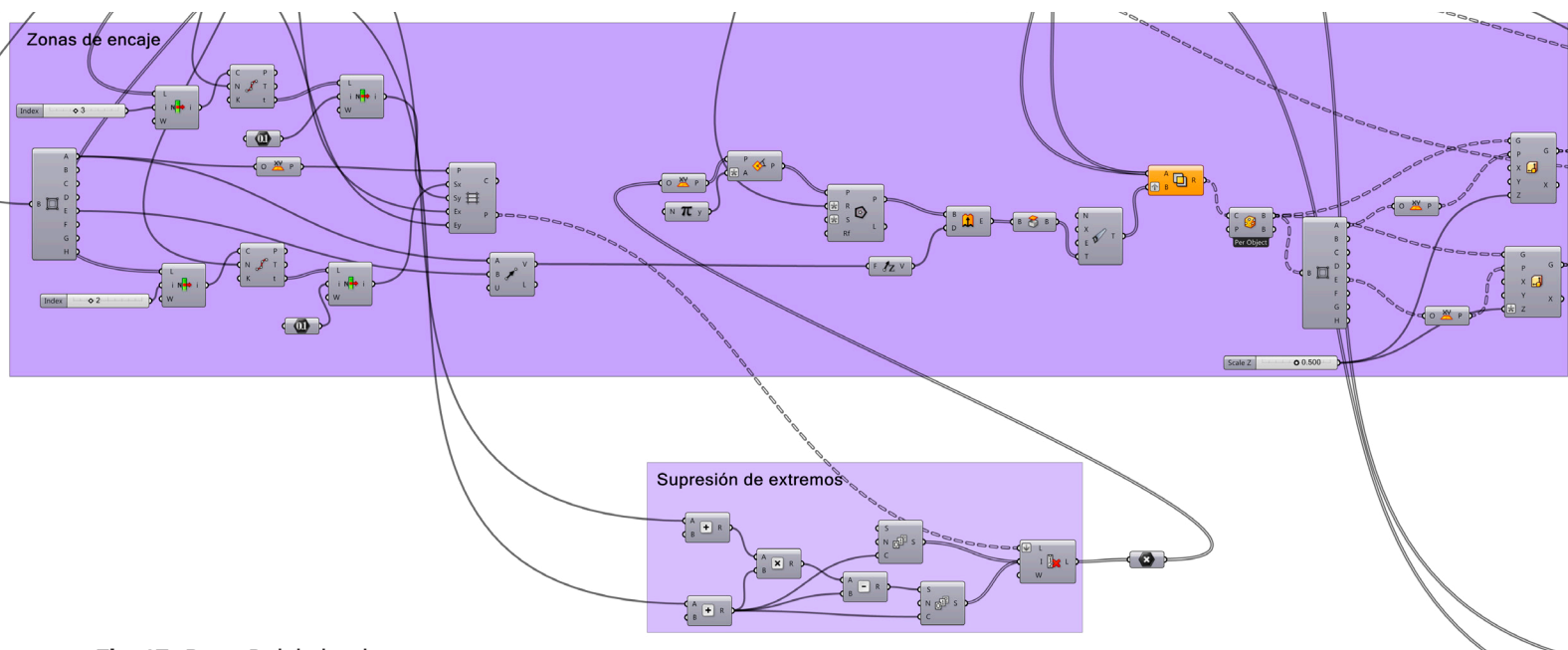


Fig. 67- Parte B del algoritmo.

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.68**).

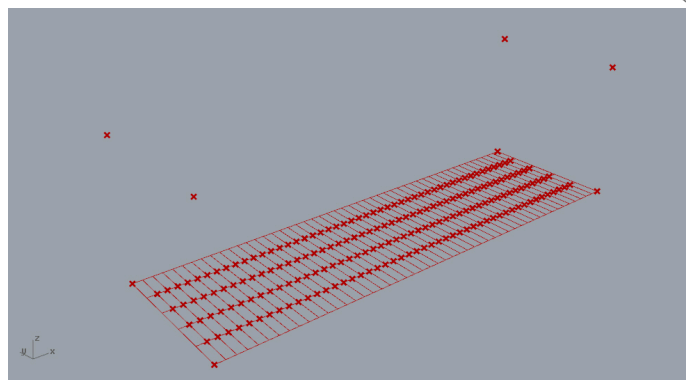


Fig. 68- Malla rectangular.

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.

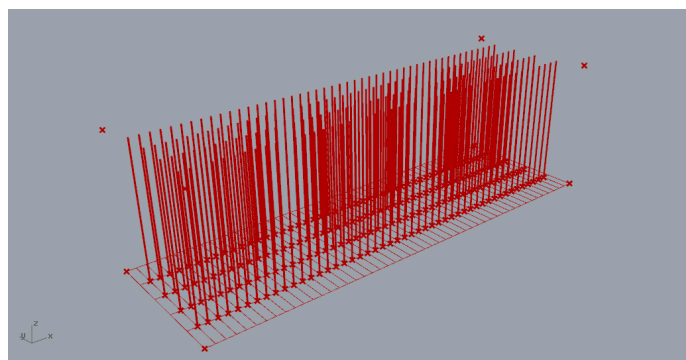


Fig. 69- Matriz de prismas extruidos.

Ahora tenemos una matriz de prismas extruidos (**Fig.69**), 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.70**).

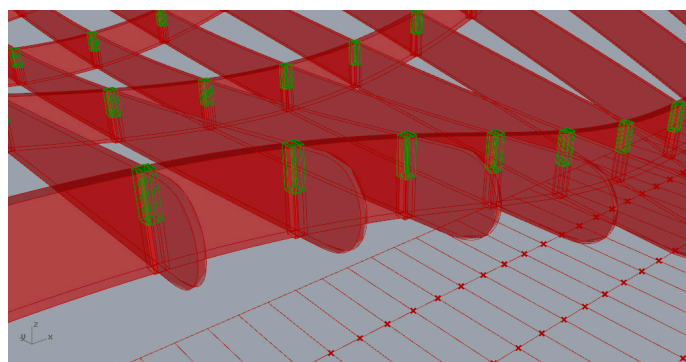
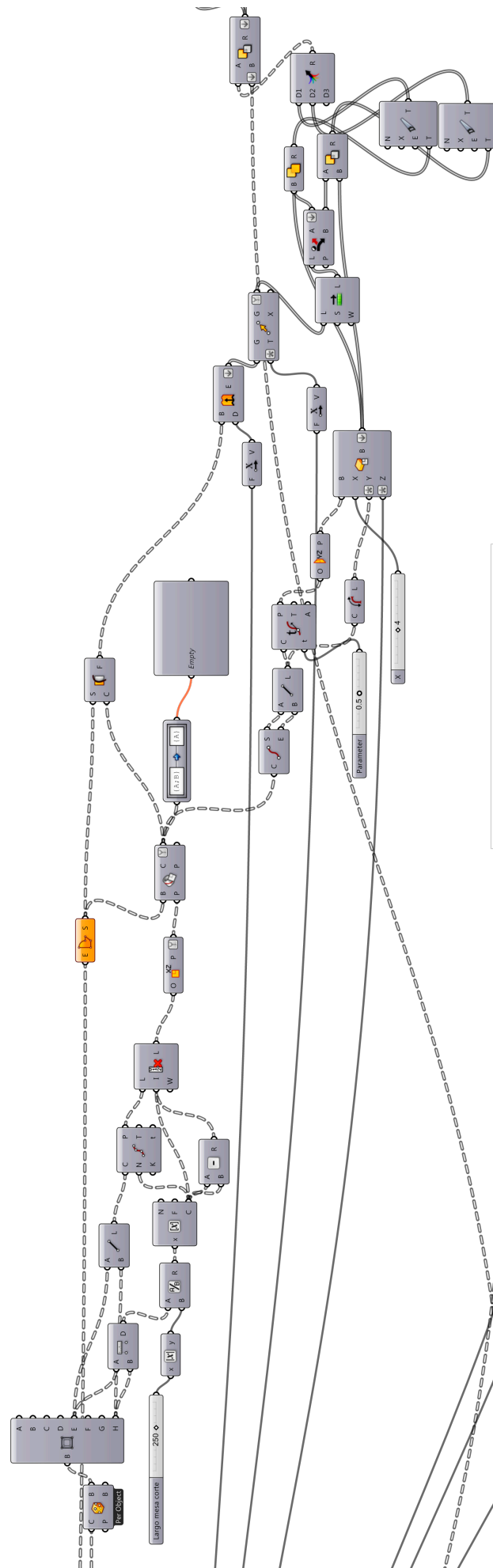


Fig. 70- Prismas divididos cortando el sólido.

Las zonas de encaje ya están creadas.



C - División de las secciones para ser fabricables

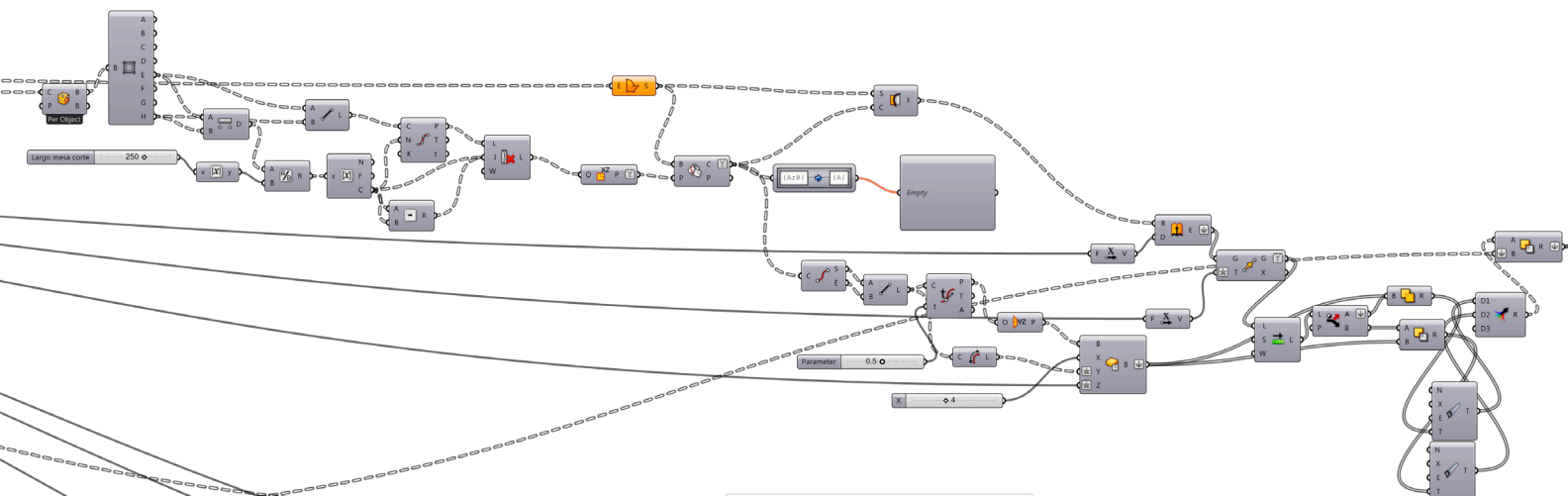


Fig. 71- Parte C del algoritmo.

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.72).

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. 73).

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.74).

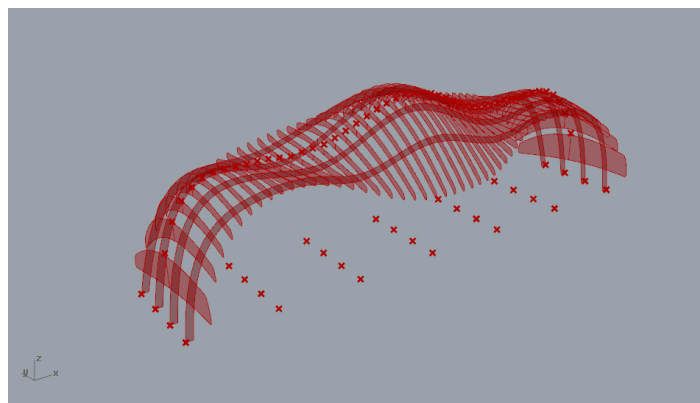


Fig. 72- Puntos de división de las secciones.

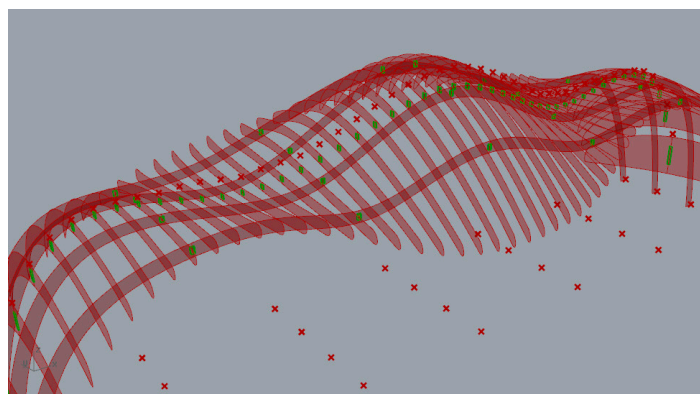


Fig. 73- Prismas rectangulares para crear las zonas de unión

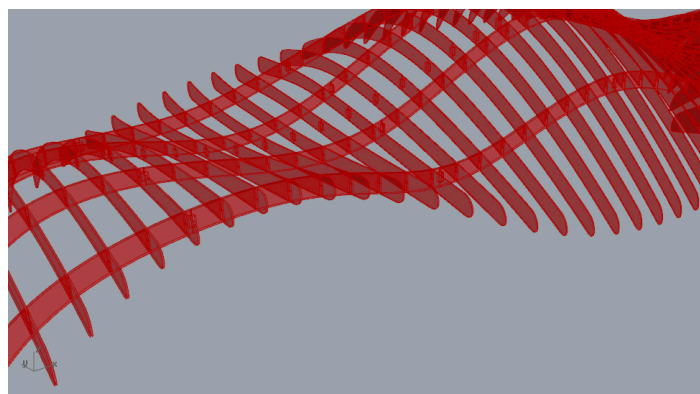
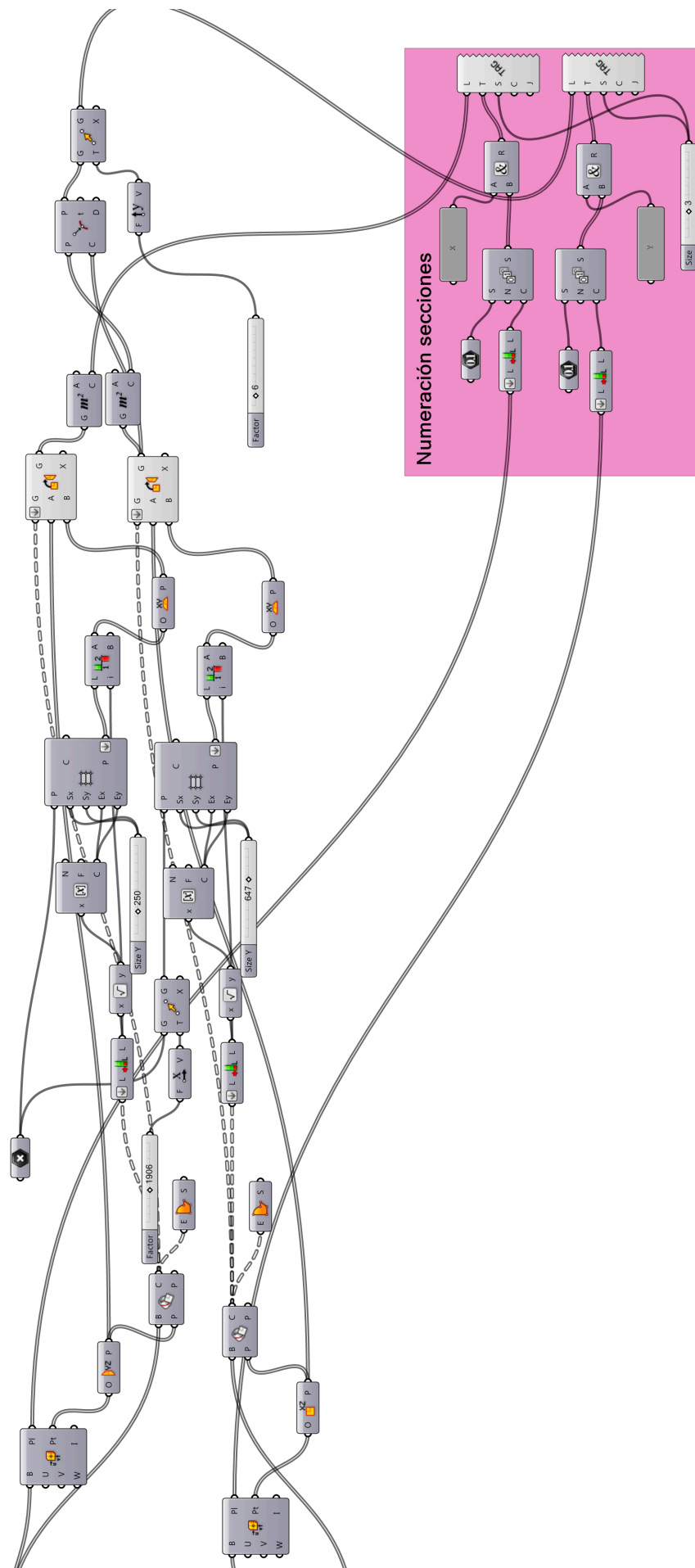


Fig. 74- Secciones divididas con su zonas de unión.

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

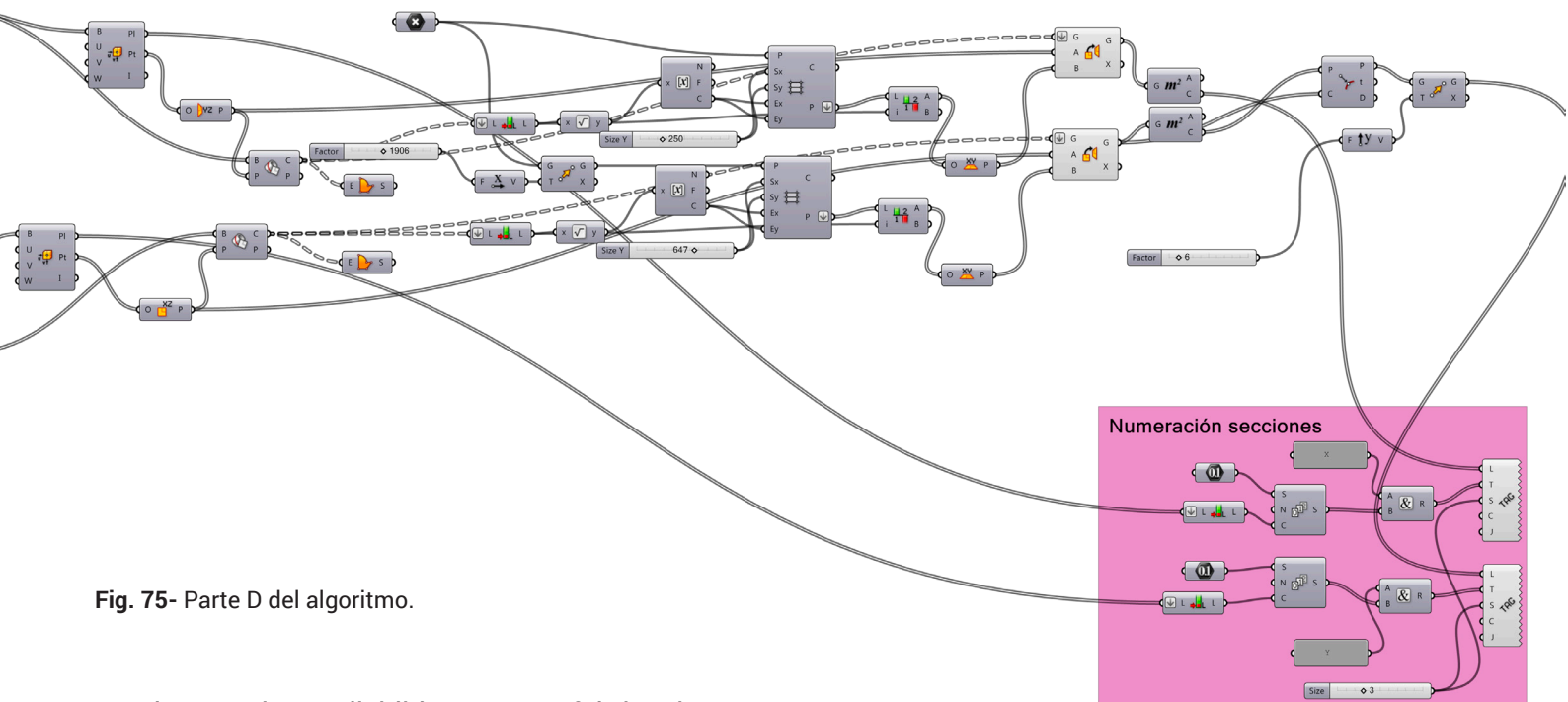


Fig. 75- Parte D del algoritmo.

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.76), 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.77).

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.78).

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

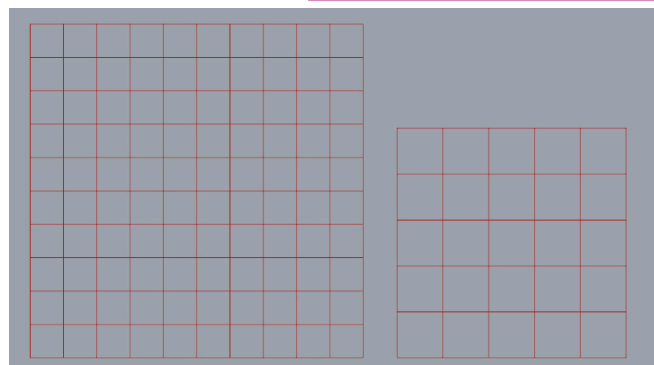


Fig. 76- Matriz rectangular.

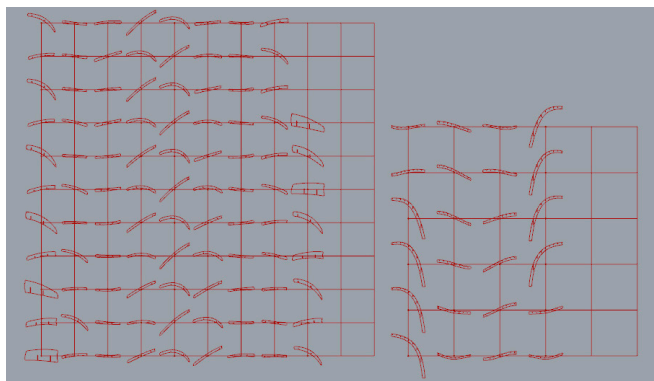


Fig. 77- Secciones en plano situadas en los vértices.

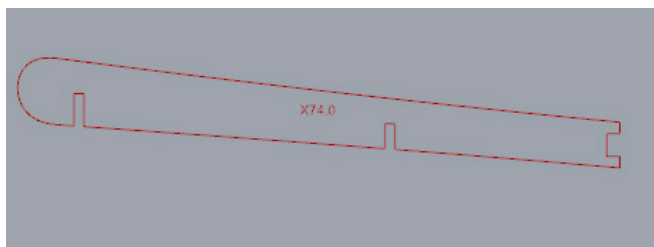
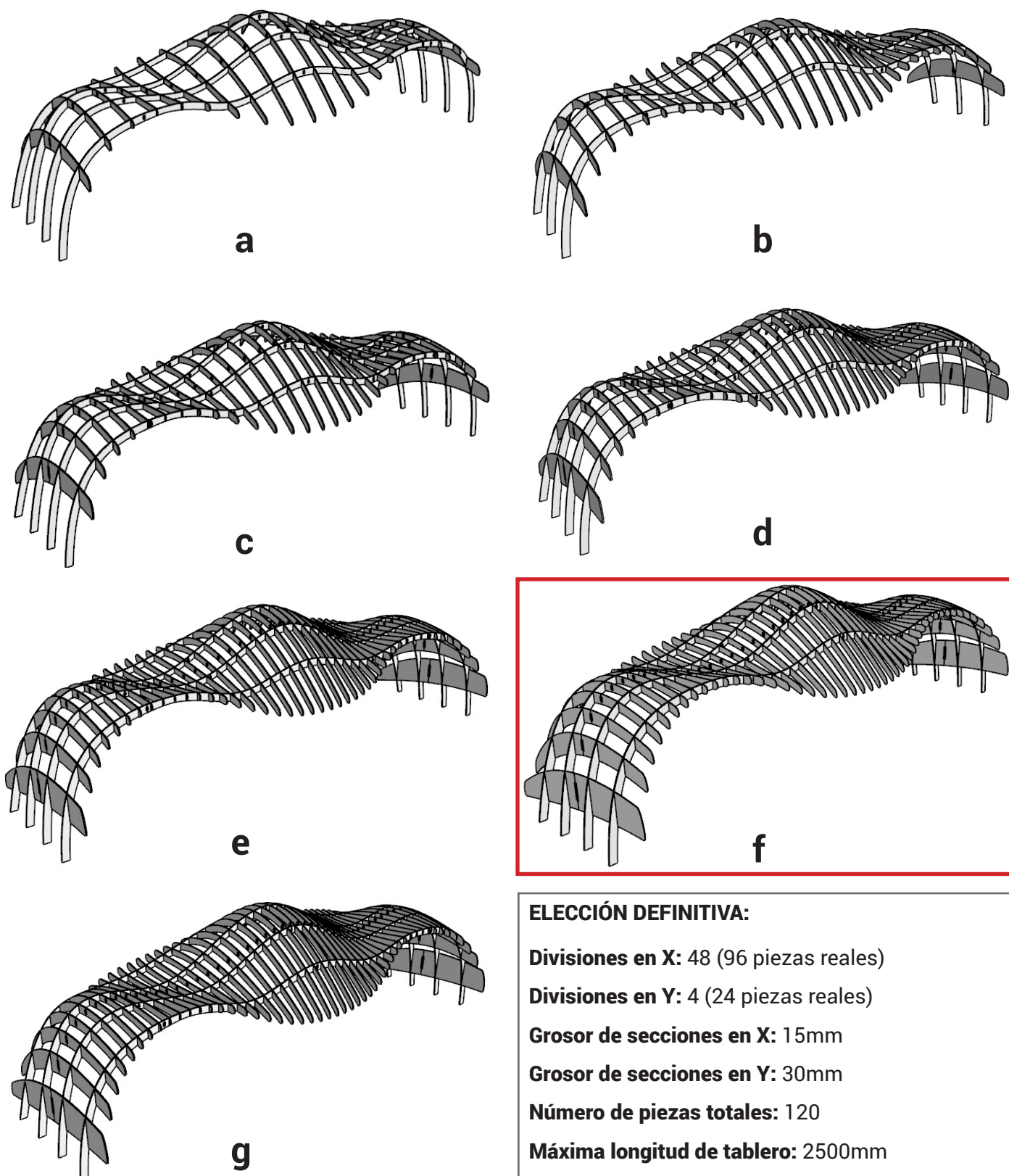


Fig. 78- Detalle de una de las secciones con su numeración

A continuación (**Fig.79**) se exponen las diferentes alternativas planteadas, cambiando los parámetros de entrada para ver que geometría resultante se obtenía.

(Para ver más información acerca de las alternativas: páginas **96 a 98** del ANEXO I: Dossier)

Tras valorar las diferentes posibilidades planteadas se decide seguir adelante con la alternativa **f** 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.



ELECCIÓN 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

Fig. 79 - a: 20 secciones. **b:** 30 secciones. **c:** 30 secciones y 4 secciones en y. **d:** 40 secciones. **e:** 45 secciones. **f:** 48 secciones. **g:** 50 secciones.

5.1.3 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.

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.) Se analizan los materiales **contrachapado** y **aglomerado**.

-**La malla**: Se mallan todos los sólidos con el tipo de malla sólida estándar, con un tamaño de elemento de 110mm.

-**Las cargas externas**: La acción de los focos y del logo.

-**Las fijaciones**: Las 4 secciones que soportan el peso se apoyan en su propia base, con restricción de geometría fija.

-**Los contactos**: Contacto rígido entre los sólidos.

En el análisis (**Fig.80**) se comprueba 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.

GRÁFICAS DE ANÁLISIS DE TENSIONES Y DE DEFORMACIONES DEL CONTRACHAPADO:

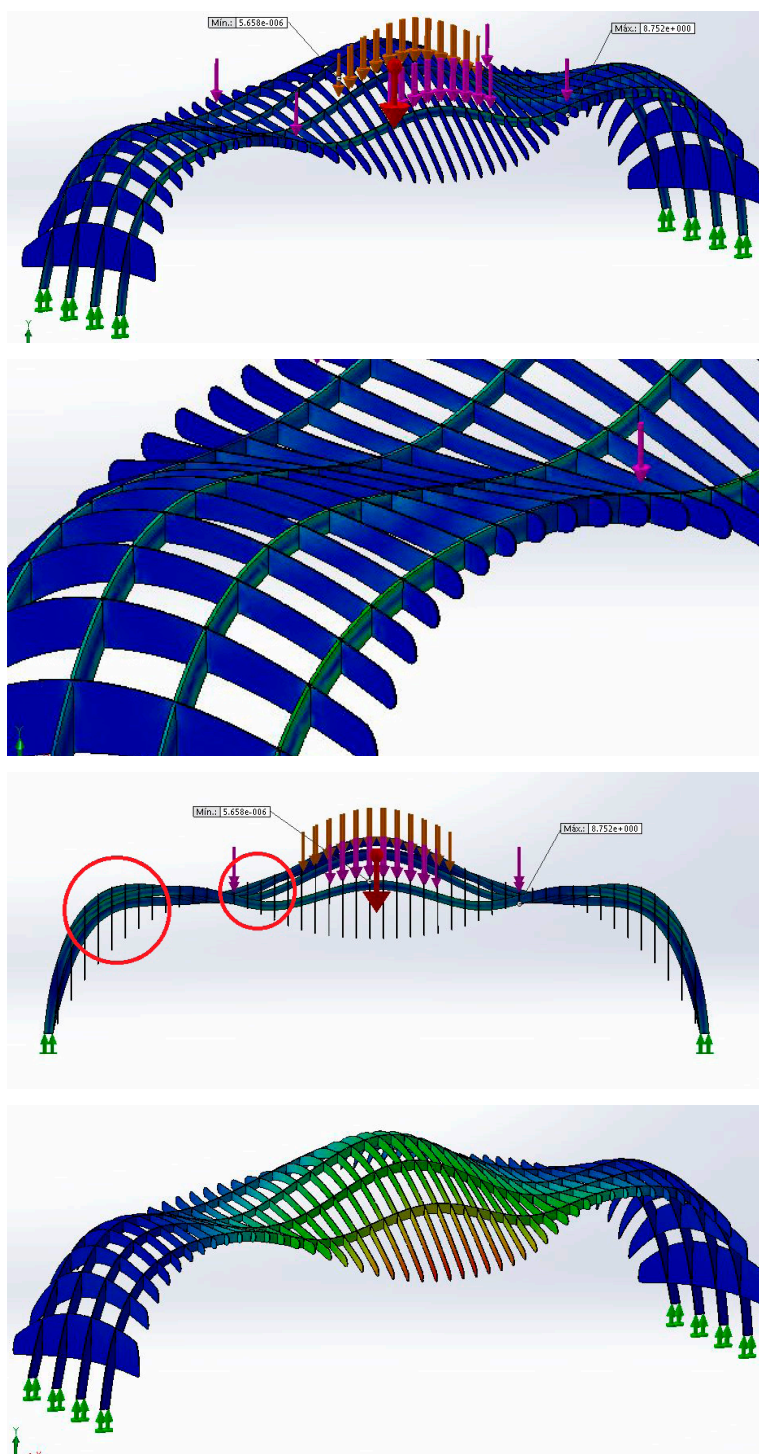


Fig. 80 - Gráficas de tensiones y deformación obtenidas del análisis estático.

(Para ver más información acerca del análisis estático: páginas 99 a 110 del ANEXO I: Dossier)

5.2 DESARROLLO DEL INTERIOR DEL STAND

5.2.1 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. ¿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).

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.81).

Con la superficie modelada, se proponen diferentes formas de teselado. Como se vio en la fase de investigación, existen numerosas maneras de cubrir una superficie con teselas, y para este caso se investigaron 6 diferentes (Fig.82). 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.

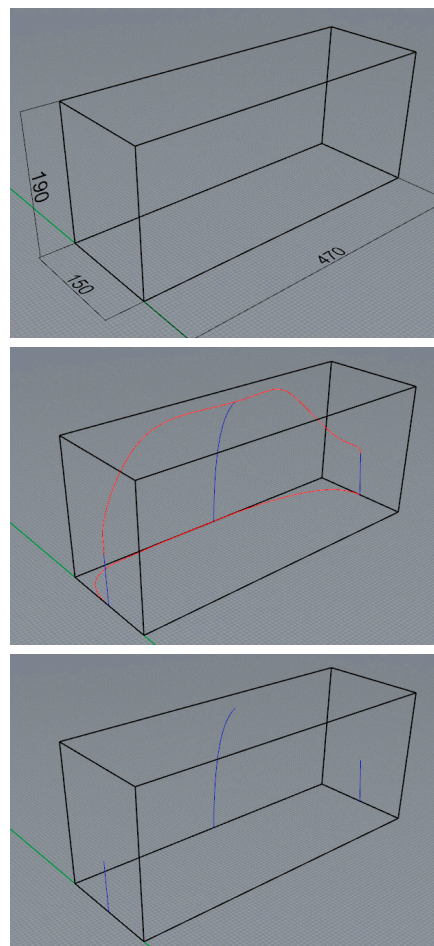


Fig. 81- Secuencia de imágenes de la construcción de la superficie con la caja delimitadora y las curvas.

(Para ver más información acerca del teselado y sus alternativas, páginas: 112 a 124 del ANEXO I: Dossier)

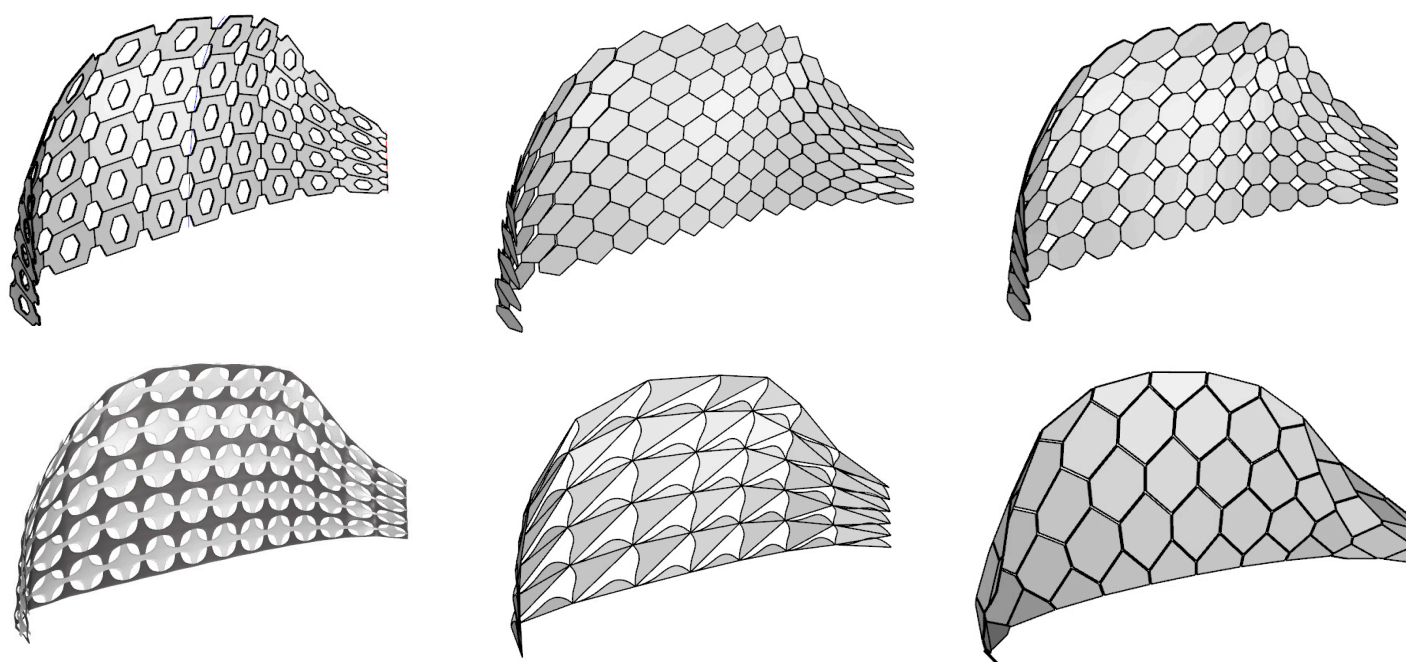


Fig. 82 - 6 alternativas de teselado planteadas.

TESELADO DEFINITIVO

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.

El diseño de formas basadas en la smart geometry es muy interesante, pero no hay que olvidar que el objetivo final es la materialización a partir de la fabricación digital, por lo que hay que analizar bien si el modelado obtenido es válido.

En la búsqueda de esa viabilidad, se plantea un algoritmo^[46] que esté basado en piezas planas, en este caso, piezas que siguen de nuevo un patrón de teselado regular hexagonal (**Fig.84**). 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) o WeaverBird que ofrecen algunas funciones necesarias para la transformación de las piezas en algo fabricable.

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.83**). 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.

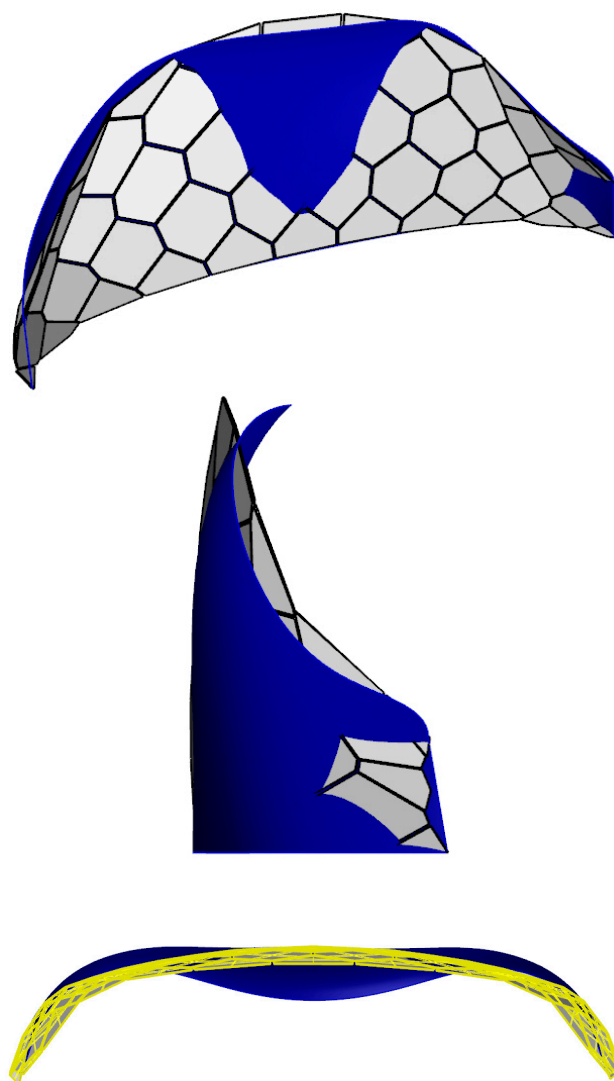


Fig. 83- Imágenes de la pérdida de curvatura de la forma final. En azul, la superficie original. En gris y amarillo, la superficie teselada obtenida tras aplicarle la definición de Grasshopper.

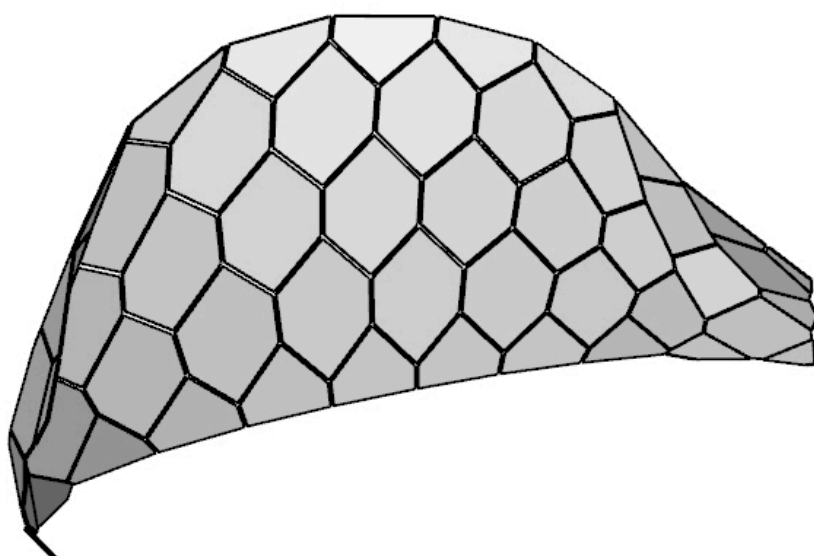


Fig. 84 - Imagen general del teselado definitivo.

(Para ver más información acerca del teselado definitivo y el funcionamiento del algoritmo: páginas 125 a 131 del ANEXO I: Dossier)

5.2.2 MUEBLES Y DISTRIBUCIÓN

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. 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 (**Fig.85**).

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.86**) 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.

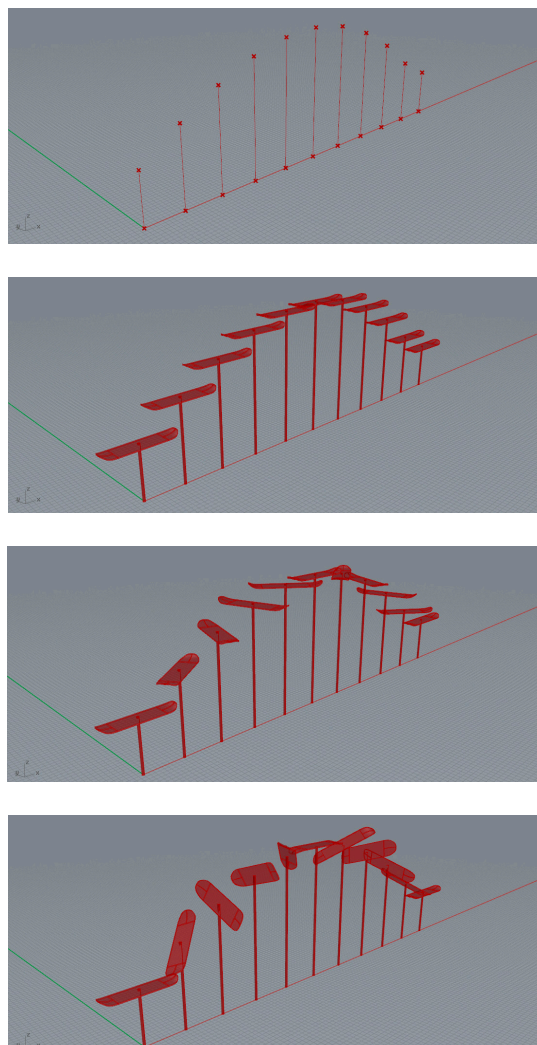


Fig. 85- Tablas giradas respecto al eje Z y al eje X.

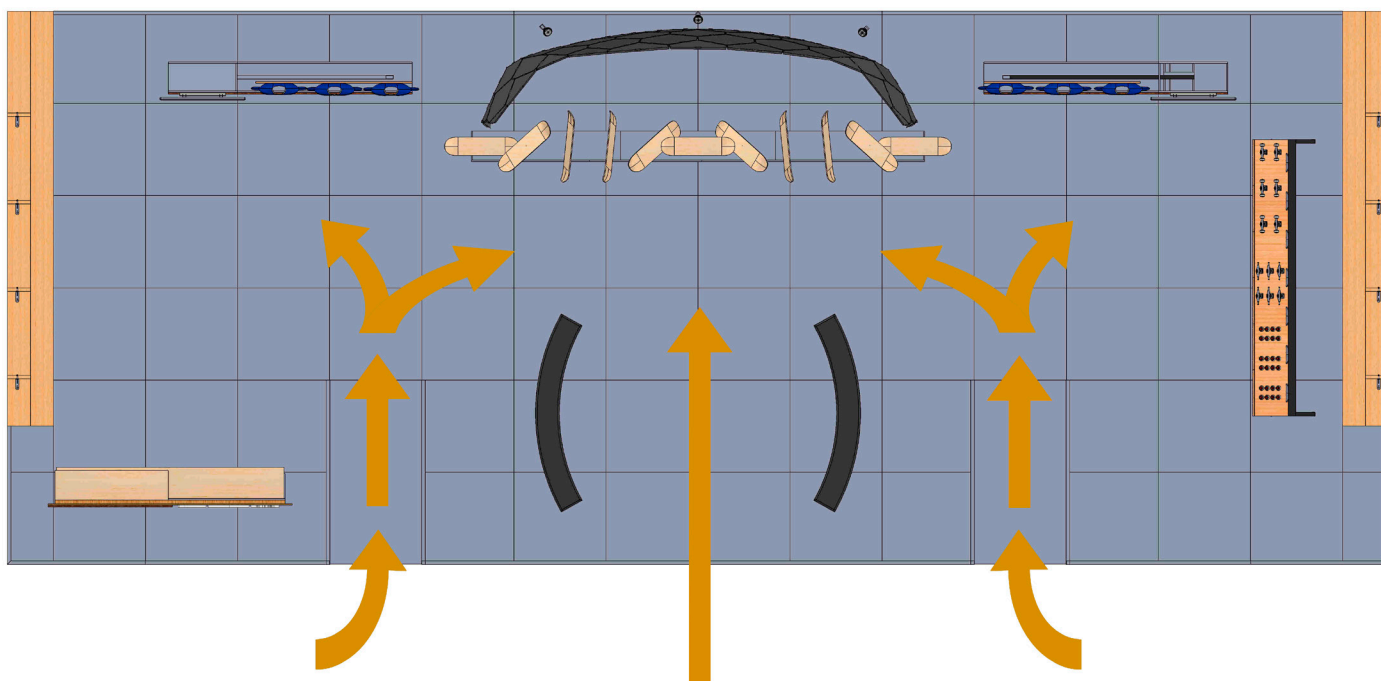


Fig. 86- Distribución del stand y flujo de gente.

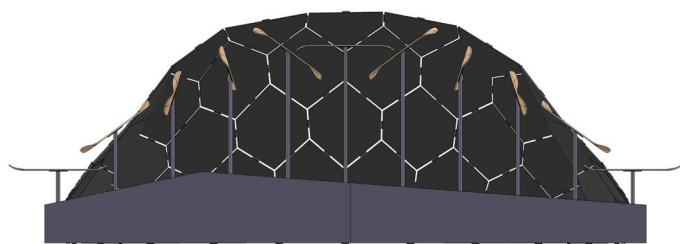


Fig. 87- Tablas girando y teselado.

1 - Tablas girando y teselado (Fig.87)

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.

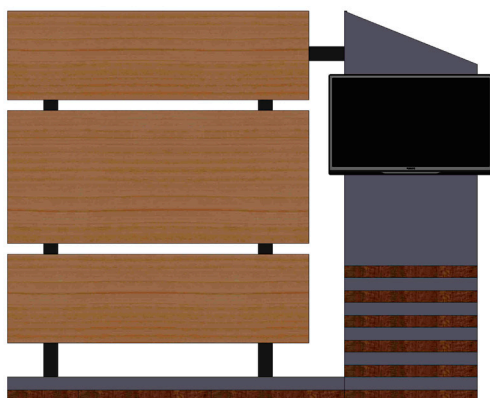


Fig. 88- Mueble televisión.

2 - Mueble televisión (Fig.88)

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.

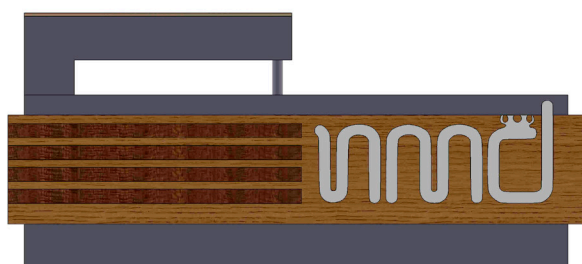


Fig. 89- Mostrador.

4 - Mostrador (Fig.89)

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.

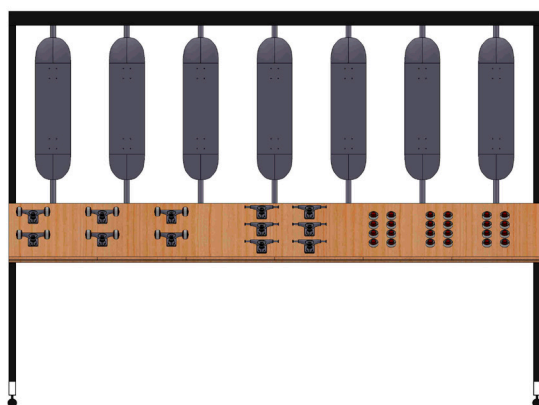


Fig. 90- Mueble lateral.

5 - Mueble lateral (Fig.90)

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.

(Para ver más información acerca de la distribución del stand y de los muebles que lo componen: páginas 132 a 136 del ANEXO I: Dossier)

5.3 RENDERS

(Para ver todos los renders: páginas 137 a 142 del ANEXO I: Dossier)



5.4 MONTAJE Y ENSAMBLAJES

Se ha tenido que resolver además la mayor parte de montajes y ensamblajes para las diferentes partes que conforman el stand.

La tarima del stand está construida con las siguientes piezas de catálogo (**Fig.91**):

Toda la estructura va armada con chapas y pasadores que las unen (**Fig.92**). 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.

Para la superficie teselada se organizan las secciones según el número que lleven marcado por el láser. Después se van uniendo unas con otras con unas bisagras (**Fig.93**). 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.

(Para ver toda la explicación del montaje: páginas **144 a 148** del ANEXO I: Dossier)

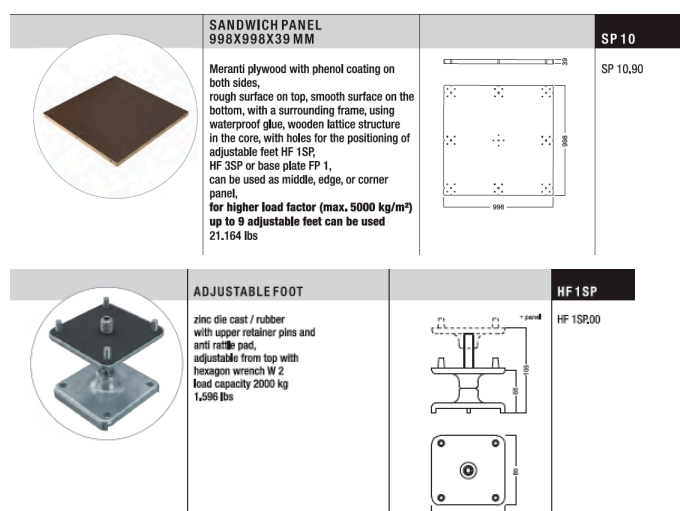


Fig. 91 - Imágenes del catálogo de OCTANORM.

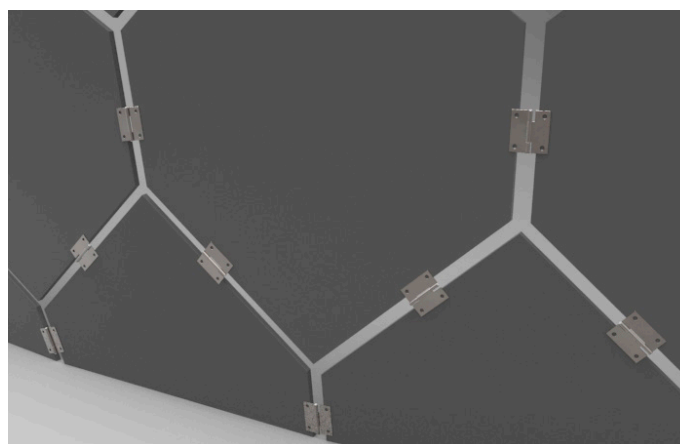


Fig. 93 - Unión de las piezas del teselado.



Fig. 92- Secciones unidas con chapas y pasadores.



5.5 MAQUETA

Con todo el diseño definido, se construye una maqueta para demostrar que el stand se puede llevar a cabo con tecnologías de fabricación digital. Para ello, se cortan todas las secciones, que se tenían en plano gracias al algoritmo, en tableros de contrachapado de 3mm (**Fig.94**). 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 no complicar la fabricación al tener que contar con un tablero único en vez de dos tableros de distintos 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.

(Para ver todas las imágenes de la maqueta: páginas 149 a 151 del ANEXO I: Dossier)

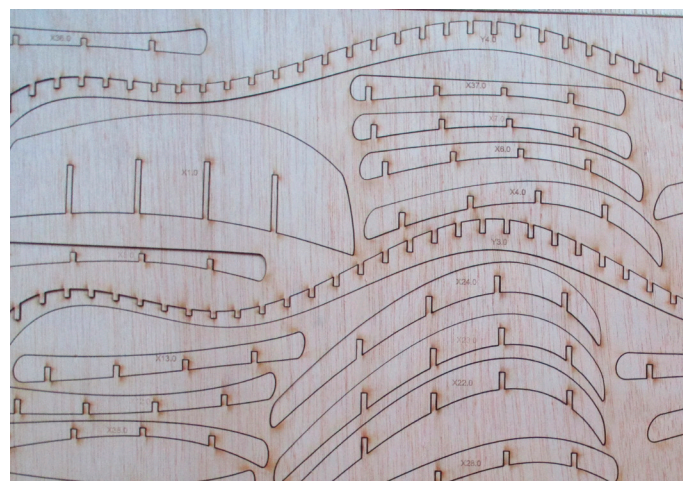


Fig. 94- Corte de las secciones.

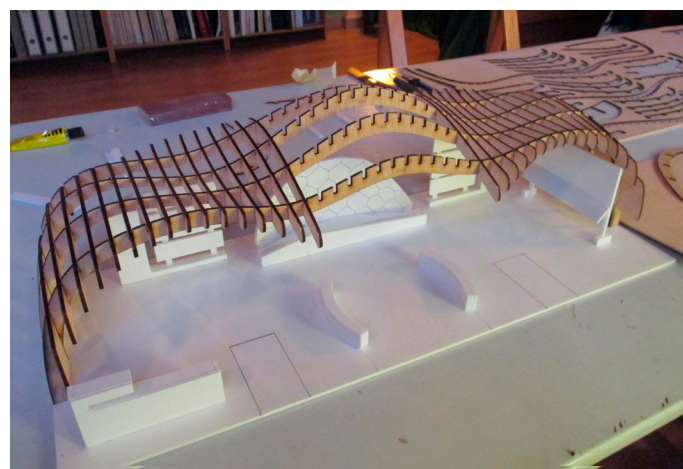


Fig. 95- Montaje de la estructura.

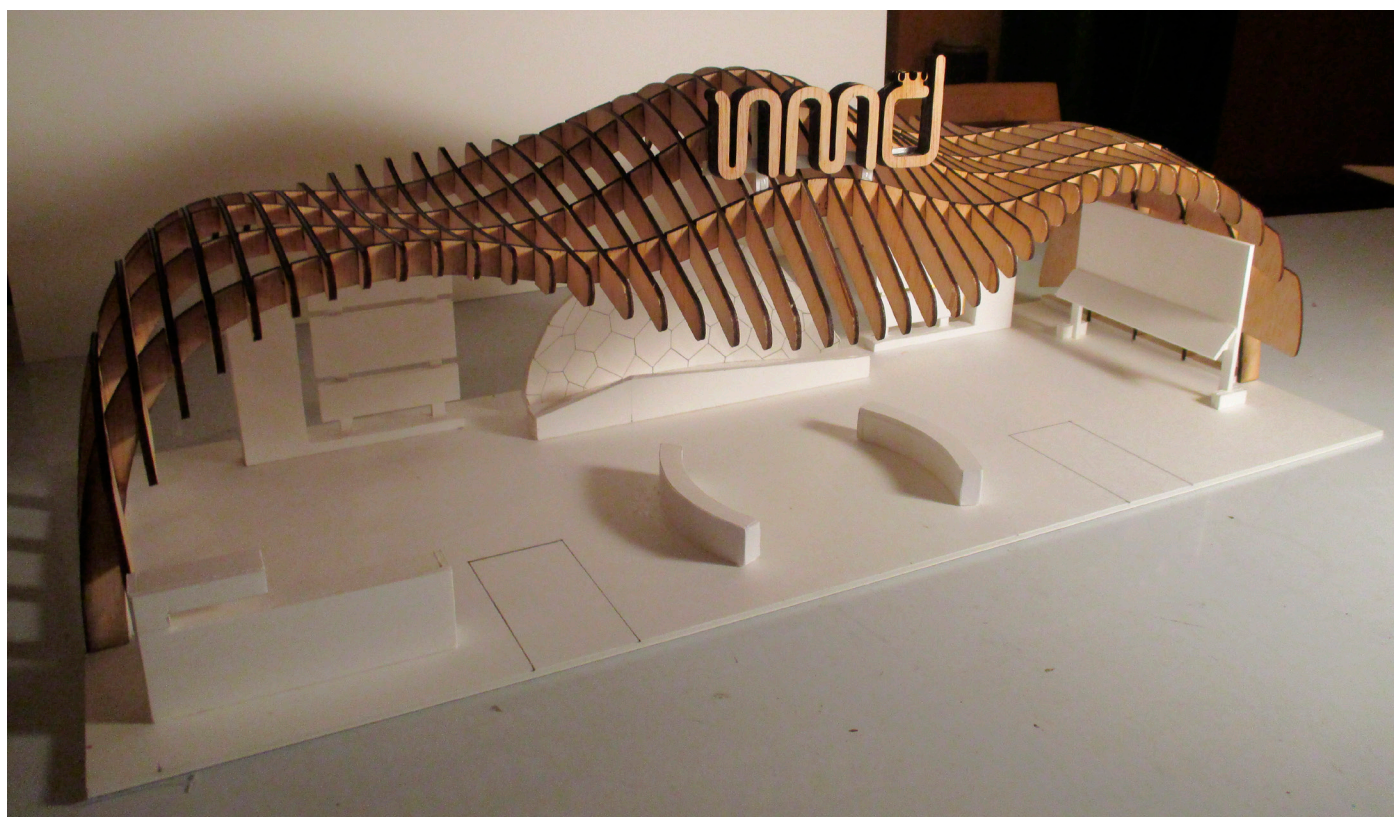


Fig. 96- Maqueta terminada.

5.6 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.

TRABAJO FUTURO

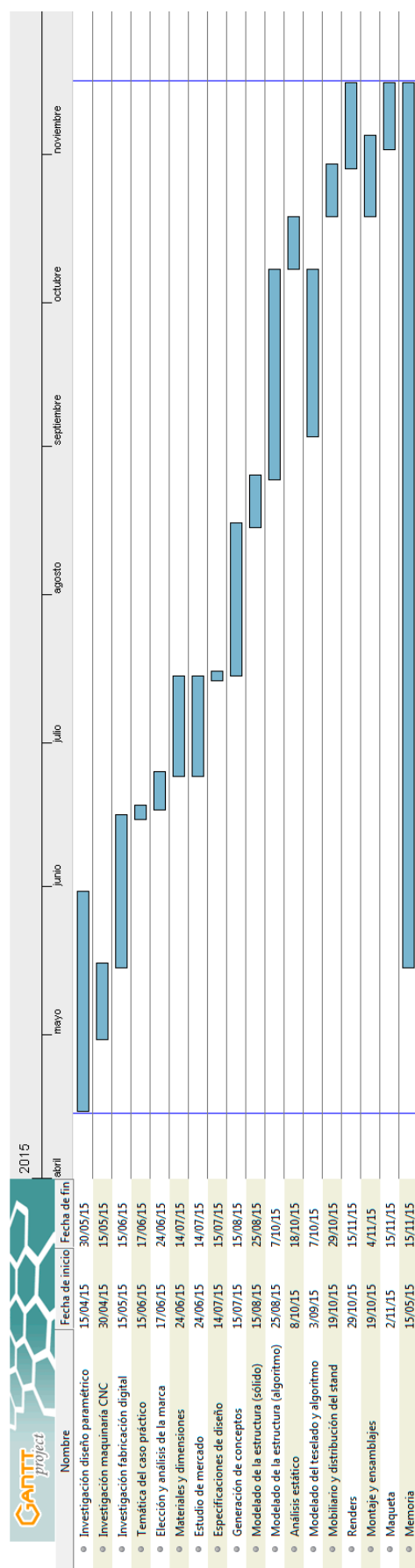
En lo que se refiere al trabajo futuro, quedan todavía varios frentes abiertos:

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.

6. DIAGRAMA TEMPORAL DE LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO



CALENDARIO DE TAREAS:

Se divide el proyecto en las sub-tareas a realizar, reflejadas en la imagen con su fecha de inicio y final planificadas.(Fig. 97)

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.

Fig. 97- Diagrama temporal de las tareas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [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
- [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
- [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
- [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/sls-y-sla-que-son-y-en-que-se-distinguen/) 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/mx/impresoras-3d/technologies/fdm-technology) 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
- [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
- [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.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [19] "Vaulted Cork Pavillion / Pedro de Azambuja Varela + Maria João de Oliveira + Emmanuel Novo" artículo de 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 Link: 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 Link: 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 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 Keskiarja, Pekka Tynkkynen con Kristof Crolla y Sebastien Delagrangre. Links: <http://blog.bellostes.com/?p=20533> y <http://dragonskinproject.com/>

7. BIBLIOGRAFÍA

- [37] Artículo de Wikipedia sobre la arquitectura efímera. https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_ef%C3%ADmera
- [38] Historia de la marca Nomad Skateboards, obtenida de su web 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://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
- [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>

7. BIBLIOGRAFÍA 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.6 - Escultura diseñada por Ora-Ito usando Grasshopper. Recuperado de: <https://digitalsubstance.wordpress.com/tag/image-heightfield/>

Fig.7 - Captura de pantalla del software CATIA. Recuperado de: http://www.opportunitiesdoor.com/s/cc_images/cache_2433620812.png

Fig.8 - Captura de pantalla del software Autodesk 3DS Max. Recuperado de: <http://www.autodesk.es/products/3ds-max/features/all/gallery-view>

Fig.9 - Captura de pantalla del software Autodesk Revit. Recuperado de: <http://arquidesigns3d.blogspot.com.es/2012/10/revit.html>

Fig.14 - Prototipo de un menanismo impreso en 3D. Imagen de: <http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/tech-powder-binding-bonding.html>

Fig. 15- Vista 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. 16- Vistas de "Artificial Topology". Fotos realizadas por Masahiro Hoshida. Recuperado de: http://www.fads-design.jp/others/architec_03/detail.html

Fig. 17- Vistas de la mesa "Sectionimal". Recuperado de: http://www.dezeen.com/2009/12/16/the-sectionimal-by-gt_2p/

Fig. 18- Teselación 104 de Escher. Recuperado de: <https://www.pinterest.com/pin/317714948685013664/>

Fig. 19 y 20- Teselaciones regulares y semirregulares. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Teselado>

Fig. 21- Teselación no regular. Recuperado de: <http://traselastrodeecher.blogspot.com.es/>

Fig. 22 y 23- "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-spiky-pavilion-with-facademade-from-bioplastics-by-itke/>

Fig. 24 y 25-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. 26- "Rigid Fold Gallery" Imágenes de Tomohiro Tachi. Recuperadas de: <http://www.grasshopper3d.com/profile/TomohiroTa>

Fig. 27 y 28- "Cardboard Banquet". Proyecto de la Universidad de Cambridge. Recuperado de: <http://www.pleatfarm.com/2009/11/09/cardboard-banquet-cambridge-university/>

Fig. 29-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. 30- 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. 31 y 32 - 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. 33 y 34- 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. 35, 36- 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-carpentry-the-selfsupportingframework-/7000526>

7. BIBLIOGRAFÍA Imágenes

Fig. 37- 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. 38 - Imagen de la marca Nomad obtenidas de su página web oficial: www.nomadskateboards.com

Fig. 39- Tableros de contrachapado. Imágenes de: <https://tecnokent.wordpress.com/2012/02/22/389/>

Fig. 40- Tableros laminados. Imágenes de: <http://www.dekinsa.es/cgi-vel/dekinsa/index.pro>

Fig. 41- Tableros aglomerados. Imágenes de: <http://www.tafisub.com/tablero-impreso.html>

Fig. 42- Tableros de densidad media. Imágenes de: <http://www.nationalplyservices.com/medium-density-fibreboard-mdf/>

Fig.43 - Imagen de un stand diseñado por Contemporanea Eveneti. Imágenes de: <http://www.contemporaneaeventi.com/>

Fig. 44- Imágenes del stand para Toyota en la feria ArteBA 2008. Obtenidas de: http://www.arquimaster.com.ar/disenio/nota_stand_artek.htm

Fig. 91. - Imágenes del catálogo de OCTANORM. Catálogo sacado de <http://www.octanorm.es/home2.aspx>