

**MIATD 2009-2010 \_ CUADERNO 1**  
FABRICACIÓN DE MODELOS PARA LA ARQUITECTURA

**MIATD 2009-2010 \_ CUADERNO 1**  
**FABRICACIÓN DE MODELOS PARA LA ARQUITECTURA**

© Máster Universitario de Innovación en Arquitectura: Tecnología y Diseño.  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura  
Av. Reina Mercedes, 2. 41012 - SEVILLA

Coordinadores de la publicación: Juan Carlos Gómez de Cózar y Roque Angulo Fornos

Editores literarios: Juan Carlos Gómez de Cózar y Roque Angulo Fornos

Diseño y maquetación: Roque Angulo Fornos

Impresión: Argüelles Servicios Gráficos Digitales, S.A.U.

I.S.B.N.: 978-84-693-3511-6

## Índice

Introducción	5
Aportaciones	9
Mallas de barras para la arquitectura ?	11
Grasshopper. Primeros pasos	25
La seducción paramétrica	35
Modelos	49

# INTRODUCCIÓN

Una de las premisas fundamentales del Master de Innovación en Arquitectura es la de asociarse a una línea editorial que permita divulgar sus contenidos y resultados.

En esta línea se está trabajando tanto en monografías, como en cuadernos dedicados a divulgar trabajos realizados.

Este primer cuaderno, dedicado a la fabricación digital de modelos, expone los resultados de un ejercicio desarrollado por los estudiantes de la promoción 2009/10.

Dentro del contenido instrumental del Máster, dedicar parte de la docencia al diseño a partir de parámetros, fue una premisa básica.

Con el ejercicio se pretendía poner de manifiesto que los procesos de diseño en arquitectura no pueden estar al margen de los materiales y de sus sistemas de fabricación y/o montaje.

Por otro lado, desde el principio quedó claro que se estaba fabricando un modelo y que las reglas (de todo tipo) que se aplican a la fabricación de un modelo no son totalmente extrapolables a la construcción de un objeto real a su escala real [1].

Sin embargo, existe cierto paralelismo cuando se exploran las posibilidades de un proceso de diseño a partir de las potencialidades (positivas o negativas) de los elementos que intervienen.

Básicamente, se trataba de obtener una geometría continua que paulatinamente progresara desde una base cuadrada hasta una terminación circular.

La superficie definida debería tener en cuenta que a partir de su geometría se iba a definir un modelo fabricado en DM con cortadora láser.

No se propuso ningún uso determinado para el objeto, con idea de evitar prejuicios formales.

Como se verá, no todos los modelos han seguido el mismo proceso, ni han utilizado las mismas herramientas. Entendemos que esto enriquece el proceso. De forma curiosa, la mayoría han llegado a conclusiones similares.

El cuaderno comienza con tres artículos, con idea de centrar el tema tratado. La idea es que a partir de la lectura de éstos, cualquiera (con pocos conocimientos) pueda iniciarse en el manejo de los procesos que aquí se destacan.

Queremos agradecer a los estudiantes y profesores de la promoción 2009/10 el interés y el ímpetu mostrados para que este cuaderno sea posible.

Asimismo, queremos destacar el apoyo incondicional de los responsables, maestros de taller y becarios del Fab-Lab de la ETS de Arquitectura de Sevilla para cualquier cuestión relacionada con el Máster.

Por último, agradecemos el apoyo de la ETS de Arquitectura de Sevilla.

Los editores

[1] Observamos, en los últimos tiempos, infinidad de publicaciones dedicadas a diseño paramétrico en donde sólo se fabrican maquetas que jamás podrían construirse a escala real.



## Mallas de barras para la arquitectura ?

Juan Carlos Gómez de Cózar

*Infiérese, en fin, de aquí, de una manera lógica, y sin dejarnos llevar por exaltadas visiones, que positivamente existe por descubrir un infinito número de estructuras torcidas y apropiadas, de cuya realización resurgiría, indudablemente, un nuevo mundo de formas de construcción, para el cual nuestra conocida arquitectura no significa más que un pobrísimo caso raquítrico y particular, análogamente al representado por la geometría euclidiana, que por muchos siglos ha constituido inconscientemente un simple corolario de la grandiosa ciencia de las formas proyectivas, arrancadas en el siglo pasado al inagotable arcano del sentimiento por la videncia prodigiosa de Poncelet y generalizadas en nuestros días por el asombroso genio de Staud . [1]*

Llevo años trabajando con mallas.

Al principio me interesó mucho su aspecto formal. Sobre todo esa apariencia de *esqueleto ordenado* en donde el equilibrio entre vacío y sólido se manifiesta construido. Con el tiempo fui descubriendo que una malla para la arquitectura debe ser mucho más que un conjunto de barras unidas con una *apariencia curiosa*.

Si lo pensamos detenidamente, una malla tiene mucho que ver con una matriz, desde el punto de vista del orden y jerarquía que establece entre sus elementos (sobre todo si se tiene en cuenta que la malla debería establecer la modulación de estructura, envolvente y cobertura). Un error bastante frecuente en la actualidad es entender la malla sólo como componente de la estructura sin establecer relaciones entre ésta y el resto de elementos (constructivos y de todo tipo) que acaban definiendo, realmente, al edificio.

Desde un punto de vista general una malla puede entenderse a partir de la discretización de una geometría continua. Si ésta es muy delgada la malla será de una sola capa y si tiene grosor la malla será de dos capas con barras



[Fig. 1] Piscina Municipal de Gines, Sevilla (J.C. Gómez de Cózar y Rafael García Diéguez, 2001)



[Fig. 2] Cubierta de edificio de oficinas en San José de la Rinconada, Sevilla (J.C. Gómez y S. Bermejo Oroz, 2007)

[1] Félix Cardellach. *Filosofía de las Estructuras*. Barcelona, 1910.

de conexión entre ambas. Una de las ventajas que presentan las mallas es que pueden adaptarse a geometrías discontinuas de todo tipo mediante la unión de trozos de mallas con barras sueltas o con otras mallas.

Desde un punto de vista geométrico, para su generación, una malla necesita un número determinado de nudos de los que es necesario conocer sus coordenadas (x, y, z) y un número de barras de las que es necesario conocer sus nudos de inicio y final.

Como es lógico, los nudos no deberían pertenecer a una nube dispersa. Si la malla es para la arquitectura, el lugar geométrico que liga a todos los nudos debería cumplir una serie de parámetros que justifiquen su elección [2]. Hay factores mecánicos y constructivos que no se pueden obviar.



[Fig. 3]

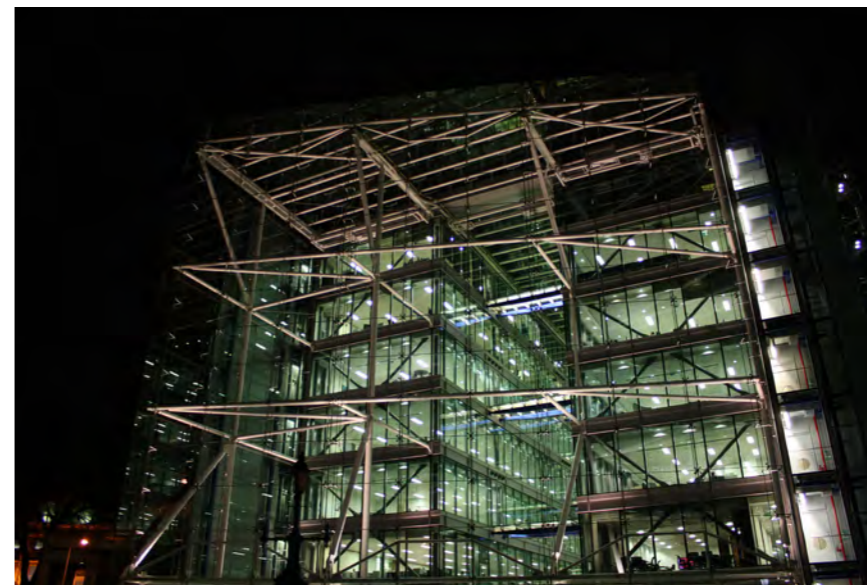


[Fig. 4]

[2] Las posibilidades actuales que presentan la parametrización y el control numérico han ampliado enormemente el campo de posibilidades, a efectos de acertar en la elección de la geometría correcta.

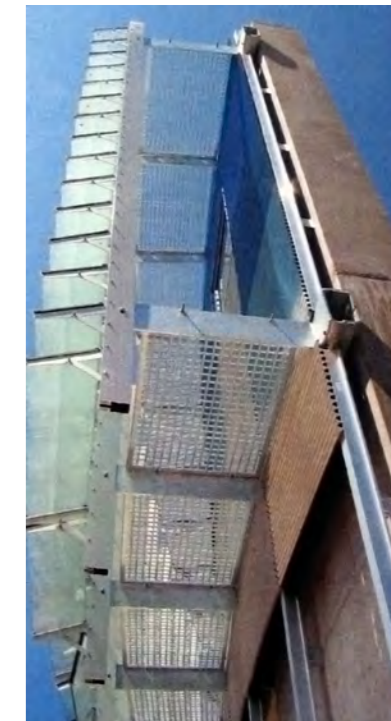
[Fig. 3] Cubierta resuelta con malla de una capa en el British Museum. Foster&Partners, 2003.

[Fig. 4] Torre con malla de dos capas en Gines (J.C. Gómez y R. García Diéguez, 2001).



[Fig. 5] Envolvente transparente adaptada a una malla compatible. Londres, 2010.

[Fig. 6] Torre Agbar, Barcelona. Envolvente construida capa a capa sobre una base continua de hormigón armado.



Desde el punto de vista mecánico, no todas las geometrías funcionan igual. En función de las acciones hay formas que se comportan mejor que otras. Cuando el peso propio es la acción fundamental es bastante fácil obtener la forma adecuada. Sin embargo, cuanto más ligeras son las mallas, el peso propio importa menos y las acciones de viento (en función de la exposición del edificio) adquieren mucha importancia. La decisión sobre si la malla debe tener una sola capa o dos, en situaciones como esta, cobra una gran importancia.

Desde el punto de vista constructivo la densidad de malla (número de barras por m<sup>2</sup>) tiene una influencia notable en el montaje (tamaño de las barras y número de nudos) y en la compatibilidad con la envolvente. Es triste observar casos en donde no se ha prestado atención a la compatibilidad de la malla con la envolvente y ha sido



necesario utilizar nuevas barras (secundarias) como interfase entre la estructura y la envolvente [3].

Al final, el diseño elegido debería posibilitar (y contener la información) la canalización de todas las redes que confluyen en el edificio (incluidos los espacios, las relaciones entre éstos y las circulaciones). Sólo así se estaría definiendo una malla para la arquitectura.

Lo que hace único a un edificio es su capacidad para adaptarse a un lugar concreto. Fabricar elementos no implica producir en serie. En la actualidad pueden fabricarse elementos singulares con el mismo esfuerzo que se emplea en fabricar elementos en serie. Ahí está la diferencia de nuestra época con las anteriores. Actualmente somos capaces de concebir un diseño que tenga en cuenta todos los condicionantes del lugar y que, además, pueda construirse de un modo rápido y eficaz como si se tratase de una construcción genérica.

Los problemas surgen cuando el diseño sólo está guiado por el gesto formal y es ajeno al resto de cuestiones que hay que introducir de un modo artificial, recargando, disimulando y encareciendo el conjunto en el mejor de los casos...

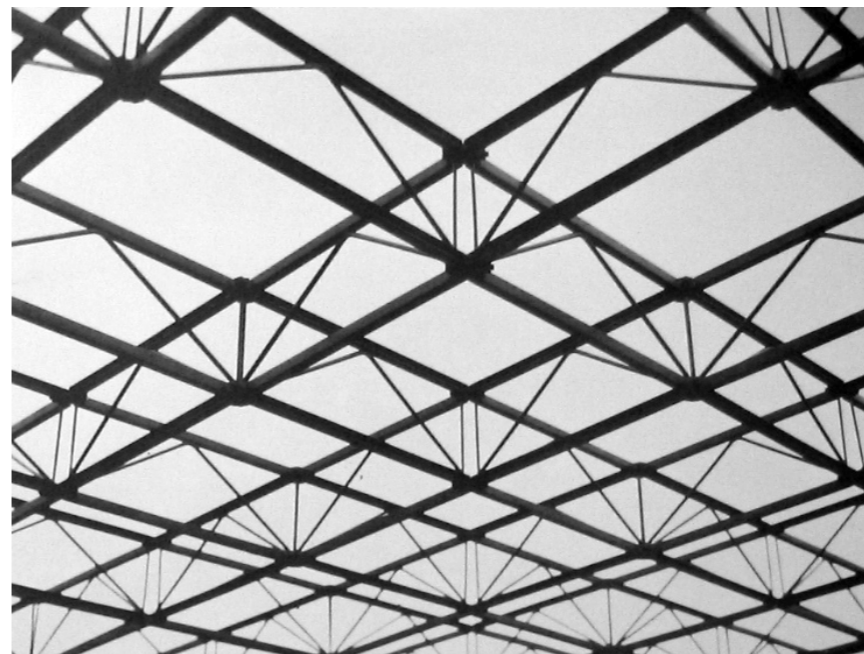
En los últimos quince años, desde el punto de vista instrumental, todo ha cambiado muchísimo. Las herramientas de control formal y las predictivas con su posibilidad de interconexión permiten una aproximación al objeto diseñado hasta ahora desconocida.

También los procesos de fabricación han cambiado. Aparentemente, parece que una malla se construye con mucha facilidad. Sin embargo, si ésta es muy densa, hay que unir un número enorme de barras (utilizando pernos o tornillería) a sus respectivos nudos y controlar estas uniones. Hace años Jean Prouvé [4] reconocía que el futuro no estaba en los pernos, en nudos con uniones atornilladas o con pasadores. En su momento propuso la posibilidad (y la necesidad) de construir con mallas de paneles con uniones machihembradas. El tamaño de los paneles debía ser tan grande como se pudiera en función de los medios disponibles.

Hay situaciones intermedias entre las mallas de muchas barras y la construcción íntegra por paneles. Nos referimos a la construcción por elementos continuos de escala suficiente que una vez ensamblados formalizan una malla

[3] *Casi toda la arquitectura que se construye en la actualidad parte de una estructura (malla o entramado) a la que a través de una subestructura se le adapta la envolvente.*

[4] *Conversaciones con Jean Prouvé. Armelle Lavalou (ed.). Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 2005.*



minimizando enormemente el número de uniones complicadas a realizar [fig. 7].

Por lo tanto, el éxito de la construcción de este tipo de elementos depende de una subdivisión en partes orientada a su montaje. Visto así, además de un único lugar geométrico que ligue a todos los puntos de la malla será necesario añadir el que parte de los nudos de esa superficie pertenezcan, además, a un elemento geométrico (plano o curvo, de una o dos capas) conocido y controlable, de tamaño suficiente, que permita ensamblar la malla con facilidad.

[Fig. 7] *Escuela de Arquitectura de Nancy (Jean Prouvé, 1969-70). 3500 m<sup>2</sup> resueltos con paneles de malla ensamblados entre sí y minimizando así el número de uniones a realizar en obra.*



[Fig. 8] Diferentes tipos de superficies generadas a partir de la utilización de curvas definitorias. Figuras superiores, modelos de bóvedas hispano-musulmanas según Torres Balbás (arcos entrecruzados). Figura inferior izquierda, bóveda casetonada en la Iglesia de San Miguel de Morón, Sevilla (traslación de arcos de directriz idéntica en la dirección corta), Biblioteca Nacional de París, H. Labrouste (bóvedas baidas de meridianos y paralelos)

Como ejemplo sencillo para ilustrar lo anterior, centrémonos en el caso de definir una superficie a partir de un conjunto de curvas que se han entrecruzado.

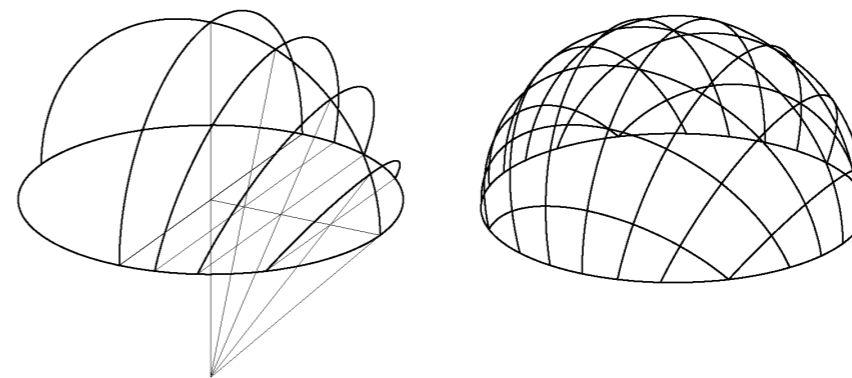
Existen varias formas (inmediatas) de imponer curvas definitorias: por planos verticales (ortogonales y con orientaciones diversas), por planos verticales y horizontales (ortogonales, por meridianos y paralelos), por planos de orientación libre, etc... A lo largo de la historia, se han utilizado procedimientos de todo tipo [fig. 8].

La elección de un proceso determinado no puede ser independiente del tipo de superficie que se va a definir. No es lo mismo una superficie de revolución, que de traslación o de forma libre.

La idea es que en cada punto de la superficie los planos utilizados sean perpendiculares. En el momento en que la inclinación de la superficie respecto de los planos es pequeña (alejada de la normal) el plano es casi tangente a la superficie y carece de sentido su utilización.

La utilización de meridianos y paralelos parte de dos familias ortogonales en donde una de ellas (los meridianos) tienen la ventaja de producirse a partir de un haz de planos coincidentes en una recta vertical que coincide con el eje de la superficie.

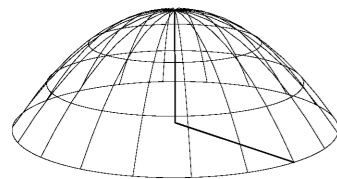
Si el eje del haz de planos es horizontal y cada plano, además, está pautado por una malla plana contenida en un plano horizontal dispuesto entre el haz y la superficie a definir, se obtienen familias de curvas por proyección. En función del tipo de malla proyectada el resultado será distinto. Esto último abre una serie de posibilidades enormes ya que las dos familias de curvas que genera la superficie se cortarán formando un ángulo cualquiera más o menos ortogonal a la superficie en función del tipo de malla y del foco de proyección [fig. 9].



[Fig. 9] Obtención de superficies a partir de la intersección con una familia de planos que pasan por una malla definida en un plano horizontal.



[Fig. 10] Auditorio Municipal, Gines (Sevilla). J.C. Gómez de Cózar y S. Bermejo Oroz. Malla compuesta por arcos continuos paralelos de curvatura idéntica y barras transversales de unión.



[Fig. 11] Paraboloides de revolución definido a partir de una malla de meridianos y paralelos.

Por último, no hay que olvidar que el proceso de fabricación debe ser tenido en cuenta. La posibilidad actual de fabricar barras curvadas de longitud considerable abre toda una serie de posibilidades evitando así uniones excesivas [fig. 10].

En esta publicación se introducen procedimientos de control formal basados en parametrizar las variables que intervienen. Con idea de ilustrar el proceso seguido y plantear alternativas de control de la forma, realizadas a medida con programas informáticos, se ha realizado una herramienta sencilla.

La idea es cubrir una superficie circular con una geometría continua que posibilite peraltes diversos y así poder controlar, para cada escala, el perfil más adecuado.

La geometría base elegida es el paraboloides de revolución. Como cualquier geometría de revolución se presta a ser discretizado por planos verticales y horizontales. En la herramienta desarrollada, hemos propuesto obtener una malla por proyección.

La expresión que define la altura de los puntos de un paraboloides de revolución, cuyo vértice dista (b) de la cota 0 es:

$$z = \frac{-b}{a^2}(x^2 + y^2) + b$$

Con idea de conseguir un reparto equilibrado de barras en la malla espacial, se va a buscar una malla plana para proyectar con condiciones definidas. Se va a partir de una parábola máxima resultado de la intersección con un plano vertical (Y=0) de ecuación:

$$z = \frac{-b}{a^2}(x^2 + b)$$

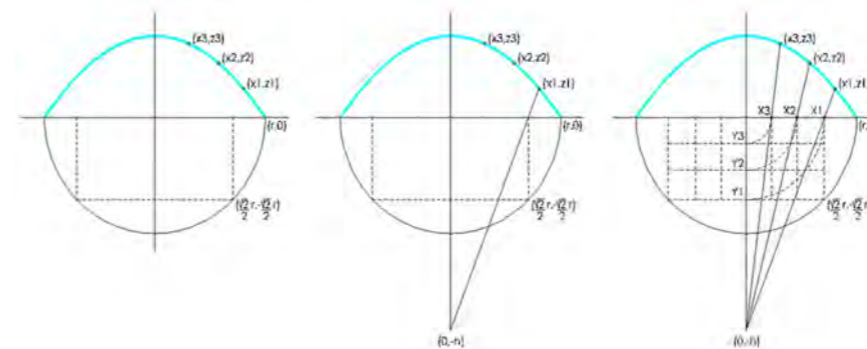
A partir de la frecuencia [5] elegida se divide la parábola seleccionada en un número de partes iguales [6].

La intersección con el plano Z=0 es una circunferencia de radio r. Si se le inscribe un cuadrado, cada lado medirá r/√2. Por lo tanto, las coordenadas del extremo de este cuadrado en su encuentro con el plano Y=0 son

(r√2/2, 0,0). Si se une el primer punto (x1,y1) con el punto (√2/2 r,0) y se prolonga hacia abajo, se obtiene el foco de proyección (0,-h).

$$h = r \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{z1}{(x1 - r \frac{\sqrt{2}}{2})}$$

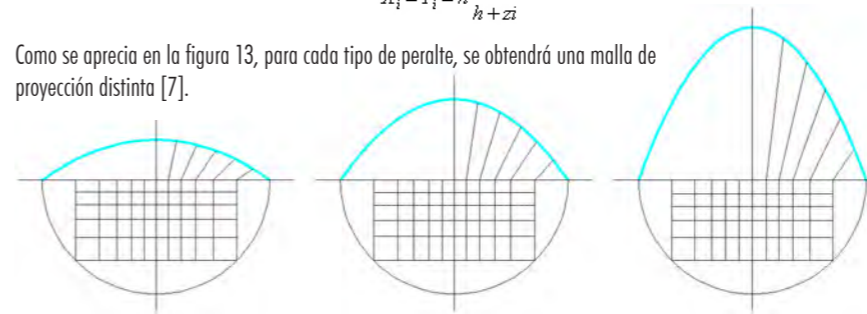
La posición del foco responde a la siguiente expresión:



Trazando desde el foco hasta el resto de puntos en la parábola se acaba de definir la malla plana compensada que servirá para obtener el resto de puntos en el espacio. Las coordenadas de los diferentes puntos de la malla, pueden obtenerse de forma numérica, a partir de las expresiones siguientes:

$$X_i = Y_i = h \frac{x_i}{h + z_i}$$

Como se aprecia en la figura 13, para cada tipo de peralte, se obtendrá una malla de proyección distinta [7].



[5] Número de partes en las que se divide cada uno de los cuadrantes que define a la malla.

[6] La longitud exacta de un tramo de parábola desde la horizontal hasta una apertura α, responde a la siguiente expresión:

$$L = \frac{a^2}{2b} \left( \frac{\text{sen } \alpha}{2 \cos^2 \alpha} + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\alpha + \pi}{2 + 4} \right| \right)$$

[Fig. 12] Definición de la malla plana para proyectar desde un foco (h).

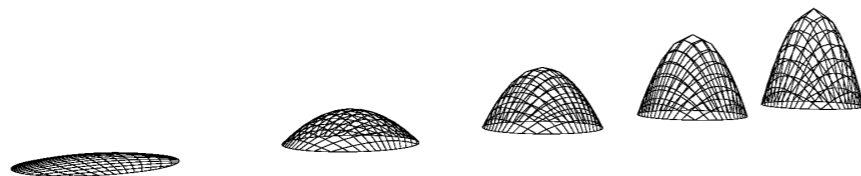
[7] Este aspecto es fundamental para conseguir una malla adecuada. La elección incorrecta de la malla de proyección provocará saltos de densidad en la malla definitiva.

[Fig. 13] Diferentes mallas de proyección para una misma planta con distintos peraltes.

Una vez definida la malla de proyección, se procede a proyectar desde el foco (h) la malla obtenida sobre la superficie parabólica. Para obtener las coordenadas numéricamente es necesario resolver el sistema de ecuaciones siguiente:

$$\begin{aligned}x &= \frac{\sqrt{z}}{h}(z+h) \\y &= \frac{\sqrt{z}}{h}(z+h) \\z &= h - \frac{b}{a^2}(x^2 + y^2)\end{aligned}$$

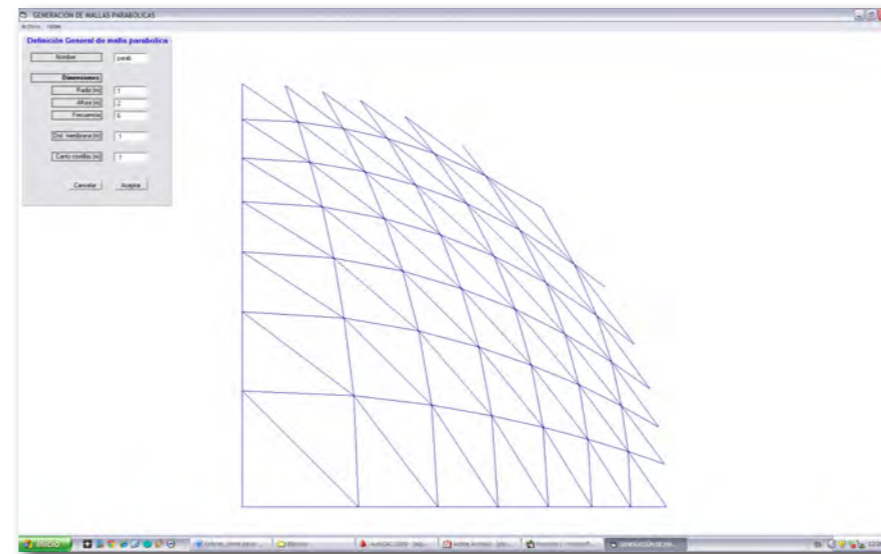
La solución en z del sistema ofrece dos valores (uno positivo y otro negativo). Tomando el valor positivo se obtiene la altura de todos los puntos en el paraboloides y de ahí, el resto de coordenadas.



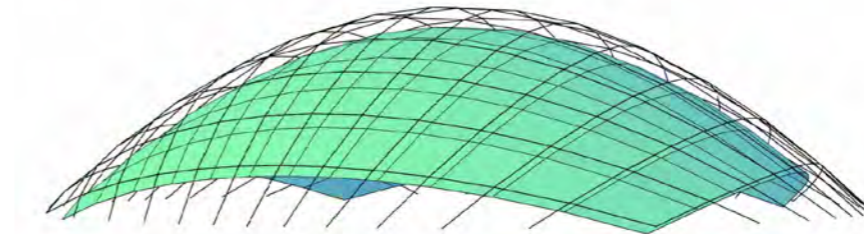
[Fig. 14] Mallas obtenidas a partir de la misma base con peraltes distintos.

A partir del proceso anterior y de las expresiones aportadas, es bastante fácil parametrizar el diseño de mallas parabólicas usando Visual-Basic© como lenguaje de programación.

Es más, pensando en las aplicaciones arquitectónicas de las mallas definidas, pueden añadirse con facilidad barras de rigidización de la malla principal e, incluso, un textil de cobertura colgado de la malla a la distancia que se requiera. Obteniendo así, un diseño básico, de forma automática, para empezar a trabajar.



[Fig. 15] Pantalla principal de la herramienta desarrollada.

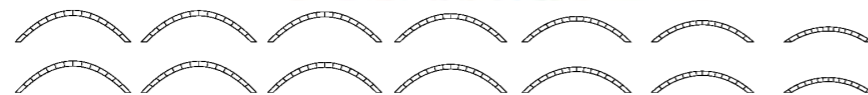


[Fig. 16] Cubierta con membrana textil colgada definida de modo automático.

Ahora bien, si lo que se quiere construir es una maqueta de costillas recortadas con impresora láser, es bastante fácil reconducir el procedimiento anterior. Bastaría con definir el canto de las costillas y obtener éstas a partir de la proyección sobre dos paraboloides distanciados el canto definido. Por lo tanto, el único parámetro nuevo a tener en cuenta es el canto de las costillas.



[Fig. 17] Modelo de costillas fabricado con el software propuesto.



[Fig. 18] Despiece para maqueta obtenido de forma automática.

Al final observamos que lo más importante del proceso es tener la capacidad e información suficientes para detectar el número de variables que intervienen (o se quiera introducir) en un problema. Aquellas que sean tangibles, pueden ser definidas a partir de un parámetro. Si somos capaces de establecer relaciones entre éstos estaremos parametrizando un diseño y, por lo tanto, tendremos más posibilidades de acertar con la solución.

Este proceso, obviamente, es independiente de las herramientas (informáticas o no) utilizadas, aunque éstas facilitan enormemente el trabajo.

#### BIBLIOGRAFÍA

- 1 Sutherland, L. MAESTROS DE LA ARQUITECTURA. LA INGENIERÍA EN LAS EDIFICACIONES INNOVADORAS. Ed. Blume. Barcelona, 2002.
- 2 Mick Eekhout, *Las estructuras tubulares en la arquitectura*. CIDECT. Universidad Tecnológica de Delf, 1998
- 3 R. Buckminster Fuller. *El capitán etéreo y otros escritos*. Colección de arquitectura, 46. Colegio Oficial de Arquitectos Técnicos y Aparejadores de la Región de Murcia, 2003
- 4 AV Monografías nº 96. GRANDES DETALLES. Arquitectura Viva S.L. Madrid 2002.
- 5 Salvador Pérez Arroyo. *Industria y Arquitectura*. Ed. Pronaos, 1991.
- 6 Revista Tectónica 17. Geometrías Complejas.
- 7 Revista Tectónica 16. Muros cortina.
- 8 Jean Prouvé. *Une architecture par l'industrie*. Les Editions d'Architecture Artemis. Zurich, 1971
- 9 Armelle Lavalou (ed.) *Conversaciones con Jean Prouvé*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 2005
- 10 Esselborn, C. *Tratado General de Construcción*. Construcción de edificios. Tomo II, capítulo V. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 1929.
- 11 Torres Balbás, L. *Arquitectura Gótica*. Ars Hispanie VII. Ed. Plus Ultra. Madrid, 1952.
- 12 Cardellach, Felix. *Filosofía de las estructuras*. Librería de A. Bosch. 1 edición. Barcelona, 1910.

## GRASSHOPPER. PRIMEROS PASOS ANATOMÍA DE UN SALTAMONTES

Manuel de Borja Torrejón

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

A lo largo de la historia se ha ido consolidando su carácter multidisciplinar y se ha visto influido significativamente por la integración de los nuevos materiales o los avances tecnológicos.

En este sentido cabe destacar la progresiva importancia del papel desempeñado por las herramientas de diseño asistido por ordenador.

En un principio se limitaron al dibujo técnico en dos dimensiones como alternativa al dibujo a mano, ofreciendo ventajas en cuanto a reproducción, facilidad de corrección, conservación o almacenamiento. A continuación dieron el salto a las tres dimensiones, incluyendo la elaboración y control de curvas complejas, superficies y sólidos. Y los siguientes pasos han dado como resultado aplicaciones que van más allá de la mera representación gráfica.

Estas nuevas herramientas permiten cargar de información los elementos representados aplicando materiales, propiedades térmicas, resistencias o materiales. Con ellos pueden calcularse rendimientos térmicos, comportamientos ante el viento, estabilidad o costes.

Un ejemplo de ellos son los denominados sistemas paramétricos, que permiten afrontar de manera completa todo el proceso de diseño, producción y fabricación. Con ellos podemos generar prototipos virtuales, aplicarles variables y hacerlos adaptativos, realizarle pruebas y comprobaciones, imprimirlos o incluso acometer su fabricación, programando y controlando los dispositivos con los que se lleva a cabo.

Aplicados al campo arquitectónico, estos programas pueden ser utilizados para fines muy variados: desde el diseño de nudos en estructuras de mallas de barras, o la forma de un edificio en altura para disipar mejor a la acción del viento, hasta el estudio de estrategias de implantación en el territorio vinculadas al planeamiento urbano.

Constituyen por tanto herramientas muy potentes, que no obstante, deben entenderse no como una solución en sí mismas, generadoras de resultados sin sentido cuya justificación reside simplemente en el hecho de estar producidos a través de esas herramientas, sino como un recurso más a disposición del diseñador que se sirve de ellas con conocimiento y rigor durante el proceso para obtener soluciones estudiadas y reflexionadas.

#### DISEÑO PARAMÉTRICO. GRASSHOPPER

El ejercicio propuesto desde el Master en Innovación, y cuyos resultados se muestran en esta publicación, nos planteaba afrontar el proceso completo de

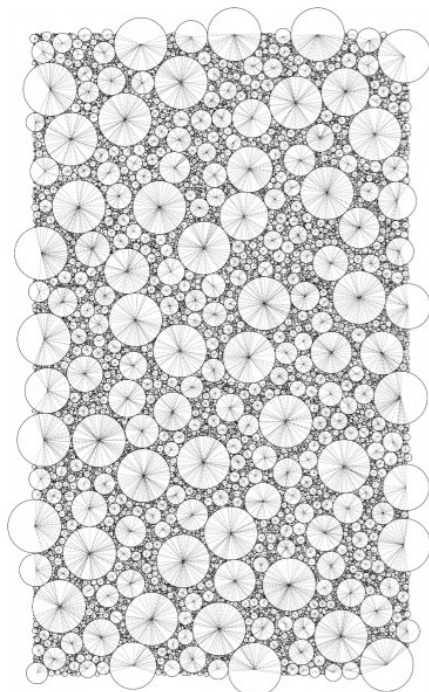
generación de un modelo de costillas, desde el diseño de la superficie de la que se extraería, hasta su materialización en taller, trabajando con una serie de condicionantes geométricos, materiales y constructivos. Al mismo tiempo, nos ofreció la oportunidad de acercarnos a la aplicación de diseño paramétrico Grasshopper (saltamontes), plugin del programa Rhinoceros de modelado en tres dimensiones.

A medida que se avanzó en el trabajo se tomó conciencia de su complejidad, frente a la simplicidad del enunciado: unir un cuadrado y un círculo.

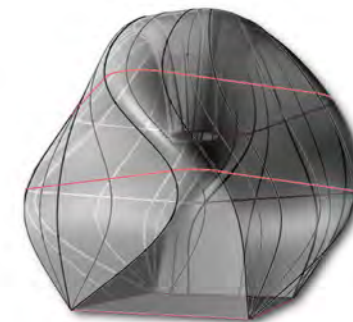
Se puso de manifiesto que el diseño de la superficie que uniría ambas figuras geométricas, no debía ser afrontado sin tener en cuenta la forma en que se materializaría: mediante costillas y no mediante un sólido por ejemplo; el material disponible: DM en paneles de 3 mm de espesor y no plástico u hormigón; o la maquinaria que se emplearía en el taller: una cortadora láser y no una fresadora o cualquier otro dispositivo. Al tomar en consideración estos factores de forma global, como un conjunto, los resultados variaban enormemente respecto al no haberlo hecho.

Comprendido esto, otra cuestión a evaluar y tener presente durante el proceso sería la adecuada correspondencia entre la pieza construida finalmente y la superficie virtual inicial. El objetivo debía ser controlar la producción de modo que la superficie diseñada como solución no quedara desvirtuada al traducirla en modelo de costillas. Y en este sentido la aplicación Grasshopper ha constituido un potente recurso.

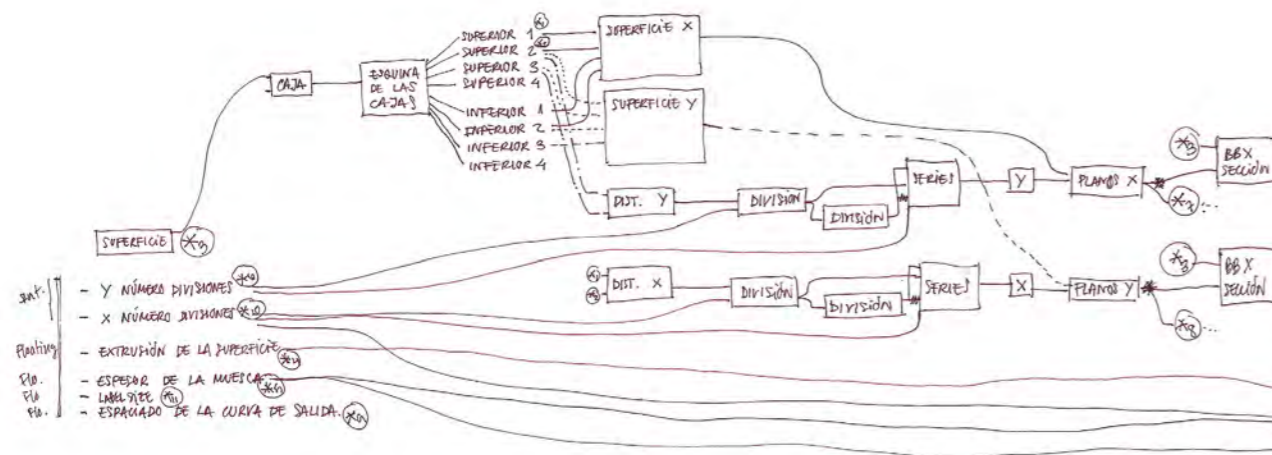
Para el caso concreto de la superficie planteada por nuestro grupo de trabajo, se decidió que la mejor manera de componer el modelo físico era mediante costillas a modo de meridianos y paralelos. Me planteé entonces la generación de un "script" en Grasshopper con este fin.



Urbanismo paramétrico con Grasshopper:  
"Constelaciones" by Matsys  
<http://mlab.cca.edu>



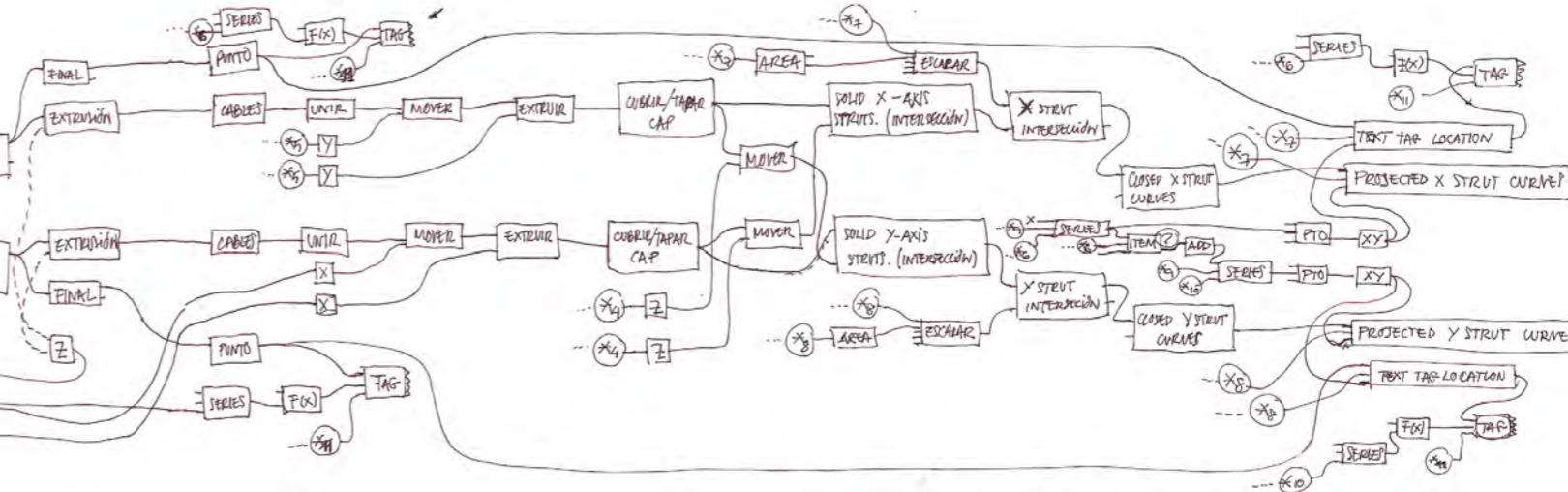
Superficie propuesta como solución al ejercicio:  
De Borja Torrejón  
González Chamorro  
Viggo Castilla



Esquema a mano extraído de un script cedido en la WEB, desgranado para estudiar su estructura y composición. Costillas XZ e YZ

Lo que primero llama la atención al comenzar a usar esta aplicación es la forma en que se trabaja con ella y el aspecto de lo que vamos generando, muy diferente a lo que estamos acostumbrados a ver en otros programas. Más que una herramienta de dibujo, consiste en un lenguaje de programación en el que unos botones van uniéndose entre sí mediante cables.

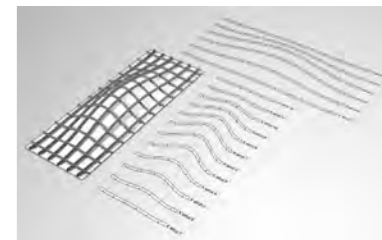
En la red pueden encontrarse numerosos tutoriales que nos dan a conocer la interfaz de la aplicación y que nos guían en la realización de sencillos ejemplos de introducción. Con ellos podemos empezar a ubicar las distintas herramientas en el programa y practicar los principales comandos y funciones.



Una alternativa a los tutoriales consiste en estudiar los "scripts" (archivos de Grasshopper) ya acabados que se van volcando en la Web y que podemos descargar y utilizar con la autorización de sus autores.

La imagen que ilustra estas páginas muestra el esquema de un script programado para seccionar superficies por planos XZ e YZ, obtener las correspondientes costillas y extraer los cortes abatidos incluyendo el machiembrado; y su análisis permitió ir desgranando su estructura y composición.

El objetivo de esta práctica consiste en aprender el funcionamiento de Grasshopper, conocer aquello sobre lo que ya se ha trabajado y, en la medida de lo posible, dar un paso más aportando algo nuevo.







Parámetros variables en el script  
"Meridianos y Paralelos"

Avanzando en el manejo de Grasshopper comprobamos que trabaja con una mezcla de parámetros relacionados con el cálculo, la geometría y el dibujo que deben ir combinándose siguiendo un planteamiento lógico.

En un script, cada botón alberga un valor, elemento gráfico, herramienta, función u operación geométrica: curva, superficie, rotar, cortar, simetría, extrusión, coseno, tangente, intersección, etc. A su vez, varios botones pueden agruparse dentro de un mismo esquema para generar una operación más compleja, como por ejemplo: cortar una superficie dada mediante una sucesión de planos paralelos.

La información va recorriendo el esquema y se transforma al someterse a las operaciones que contienen esos botones. Es por esto por lo que es muy importante el orden en el que se van realizando las conexiones y la forma de plantear las ramificaciones. Y para ello, la aplicación nos va indicando mediante un código básico de colores, si los vínculos entre las partes son correctos (verde), incompletos (naranja) o erróneos (rojo).

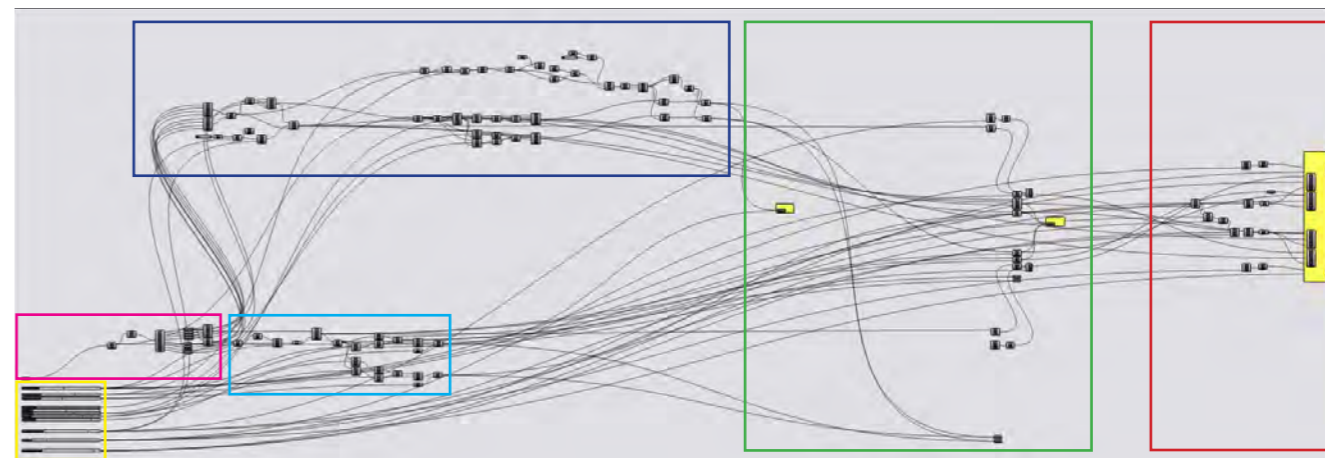
Una de las ventajas de Grasshopper es que permite hacer variables los parámetros. Gracias a ello podemos desarrollar modelos adaptables con los que obtener fácilmente una gran variedad de resultados para un mismo diseño. Y puesto que está vinculado al programa Rhinoceros, podemos ir comprobando virtualmente los cambios que vamos realizando. De este modo, estos resultados pueden ser ensayados y estudiados hasta obtener la solución más apropiada.

Todas estas cuestiones se fueron teniendo en cuenta durante el desarrollo del script "Meridianos y Paralelos". Finalmente se concretó en una primera versión que podrá seguir evolucionando para optimizar los resultados o implementar nuevas funciones y parámetros.

### SCRIPT "MERIDIANOS Y PARALELOS"

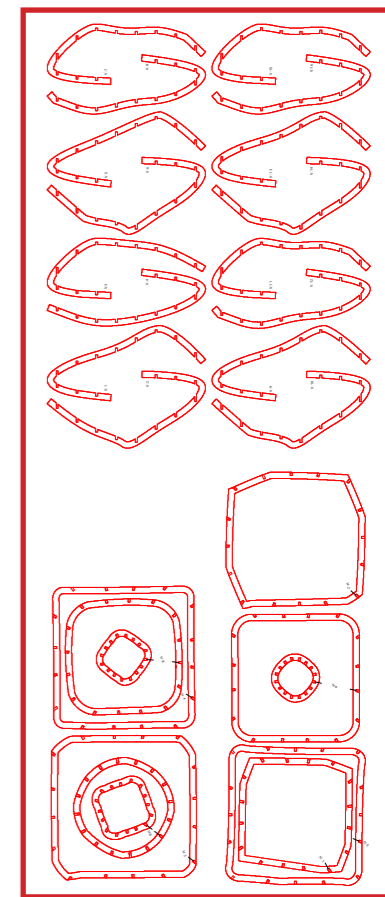
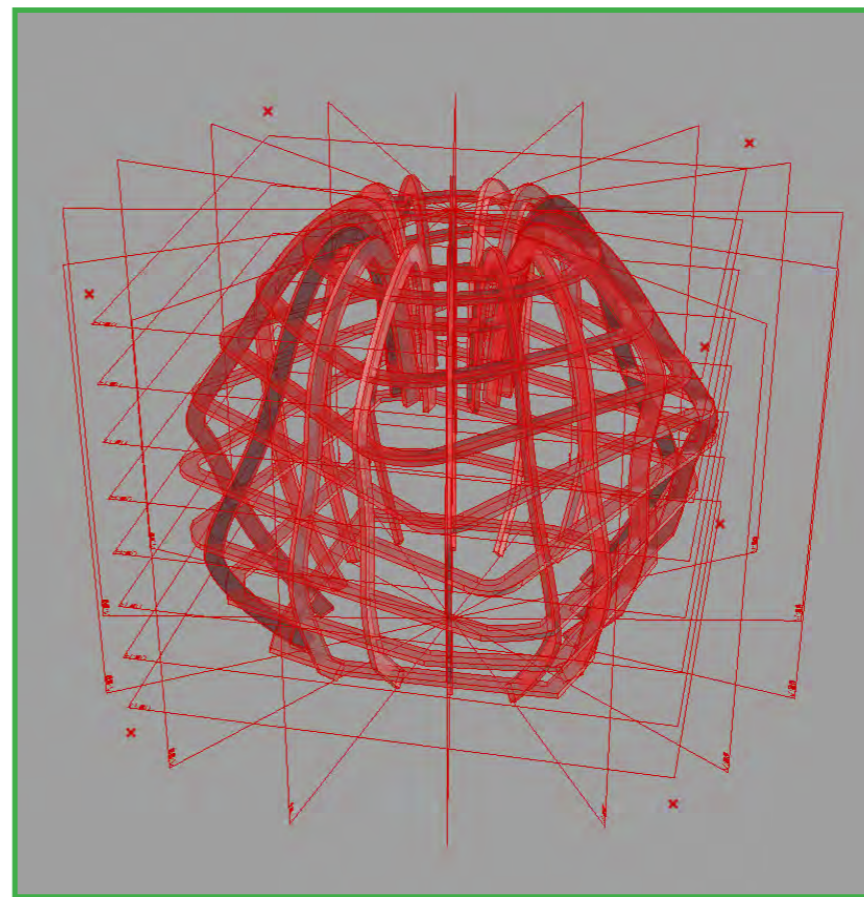
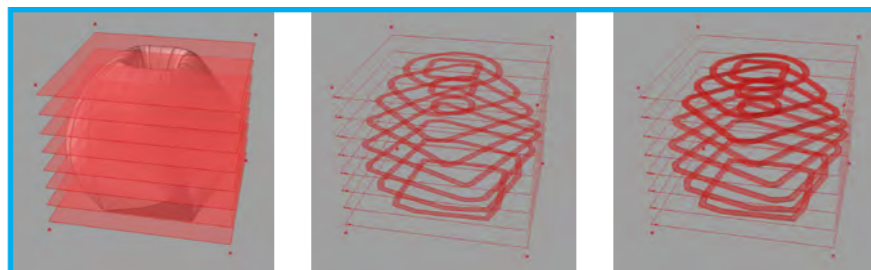
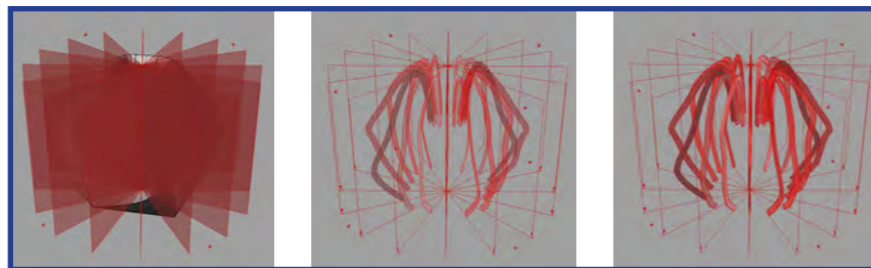
Está concebido para aplicar a superficies en las que, por la descripción de su forma, quedan mejor representada con este tipo de cortes. Con esta premisa, permite procesar tanto objetos generados por una única superficie como otros más complejos compuestos por varias (polisuperficies), y que además pueden estar dispuestos plegados sobre si mismos. De forma automática nos realiza los cortes sobre la superficie. A partir de ellos genera las costillas y las intersecciona entre si para crear las muescas con las que irán encajando durante el montaje. Nos permite controlar el número de costillas radiales y horizontales, su ancho y espesor, así como la posición relativa respecto a la superficie generadora: hacia el interior respetando el exterior, al contrario, o a eje sobresaliendo en ambas direcciones. E incluso nos abate y nombra las secciones con las que pueden montarse los planos de corte utilizados en el taller.

Script "Meridianos y Paralelos" - Manuel de Borja Torrejón



Script "Meridianos y Paralelos" - Fases:

- Reconocer la superficie con la que vamos a operar - Introducirla en un elemento "caja" para extraer coordenadas relativas de referencia.
- Cortar por planos horizontales - Transformar las curvas en superficies con ancho determinado - Extruir las superficies con un espesor dado.
- Cortar por planos radiales respecto a un eje de referencia - Transformar las curvas en superficies con ancho determinado - Extruir las superficies con un espesor dado.
- Montar las costillas en un mismo conjunto - Interseccionarlas entre si - Generar las muescas de encaje entre ellas.
- Abatir y nombrar las secciones para extraer los planos de corte empleados en el taller en la fase de fabricación.



# LA SEDUCCIÓN PARAMÉTRICA

José Luis García del Castillo López

## INTRODUCCIÓN

Cada día somos testigos de la proliferación en el mundo del diseño y de la arquitectura de formas imposibles, de imágenes retorcidas y seductoras, de procesos reactivos con elementos interactivos, de discursos llenos de procesos, diagramas, flujos e interacciones... Y cada vez más, se escucha resonar un concepto que parece albergar bajo su seno todo este nuevo mundo de posibilidades: el diseño paramétrico. Se editan libros sobre arquitectura computacional, se crean laboratorios de experimentación digital, se organizan conferencias, seminarios y workshops que versan sobre estos procesos, y en general, asistimos a la era de la difusión de esta nueva corriente como parte del futuro que está por venir. Pero, ¿en qué consiste realmente el diseño paramétrico?

## CONCEPTOS BÁSICOS

Pongamos un ejemplo sencillo. Imaginemos un proceso cotidiano como puede ser modelar un paralelepípedo en nuestro software de CAD habitual. La secuencia conceptual de comandos, con sus particularidades según el lenguaje, podría ser parecida a ésta:

1. Comando 'crear rectángulo'.
2. 'Elegir centro del rectángulo', selección de geometría.
3. 'Elegir plano del rectángulo', selección de geometría.
4. 'Elegir ancho del rectángulo', introducción de valor.
5. 'Elegir largo del rectángulo', introducción de valor.
6. Comando 'extruir rectángulo'.
7. 'Elegir eje de extrusión', selección de geometría.
8. 'Elegir altura de extrusión', introducción de valor.

Terminada la secuencia, habríamos obtenido una entidad geométrica definida por los seis parámetros que hemos elegido en su proceso: centro, plano, ancho, largo, eje y altura. Y ya está. Habríamos modelado un objeto estático de características concretas.

Pero en caso de querer generar otro paralelepípedo a partir de parámetros diferentes, tendríamos que iniciar todo el proceso desde el principio y volver a introducir todos los datos para la producción, o recurrir a engorrosas modificaciones euclidianas de la geometría original, mucho menos prácticas aún. No obstante, en caso de tener un número reducido de objetos diferentes, este proceso podría ser útil. Pero ¿y si necesitáramos producir 1.000 paralelepípedos diferentes? Obviamente, generarlos uno a uno sería una tarea absurda, no sólo por el tiempo necesario en introducir todos los parámetros, sino probablemente por la dificultad añadida de generar todos esos datos iniciales de los que partir, según el criterio que deseáramos implementar. ¿Sería posible automatizar este proceso? Imaginemos que fuéramos capaces de programar un comando 'crear paralelepípedo', en el que, introduciendo una cadena numérica correspondiente a los parámetros antes mencionados, obtuviéramos la geometría deseada. El esquema de programación podría ser algo así [figura 1].

Figura 1

Mediante la compilación de un comando 'paralelepípedo' habríamos optimizado el proceso original, eliminando la necesidad de 'crear un rectángulo' y posteriormente 'extruir un rectángulo', a la vez que manteniendo la entrada de datos específica de un paralelepípedo. Sin embargo, seguiríamos lastrados por la personalización manual de cada parámetro independiente en función de la diversidad deseada.

Ahora vayamos un poco más allá. Imaginemos que impusiéramos a nuestro comando ciertas restricciones, como por ejemplo, que el plano base sea siempre paralelo al referente XY de las coordenadas globales en las que estemos trabajando, que el eje de extrusión sea siempre ortogonal a dicho plano y que el rectángulo base siempre mida un ancho y un largo determinados. Podríamos llamar a este comando 'ortopedo de base fija y altura variable' (o simplemente 'caja de altura variable') y con él habríamos reducido la necesidad de introducción de datos a sólo dos parámetros: centro y altura, a costa de imponer al proceso lo específico de nuestra necesidad [figura 2].

Si hemos ahorrado cuatro parámetros por caja, habríamos pues evitado 4.000 introducciones de datos gracias a emplear nuestra energía en programar este comando, gasto que en la mayoría de los casos será mucho más rentable. Aun así, todavía tendríamos que emplear gran cantidad de recursos en generar los datos asociados a 1.000 puntos y otras tantas alturas en función de la voluntad de nuestro diseño, además de su correspondiente entrada manual para cada objeto.

Imaginemos ahora que fuéramos capaces de diseñar otra secuencia previa para determinar la posición en el espacio de los puntos origen de los bloques y su altura, en función de unas reglas geométricas conocidas o diseñadas por nosotros. Pongamos por ejemplo: toma una superficie determinada, divídela en una malla de  $U \times V$  puntos, muévelos todos al plano XY con  $Z=0$  y computa la distancia que ha recorrido cada uno [figura 3].

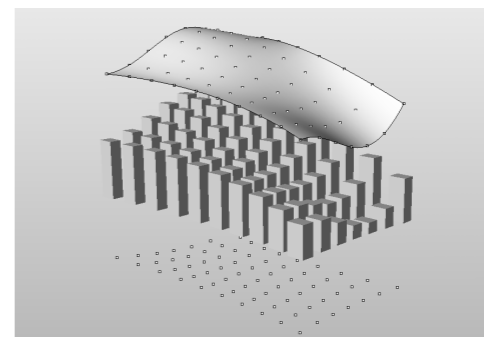


Figura 3

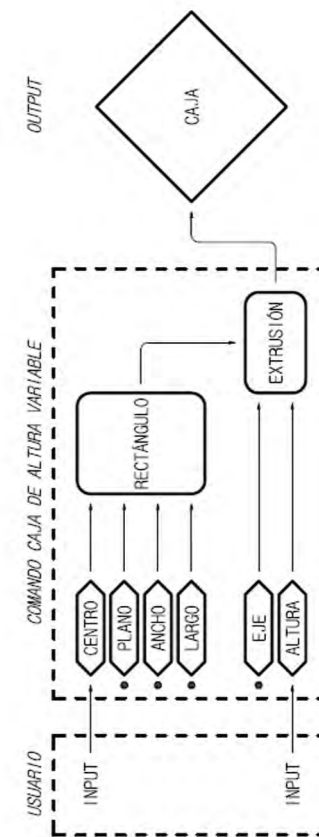


Figura 2

De nuevo, programada esta nueva secuencia, habríamos automatizado el proceso de generación de una gran cantidad de información geométrica mediante la aplicación de una estrategia espacial preconcebida, a partir de un único elemento: la superficie original. Si fuéramos capaces de enlazar las dos secuencias, 'familia de puntos y alturas a partir de una superficie' más 'ortocadro de base fija y altura variable', ¡habríamos sido capaces de generar nuestras 1.000 cajas partiendo de un solo elemento de entrada! [figura 4].

Pero ¿por qué íbamos a querer obtener 1.000 cajas diferentes? [figura 5]



Figura 5: Memorial del Holocausto, Berlín. (a)

El diseño paramétrico no consiste en introducir parámetros, se basa en conceptualizar aquellos que son necesarios y las relaciones que guardan entre sí. No busca diseñar formas, sino diseñar procesos para poder generarlas. No pretende ofrecer una solución, sino hallar el conjunto de todas las soluciones posibles.

genéricamente la parametrización como la generación de una familia de cuasi-infinitas soluciones a partir de la elección de unos parámetros iniciales, su rango y las relaciones que guardan entre sí, o en nuestro contexto, podríamos entender el diseño paramétrico como "la definición de las características geométricas de una familia de elementos y las propiedades que permiten su variabilidad formal" [1].

### CONCEPTUALIZACIÓN

Mediante la parametrización de un diseño se establece un marco de respuestas posibles a una problemática concreta, definidas por nuestra intuición sobre la morfología de dichas respuestas. La inteligencia impuesta a este sistema se fundamenta en varios aspectos.

Por un lado, el primer paso es la conceptualización. Pensar primero, hacer después. Al abordar un diseño como respuesta a unos requisitos iniciales, nuestro único punto de partida es la intuición. Creemos o sabemos aproximadamente a dónde queremos llegar y, mediante la parametrización, pretendemos establecer las reglas del juego.

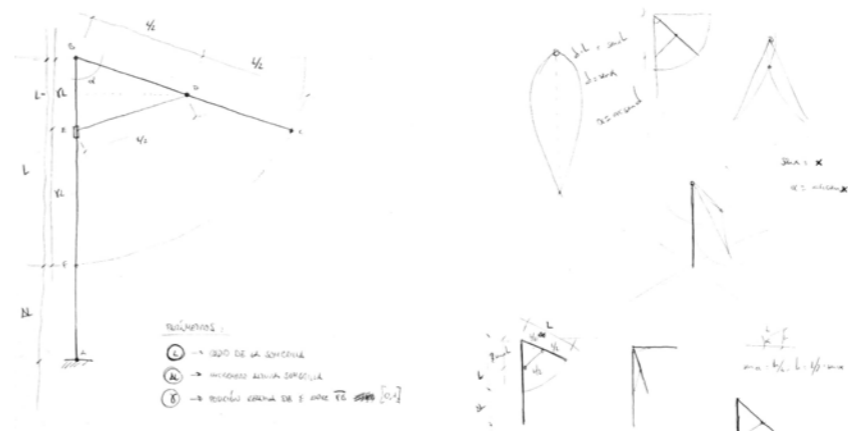


Figura 6: Esquema paramétrico de un paraguas.

[1] V. Gualart, 'Geologies'. Actar, Barcelona (2009), pág. 47.

Es por ello imprescindible pararnos un momento y estructurar *el diseño de los diseños* que queremos generar. Debemos analizar el problema al que nos estamos enfrentando, diseccionar las relaciones geométricas que guardarán entre sí las distintas partes que lo forman y establecer las etapas fundamentales del proceso que las resolverá. Siéntate, haz un croquis, trata de entender qué estás planteando y esboza las fases hacia dónde quieres llegar [figura 6].

El planteamiento exhaustivo del proceso traerá como consecuencia la elección de los parámetros de entrada. Éstos son los elementos fundamentales del proceso paramétrico, pues son aquellos cuya variabilidad constituye la esencia de su utilidad. Cuantos más parámetros seamos capaces de introducir en el proceso, mucho más amplio y rico será el conjunto de las soluciones que obtengamos con él. A pesar de estar limitado por las restricciones de su propia formulación, nuestro comando ‘crear ortoedro de base fija y altura variable’ contiene en sí mismo infinitas soluciones, pero en esencia, serán menos que las de su predecesor ‘crear paralelepípedo’; si en el mundo de las matemáticas, infinito menos infinito es una indeterminación, en este caso, es simplemente *un grupo de infinitas soluciones más pequeño*.

No debemos olvidar que la inteligencia de un proceso paramétrico no está sólo en la elección de sus parámetros de entrada, sino también en la cuidada decisión sobre sus límites. Teóricamente, existen infinitas esferas en función de su radio, así como discretamente infinitas son también las esferas posibles cuyo radio está contenido en el rango entre 0 y 10 unidades. Sin embargo, si le imponemos al radio la condición de ser un número entero comprendido en dicho rango, de repente constreñimos el abanico de posibilidades a sólo 11 soluciones. Dependiendo del caso, será posible que parámetros ilimitados conduzcan a soluciones indeseables o absurdas. Una decisión intencionada sobre los mismos elevará un grado el nivel de inteligencia del diseño.

Finalmente, la base de toda la creación: el diseño y establecimiento del árbol de relaciones que interconectará todos los elementos entre sí. Una vez planteadas las bases del proceso paramétrico e identificados sus parámetros de entrada, se conformará la estructura de la solución buscada mediante la definición de los procesos internos, las modificaciones en los flujos de datos, las operaciones espaciales, las relaciones escalares, geométricas y/o cromáticas, etc. La sabia y creativa combinación de los elementos de entrada, de todos aquellos elementos auxiliares generados a lo largo de su desarrollo, y la cuidada materialización de la cadena de sucesiones en sus etapas

fundamentarán la creación del proceso paramétrico y serán la clave del éxito de su diseño.

Es notable resaltar que, mientras que el carácter intrínseco de los parámetros de entrada es dinámico, la estructura del árbol de relaciones será estática. La esencia de un proceso paramétrico es que las soluciones que produzcan sean función directa de sus datos de entrada y que no dependan de otros factores, como la aleatoriedad o la variabilidad en el tiempo (se entiende aquí por aleatoriedad la capacidad real de producción de alteraciones fortuitas cuyo resultado sea variable según el momento de su generación; no confundir con alteraciones semi-aleatorias dependientes de ‘semillas’ ni con la utilización del tiempo como parámetro lineal de variabilidad de la solución). Ante igualdad de parámetros iniciales, igualdad de soluciones obtenidas. Todas aquellas modificaciones que introduzcan cambios en la estructura del proceso no serán más que otra forma de introducción de parámetros en el diseño, de mayor o menor complejidad. Y si no lo son, será otro proceso diferente, con un diseño distinto y con soluciones también diferentes. Los parámetros dan variabilidad a la solución, el árbol de relaciones las hace específicas al diseño.

## VENTAJAS

Las ventajas de esta forma de trabajar son inmediatas. A nivel de producción, son incluso obvias. No trabajar sobre las formas, sino sobre las herramientas para generarlas constituye un salto cualitativo y cuantitativo en la concepción del diseño, probablemente irreversible. Hoy en día, la cantidad de herramientas que facilitan estos métodos de diseño reduce constantemente las dimensiones o la complejidad necesaria para que la solución haga rentable este tipo de métodos. Simplemente el ahorro en tiempo justifica el cambio en el paradigma. Por no hablar de la posibilidad de que la necesidad presente pueda replicarse en el futuro, tal cual o con ligeras variaciones. El diseño paramétrico es sostenible, porque recicla recursos. O por otro lado, las ventajas derivadas de la automatización: producción en serie, revisión y mejora constante del proceso, eliminación de la posibilidad de errores humanos, todo al más puro estilo *kaizen* [2]. Cada vez más, es más conveniente reflexionar sobre los procesos en vez de abordar directamente las soluciones.

El diseño paramétrico contiene intrínseca otra gran virtud, tal vez menos evidente: la exploración. La conceptualización, estructuración, elección de parámetros y confección del árbol de relaciones de un proceso paramétrico está

[2] T. Ohno, ‘Toyota production system: beyond large-scale production’. Productivity, Cambridge (1988).



Figura 7: Esquivel (Sevilla), 1955. (b)

motivado por nuestra intuición preconcebida de cómo debe ser la solución. Pero aunque sepamos aproximadamente a dónde queremos llegar, mucho menos claro tendremos el camino, y en ocasiones, nos será fácil perdersen. Es en este divagar, en el constante ensayo-error, donde descubriremos nuevas posibilidades insospechadas, muchas de ellas fruto de errores fortuitos en el proceso. Es incluso posible que incorporemos algunas de ellas a la solución final, en una suerte de *evolución* en el diseño provocada por una *mutación* favorable.

Además, nuestra imaginación suele ser bastante limitada. La creación de un proceso paramétrico como respuesta a una necesidad no sólo nos provee con la mejor solución posible, sino que nos recompensa con la sorpresa en la exploración del resto. Nuestra intuición nos perfilará la imagen difuminada de la respuesta que pretendemos conseguir, pero probablemente descubramos soluciones inconcebidas a partir del maravilloso juego de las combinaciones inusitadas y gracias a exprimir los límites de esos parámetros que nosotros mismos, con limitada capacidad de previsión, dispusimos a nuestro antojo. Me pregunto cómo sería Esquivel si Alejandro de la Sota hubiera podido generar 'suertes de pajarito' con sólo darle a un botón [3, figura 7].

Por último, no debemos olvidar la posibilidad de la diversidad. Crear un rango de soluciones posibilita la materialización de una en concreto, dada una situación particular. Pero también propicia la elección de otra ligeramente diferente en una etapa diferente, u otra, u otra... Ligeras variaciones en los parámetros producen ligeras alteraciones en la solución final sin esfuerzo añadido. Y esta capacidad es determinante precisamente cuando la aportación inherente a la solución propuesta se basa en la diversidad. Los avances en representación, CAD, procesos de industrialización adaptables, *Computer Numeric Control*, *File to Factory*, etc. hacen de la facilidad en la variabilidad su principal bandera. Hoy en día, ya nadie se echaría las manos a la cabeza si le propusieran un monumento con 1.000 bloques de hormigón diferentes...

## TRADICIÓN

En cualquier caso, no hay en el diseño paramétrico nada *realmente* nuevo. O tal vez sí, la etiqueta paramétrica.

Por lo pronto, ¿qué es en esencia un programa de CAD? Cualquier software de dibujo asistido es una mera herramienta mediadora entre un código compilado y un usuario sin conocimiento de dicho lenguaje.

[3] A. de la Sota, 'Pueblo de Esquivel, Sevilla (1955)'.  
Revista Nacional de Arquitectura (Enero de 1953).  
Recurso digital de la Fundación Alejandro de la Sota.

Pero no es más que eso, un *interface* paramétrico con la máxima cantidad de parámetros de entrada para producir resultados muy simples, cuyo éxito reside en dos cuestiones: la capacidad del software de hablar el idioma del receptor, y la capacidad de producir la mayor cantidad de tipos de soluciones posibles.

En mayor o menor medida, todos nos hemos hecho alguna vez una plantilla. La esencia de una plantilla es establecer un marco tipo sobre el cual poder actuar posteriormente variando su contenido, con el fin de ahorrarnos el trabajo de diseñarla cada vez de nuevo. Llamémoslo formulario, hoja de cálculo, patrón de diapositivas o memoria tipo, todas son formas de optimización de un proceso para llegar a una familia de soluciones configurable y utilizable según la situación específica. Alguno incluso puede que hayamos planificado un flujo de trabajo. Generalizas un problema, estudias los aspectos que lo determinan y estableces las condiciones para su resolución, teniendo en cuenta en el mejor de los casos su ámbito de variabilidad: la parametrización de una actividad del mundo real [figura 8].



Figura 8: 'Get things done' workflow. (c)

Pero yendo un poco más allá, pongamos como ejemplo el Código Técnico de la Edificación, o en general, cualquier marco legal para la regulación de una actividad. Ante unos determinados parámetros de entrada, la normativa te establece las directrices y el marco posible para tu actuación, de manera que ante situaciones similares las respuestas vienen predefinidas y se conforman parecidas entre ellas, existiendo incluso la posibilidad de la *no validez*. El paradigma de este tipo de situaciones es el urbanismo: una compilación de reglas geométricas, dimensionales e incluso estéticas, capaces de caracterizar con identidad reconocible la morfología de ciudades enteras, a la vez que acoger la personalización y la diversidad en el seno de su práctica. Hoy en día están muy de moda las doctrinas emergentes que predicán el urbanismo paramétrico. ¿Pero es que acaso alguna vez no lo fue? [figura 9].



Figura 9: 'Genotypes 3', urbanismo paramétrico. (d)

Podríamos incluso pensar en la práctica profesional de un arquitecto como un proceso paramétrico. Estamos muy acostumbrados a aceptar diagramas de flujos, procesos de adición y sustracción, etapas secuenciales en la explicación de formas o interpretación de las afecciones contextuales como justificación más o menos fiel de intervenciones arquitectónicas. Hasta tal profundidad llega la reflexión arquitectónica sobre la generación de un proyecto en ciertos autores, que llegan a emerger procesos paramétricos de actuación, también llamados discursos, que hacen reconocible la trayectoria y la obra de un autor, a veces incluso en clave formal y estética. ¿O acaso es posible confundir un Gehry? Simplemente el hecho de que se comprenda dicha expresión, *un Gehry*, ya es significativo de su alcance.

## HERRAMIENTAS

Volviendo a nuestro contexto, hoy en día existen multitud de herramientas específicas para el diseño paramétrico, todas ellas fundamentadas sobre la base de la programación. *Visual Basic* lleva años sirviendo como base programable de personalización, implementable en multitud de software y esencialmente todo terreno. Su fuerza reside en su sintaxis simple y la capacidad de gestionar datos de naturaleza muy variada. Posteriormente, la aparición de *Macromedia Flash*, y su motor de programación *Actionscript* abrieron un nuevo mundo de posibilidades en el tratamiento interactivo de gráficos vectoriales y supuso durante mucho tiempo la plataforma de difusión más empleada para contenidos multimedia en la Web. Sin embargo, hoy en día está cobrando enorme popularidad un lenguaje de programación basado en Java y desarrollado en el MIT Media Lab: *Processing*. Su éxito estriba en haber sido concebido específicamente para artistas y diseñadores, por lo que su lenguaje es extremadamente sencillo, siendo un entorno de programación ideal para principiantes, a la vez que potente y visual. Por su carácter *open-source* está muy extendido entre los desarrolladores y existen multitud de comunidades dedicadas a su investigación y difusión.

Centrándonos en el mundo de la arquitectura y el diseño paramétrico, dos son las herramientas principales manejadas por la mayoría de los interesados: *Generative Components* y *Grasshopper*. El primero, desarrollado por Bentley Systems, es un *add-on* para su programa CAD de referencia, *MicroStation*. Es considerado imbatible en cuanto a potencia y solidez, siendo capaz de gestionar complejas estructuras de datos, operaciones geométricas y modelado en 3D con elevada soltura. Sin embargo, es un programa de licencia comercial, el entorno visual y el *interface* no son todo lo amigables que se desearía, y no está respaldado por ninguna comunidad de usuarios



online, siendo apenas los únicos recursos disponibles una colección de tutoriales editada por la compañía. Todo lo contrario le sucede a *Grasshopper*, el *plugin* de *Rhino* desarrollado por McNeel. El programa, posee un *interface* muy gráfico e intuitivo, capaz de hacer que nos maneje en él con soltura en unas pocas horas. La comunidad de usuarios crece constantemente y su popularidad está respaldada por una gran cantidad de *blogs* y foros de desarrolladores compartiendo información y recursos. Además, al ser de licencia libre, el SDK está abierto al público y existen multitud de proyectos de colaboración y ampliación en marcha. Por el contrario, al ser un programa todavía en desarrollo, su potencia es limitada, y elevados niveles de complejidad conducen a gran necesidad de recursos computacionales y, en el peor de los casos, a errores de software [figura 10-11].

46

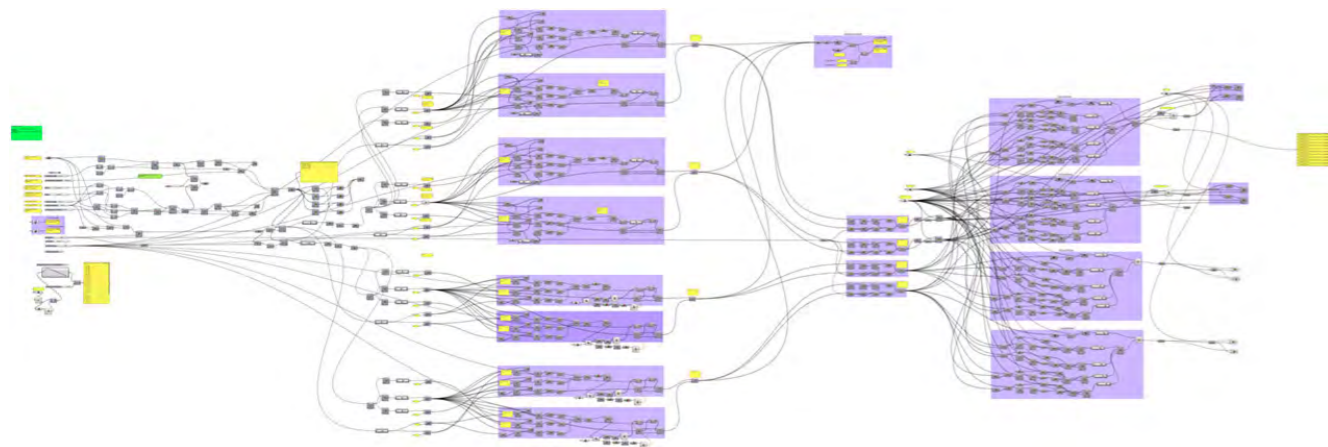


Figura 10: 'Refugio personalizable', definición de Grasshopper.

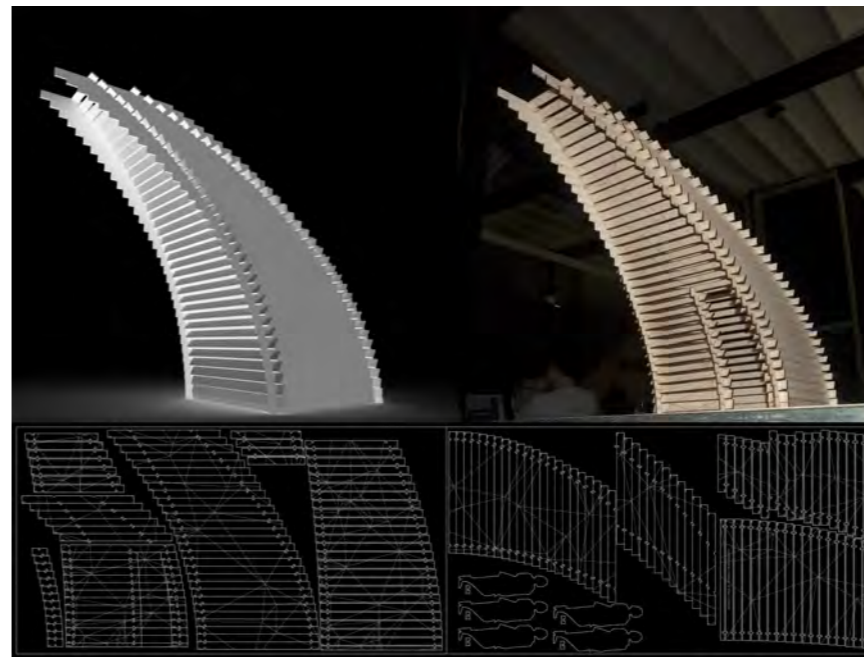


Figura 11: 'Refugio personalizable', producción y modelo.

## CONCLUSIONES

Aunque el enfoque sobre el desarrollo y la optimización de los procesos no es un tema nuevo, en el campo del diseño estamos siendo testigos de la emergencia en la conciencia paramétrica. El constante desarrollo de herramientas que permiten y facilitan esta forma de conceptualización, la necesidad de mejorar la competitividad de los procesos y la rapidez que demanda la cultura de la información, hacen que cada día más el enfoque de un diseño no sea el objeto terminado, sino el proceso de su generación. Las ventajas del diseño paramétrico son ya evidentes, y lo serán aún más con el desarrollo de la conciencia de su necesidad y las tecnologías que lo permiten. Abramos los ojos y dejémosnos llevar por el diseño dinámico, por la generación interactiva de posibilidades, la exploración y la sorpresa, rindámonos en definitiva a la seducción paramétrica.

47

Créditos fotográficos

(a) Dan Cunningham, 2006.

(b) Fundación Alejandro de la Sota

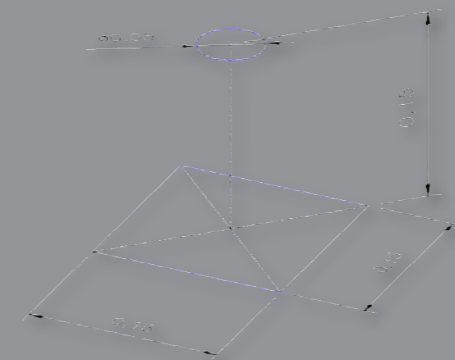
(c) [www.anabubula.com](http://www.anabubula.com)

(d) Ursula Frick, Thomas Grabner

A continuación se incluye los resultados del ejercicio realizado por los estudiantes de la promoción 2009/10, cuyo enunciado es el que sigue:

#### 4.3 Modelización y control formal

##### Ejercicio 0



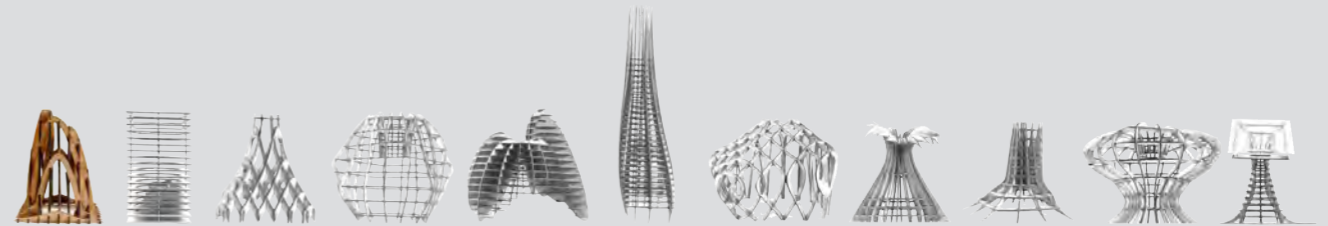
Se trata de definir una superficie continua a partir de los dos perímetros (cuadrado y circunferencia) dados.

Una vez definida, sobre ésta se proyectará una malla en dos direcciones obtenida a partir de secciones por planos verticales y horizontales.

Cada grupo de 3 estudiantes realizará un modelo de su solución en el Taller de Modelizado de la EISA.

# GT01

Marina Azevedo Modulo  
Laura de las Montañas Bracho Lineros  
Ronaldo Leao Moraes



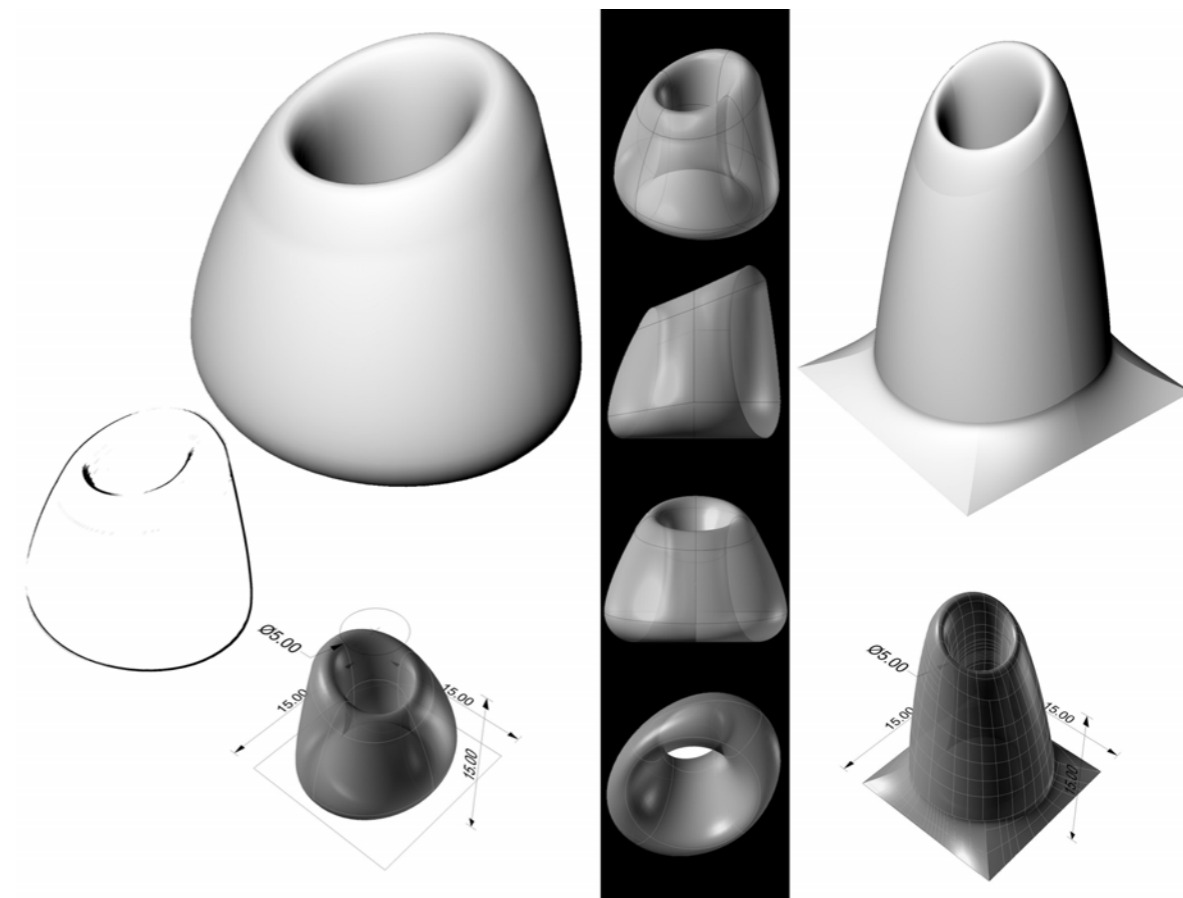
## DISEÑO

Partimos de un diseño en el que predominan las líneas curvas, fusionando nuevos conceptos formales con una geometría sencilla como soporte base.

Se basa en una estructura con un eje central, y curvas en posición vertical con distinta altura que giran alrededor de dicho eje para crear una forma dinámica, manteniendo las condiciones de contorno del ejercicio.

Como referencias se han tomado objetos de tipo escultórico, horadados centralmente y con un carácter funcional orientado al uso de mobiliario.

Para cumplir las condiciones de partida, adaptamos la forma a los límites dados, generando una variante del modelo original. Con ello obtenemos una forma más fluida.



## PRODUCCIÓN

A través del software Rhinoceros se implementa el diseño originado en la fase anterior, del cual luego se saca cada pieza, se optimizan los cortes para las planchas existentes de material DM, se va a corte y listo. Con Grasshopper automatizamos dicho proceso, obteniendo como resultado las costillas que posteriormente se ensamblarán.

54

Uno de los aspectos que ha condicionado la producción del modelo ha sido la búsqueda de una correcta disposición de las secciones sobre el modelo para no perder la forma original del mismo. Según las dimensiones del modelo, ver que densidad de cortes es el adecuado para obtener un objeto resistente y a la vez optimizar el material a través del diseño.



55



MODELOS\_GRUPO DE TRABAJO 01\_AZEVEDO - BRACHO - LEAO



## FABRICACIÓN

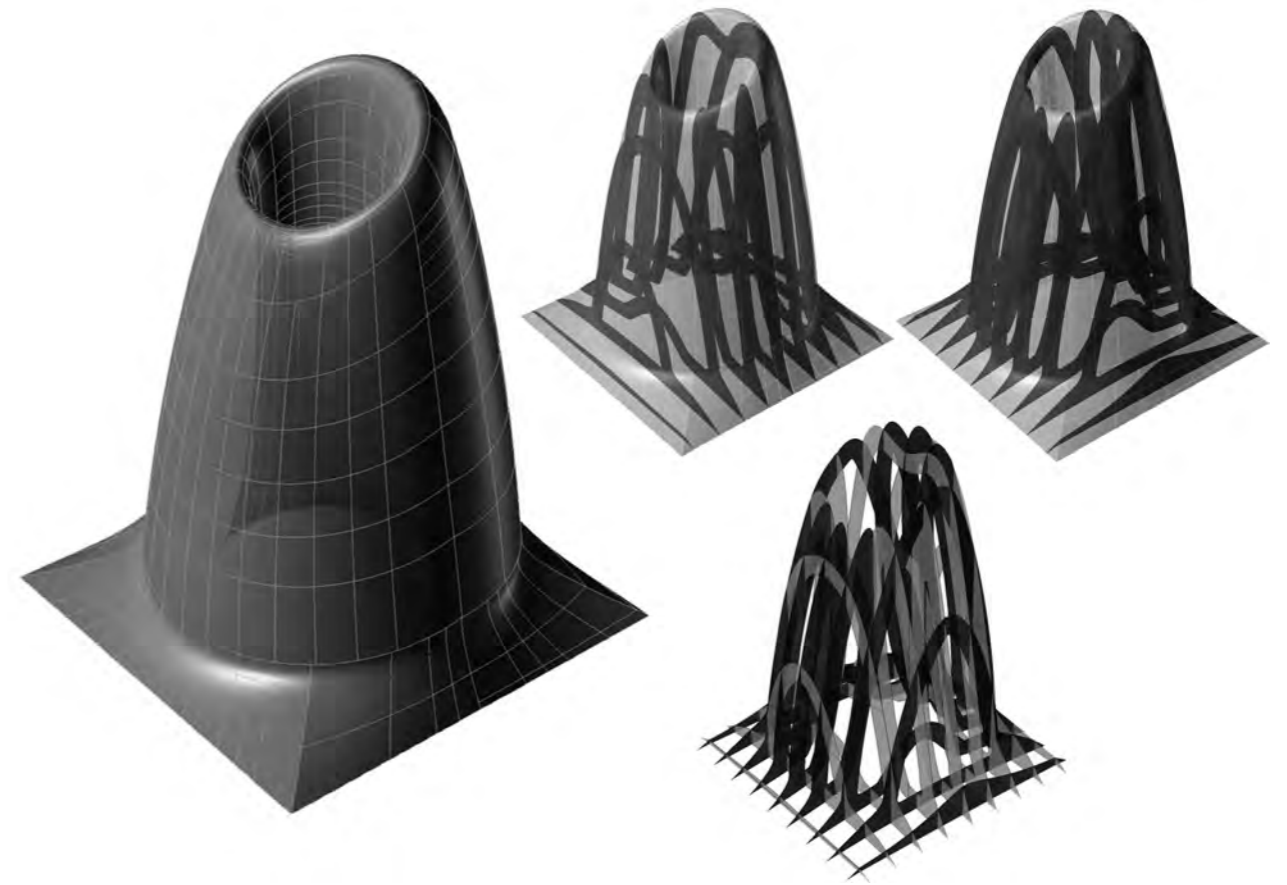
La disposición de las costillas es en modo ortogonal, lo que ha provocado la apertura de ranuras verticales en las piezas para poder encajarlas en ambas direcciones. Al ser un modelo con un diseño de piezas alargadas y de poco canto, nos hemos visto obligados además a modificar dicho diseño sin que repercuta demasiado en la forma original, realizando unas aperturas inferiores, de modo que permita su correcto ensamblaje.

## IDONEIDAD

Una vez realizado el diseño apreciamos una posible vía de mejora para asemejar más el resultado obtenido al modelo original. Se concreta en la realización de un acostillado de tipo radial en vez de ortogonal, debido al propio diseño de líneas curvas, haciendo que éste refleje de un modo más certero el modelo original.



58



59

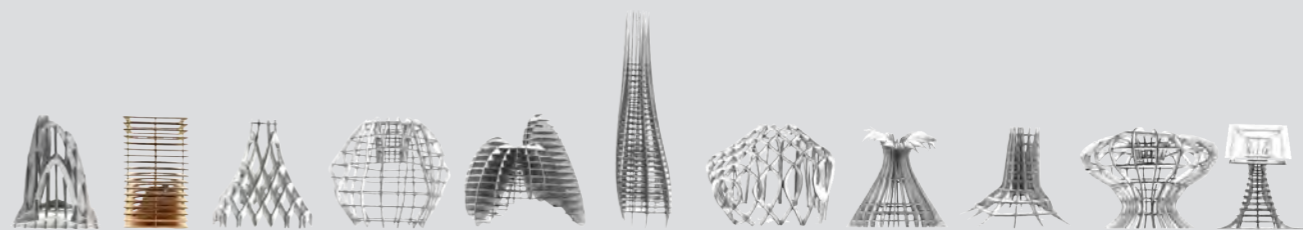
## CONCLUSIONES

Observamos que herramientas digitales ofrecen muchas posibilidades a muy diversas escalas en cuanto al diseño paramétrico y la construcción digital. La escala empleada en este caso puede asociarse a la del mobiliario. Las inquietudes son todas al resultar ser un proceso en el que hemos sido partícipes de las fases de generación-fabricación-construcción del modelo, haciéndonos aún más conscientes de la complejidad que encierra.

La búsqueda de una forma distinta y compleja, ha propiciado que debamos cambiar la manera de producir esa forma y es en los medios digitales donde encontramos los instrumentos para producir la convergencia entre una forma nueva y el conocimiento instalado para concretarla.

# GTO2

Santiago Bermejo Oroz  
Alejandro Folgar Erades  
Isabel Marín González

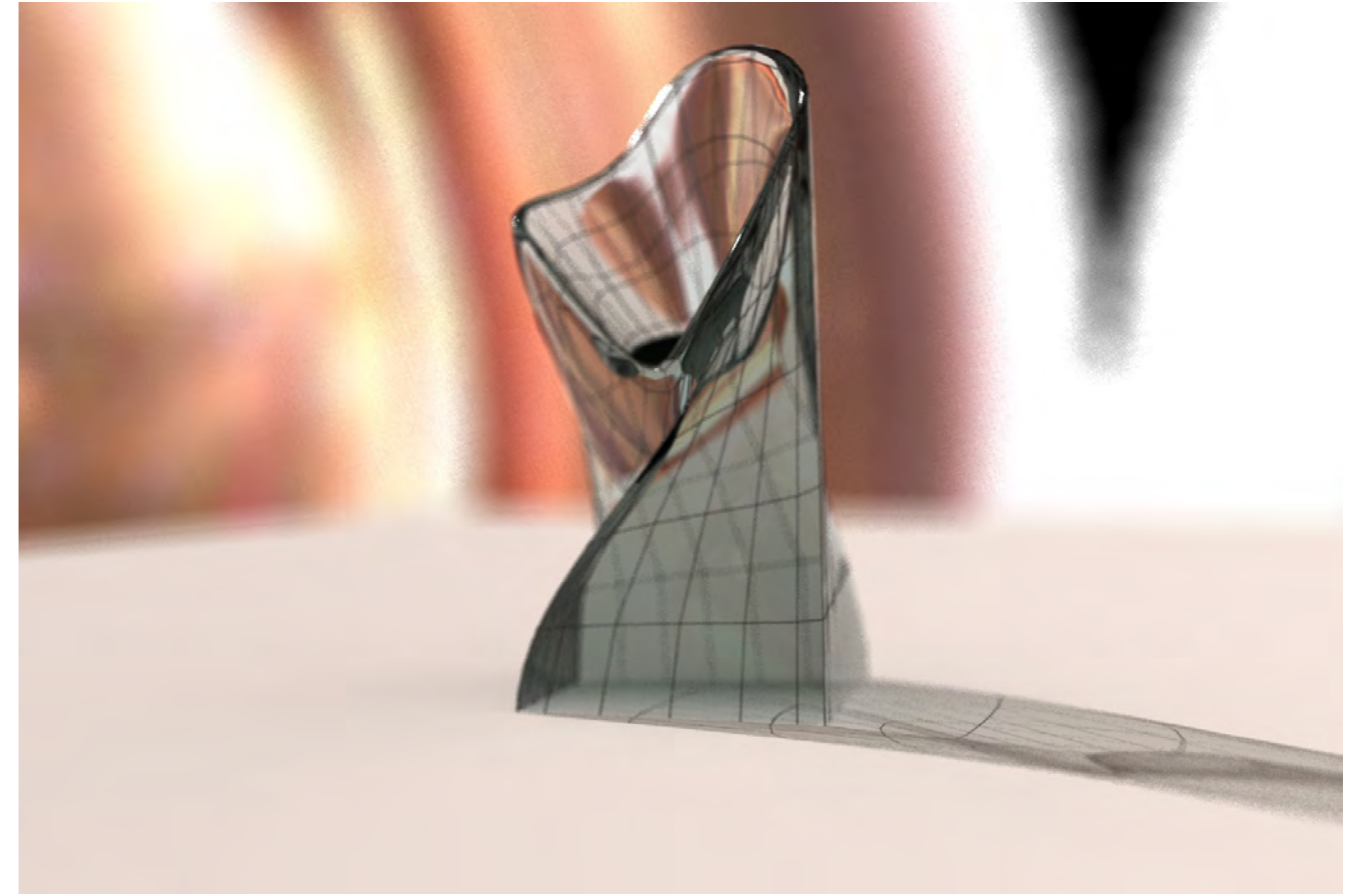




## DISEÑO

El diseño consistió en generar una superficie que ascendía desde la base, y terminaba en una elipse, situada en un plano oblicuo respecto de la base a una altura de 20 cm, para después volver formando un cono invertido y terminando en la circunferencia superior. El juego con el plano oblicuo producía una sensación de torsión y alabeo de la pieza que nos cautivó desde el comienzo.

BASE + EXTRUSIÓN + CAMBIO DE SECCIÓN + TORSIÓN + ALABEO + SUAVIZADO



## PRODUCCIÓN

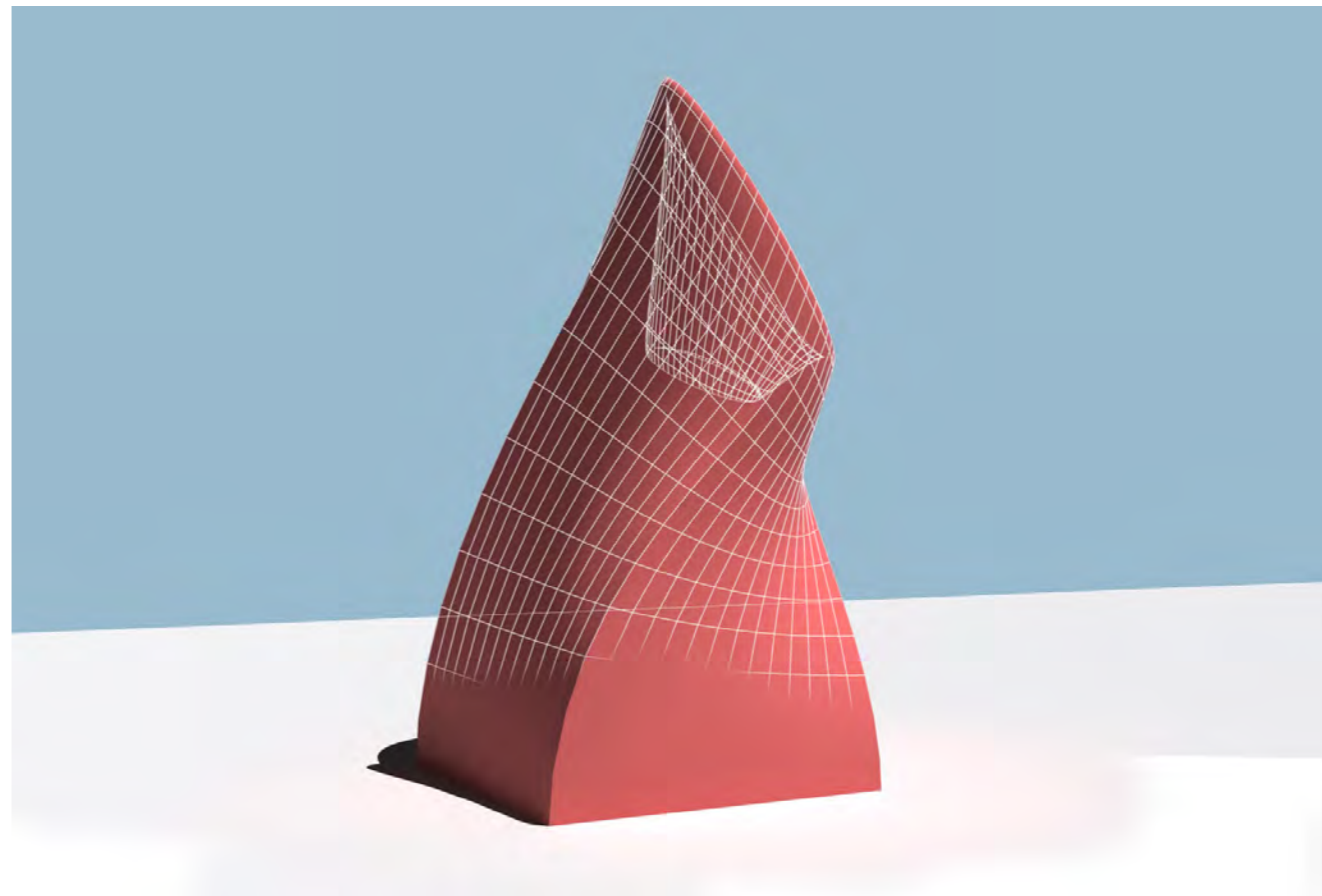
Una vez definido el modelo a construir, el siguiente paso consistió en adaptarlo a las condiciones de partida del enunciado para su fabricación.

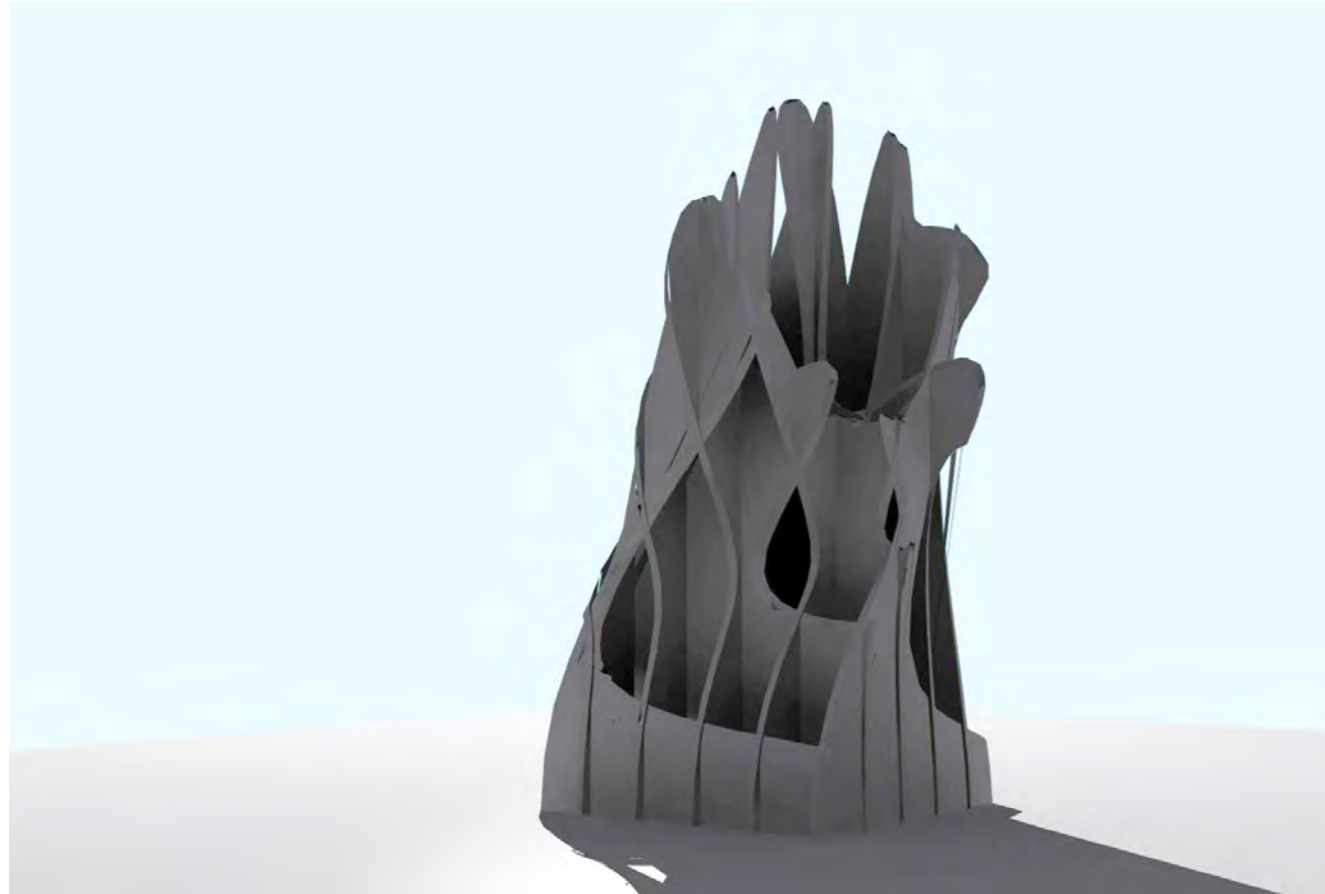
El primer problema que nos surgió fue provocado por el diseño empleado, que al ser una superficie que volvía sobre sí misma, impedía utilizar la aplicación de Grasshopper.

Por ello exploramos soluciones para realizar las distintas costillas, con resultados que no nos satisfacían por las secciones que resultaban y las distintas intersecciones (casi imposibles) que salían entre las mismas.

Finalmente decidimos cambiar las herramientas o la forma de uso de éstas, y en vez de representar el edificio a modo de costillas, hacerlo a modo TAC (tomografía axial computarizada), es decir, que haríamos las secciones de la pieza paralelas entre sí a lo largo de un eje.

Observando el modelo virtual con las nuevas secciones, vimos que definía mejor la pieza, y además podríamos trabajar tanto el positivo como el negativo de la misma, obteniendo 2 modelos complementarios de la misma matriz.





MODELOS\_GRUPO DE TRABAJO 02\_BERMEJO - FOLGAR - MARÍN

## FABRICACIÓN

El primer paso en el proceso de fabricación fue generar las distintas secciones. Para ello, a partir del modelo 3D, se procedió a meterle cortes paralelos al suelo, con una separación de 1,5 cm entre cada una de ellas. Una vez obtenidas, se pasó a montarlas sobre cuadrados de 18x18 cm, que serían las planchas de madera finales.

Una vez dibujadas cada una de las planchas que conformarían el modelo final, lo único que quedaba era marcarlas con una numeración, con el fin de evitar alterar el orden de las secciones en el proceso de montaje.

## IDONEIDAD

Finalmente, la maqueta resultante se adaptó perfectamente a lo que teníamos proyectado en el ordenador, consiguiendo el resultado que teníamos previsto. En cuanto a la estabilidad de la misma, la poca sección de los soportes-pilares que colocamos dieron como resultado un objeto bastante frágil.

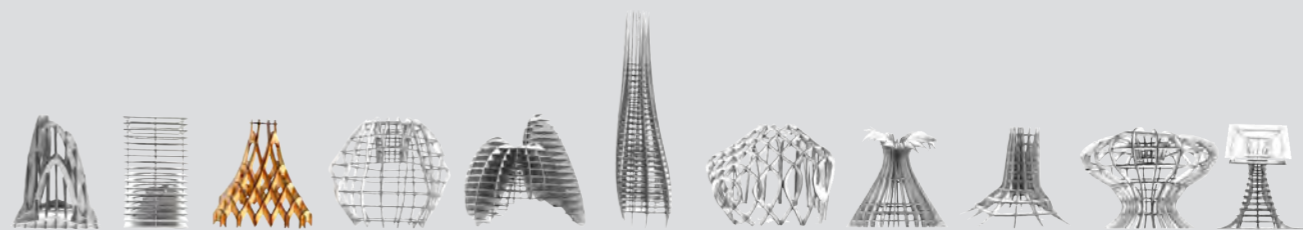
## CONCLUSIONES

¿La producción de un objeto, debe estar ligada a los procesos industriales o constructivos?, parece lógica la respuesta, pero puede plantear una duda más allá de la producción en sí misma, si ampliamos el campo al diseño o concepción del objeto.

Podríamos pensar, idear, en mayor libertad o menores normas físicas, de materiales, etc... pero si el objetivo final es la producción acabaríamos chocando con "la industria", así que deberíamos pensar desde el principio sabiendo el método productivo a emplear, pues afectará de una forma brutal al objeto final.

# GT03

Marta Bravo Santos  
Carlos Crespo Bonilla  
Enrique Gastalver Arias



## DISEÑO

Desde un principio se buscaba una transición natural desde la base cuadrada al círculo, en este sentido se creó un segundo cuadrado, simétrico al original, a la misma distancia del círculo.

La superficie original surge de una transición, en base a una hipérbola generatriz, entre las tres curvas directrices.

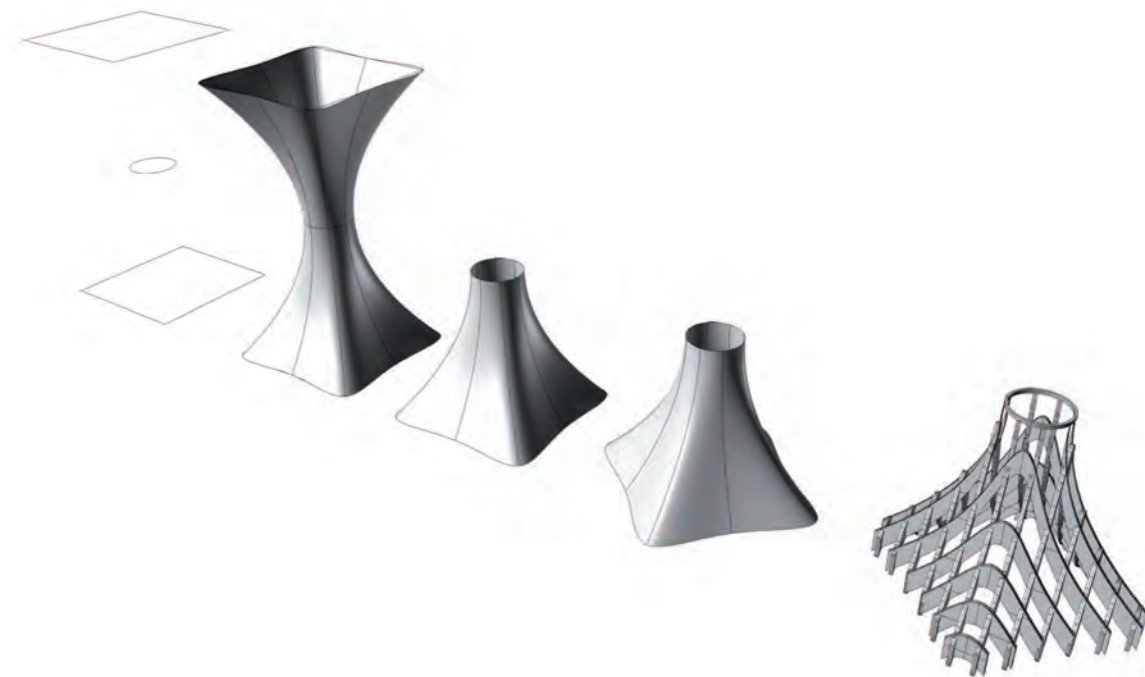
Se obtiene una superficie simétrica que se cortará por la mitad, obteniendo así la superficie definitiva.

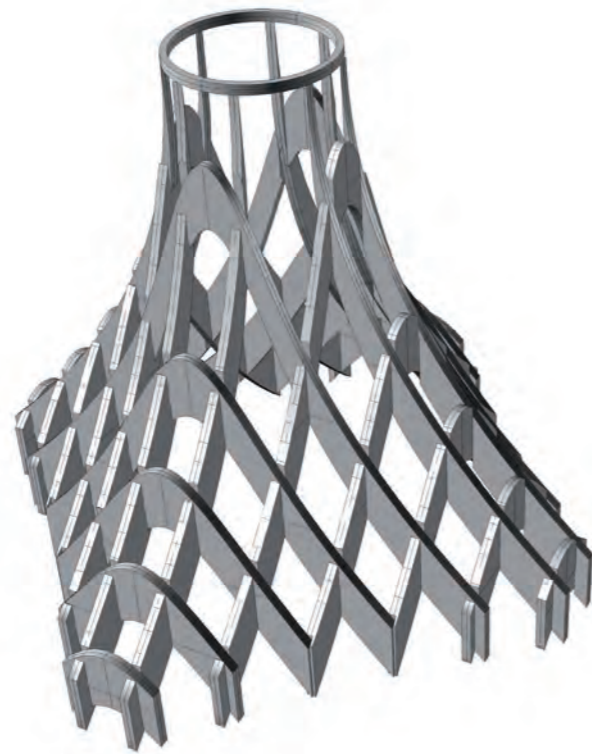
## PRODUCCIÓN

El objetivo principal a la hora de formalizar las costillas era conseguir que el resultado final fuera lo más fiel posible a la superficie original.

Para ello se disponen dos familias de costillas perpendiculares entre sí y paralelas a la diagonal de los cuadrados originales.

Con ello se consigue seriar la construcción de la maqueta (todo se realiza con 12 costillas diferentes) optimizando la plantilla de corte con el consiguiente ahorro de material.





## FABRICACIÓN

Anterior al proceso de corte, hubo que modificar algunos encuentros entre costillas debido al poco espesor de material que tenían algunas zonas.

La fabricación consistió en el ensamblaje de las costillas, para el que se empleó papel celofán para fijar las piezas.

Una vez montado se usó un adhesivo para fijar las piezas.

## IDONEIDAD

El modelo final reproduce de forma fiel la superficie original gracias al poco canto de las costillas y a la proporción de la malla.

No obstante, para atar algunas costillas se añadió un anillo superior del diámetro de la curva generatriz original.

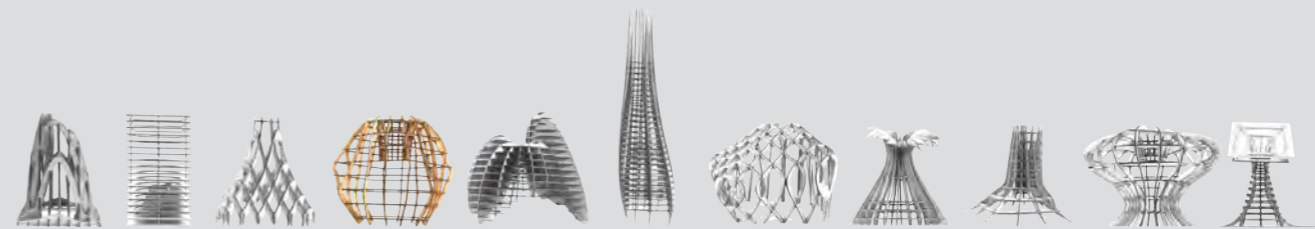
## CONCLUSIONES

El salto cualitativo se produjo al disponer la malla perpendicular de forma paralela a las diagonales del cuadrado, en vez de paralela a sus lados.

De esta manera se consiguen costillas más largas más fieles a la realidad y desdibujar la 'costura' que se produce en la transición del cuadrado al círculo.

# GT04

Manuel-Viggo Castilla Roldán  
Manuel De Borja Torrejón  
José María González Chamorro



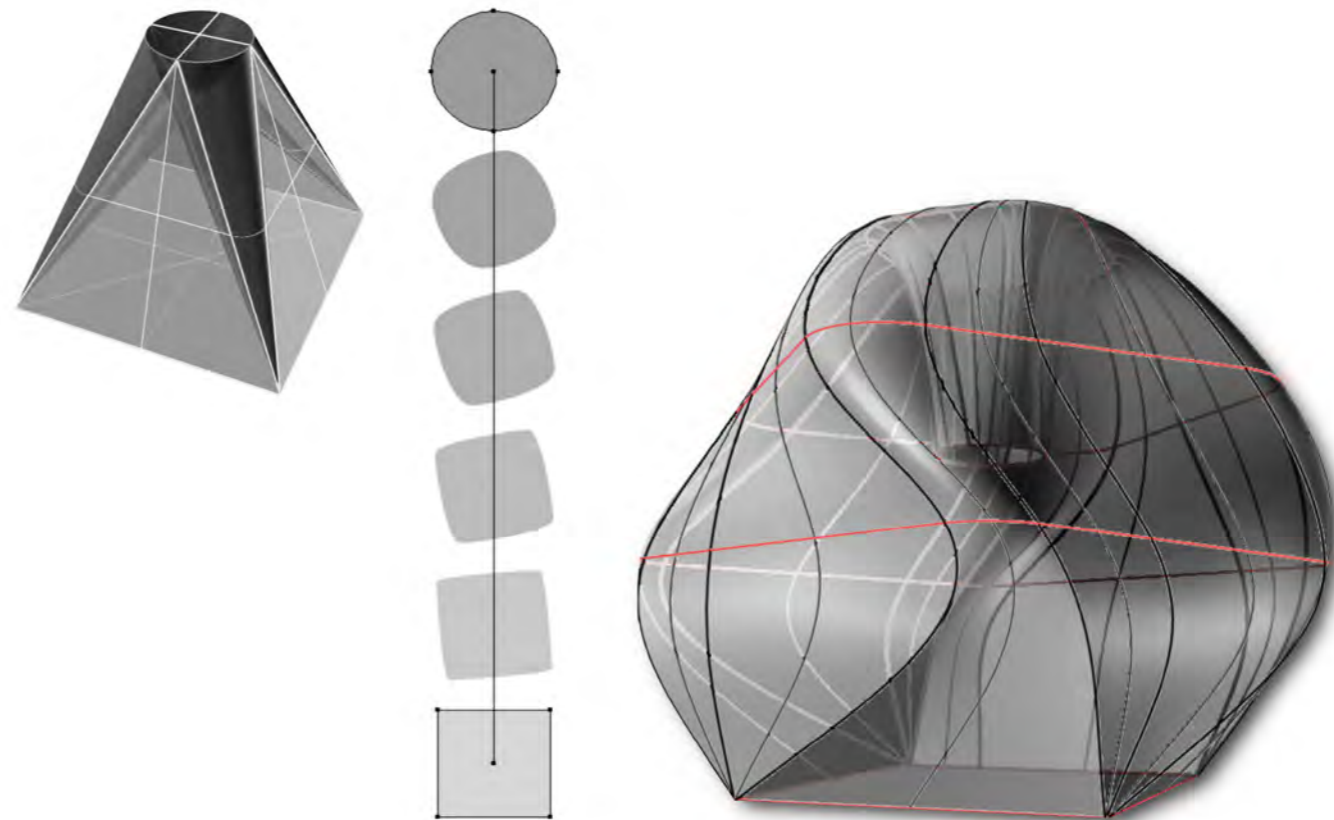
**DISEÑO**

Partimos de una geometría sencilla que nos permitiese llegar hasta formas más complejas. La transición del cuadrado al círculo se resolvió mediante triángulos y conos oblicuos de revolución, generando una superficie desarrollable, capaz de ser representada en el plano.

Al cortar la pieza por planos horizontales sucesivos, se describe gráficamente la secuencia de transformación de la figura básica del cuadrado, que va curvando sus vértices al tiempo que reduce sus dimensiones hasta adquirir la forma del círculo.

En una fase más avanzada, decidimos partir de esa secuencia de figuras intermedias para complejizar el desarrollo geométrico de la pieza. Con este fin se introdujeron nuevas variables de diseño: la posibilidad de que dichas secciones se dilataran, encogieran y rotaran a lo largo del eje vertical, e incluso que la superficie sobrepasara la altura de partida del círculo para volver sobre sí misma hasta llegar a él.

Se tuvo en cuenta durante el proceso de diseño de la superficie el paso siguiente a modelo de costillas y su posterior construcción en el taller con los medios disponibles. En este sentido se cuidaron las uniones entre planos, se suavizaron las aristas y se controló la escala para optimizar la compatibilidad.





## PRODUCCIÓN

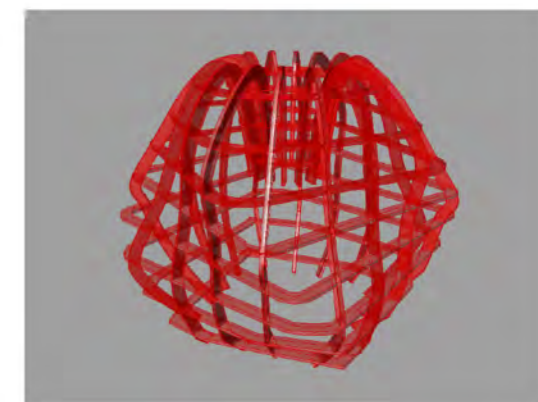
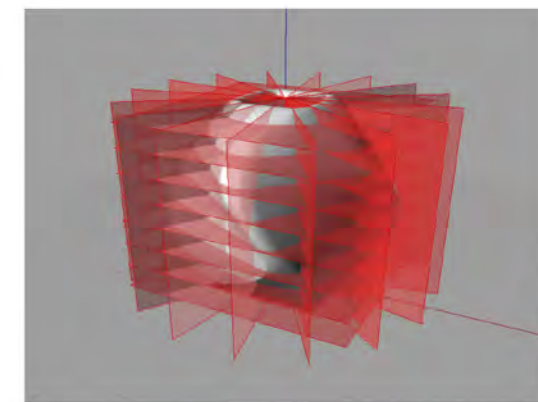
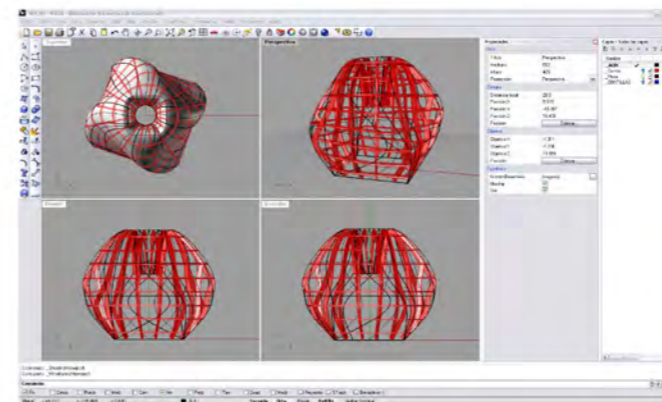
Para el diseño geométrico de la pieza se trabajó con el programa Rhinoceros, que nos permitía generar superficies curvas controladas según los parámetros de diseño elegidos.

La fabricación del modelo físico en taller requería extraer a partir de la superficie diseñada una serie de cortes que posteriormente se materializarían en costillas.

Las herramientas de las que disponíamos permitían crear un sistema de costillas mediante cortes perpendiculares entre sí sobre el plano horizontal. No obstante, la geometría de nuestra pieza no se representaba de una modo riguroso mediante este sistema de costillas ortogonales. El corte mediante meridianos y paralelos resultaba más adecuado, por lo que afrontamos la programación de un script en el aplicación Grasshopper con el que poder conseguirlos.

El script permite controlar variables tales como el número de meridianos y paralelos, el espesor y ancho de las costillas, así como la posición de las costillas con respecto a la superficie diseñada en Rhinoceros en el plano de corte que la genera. También define en las costillas las muescas de las intersecciones entre ellas y las nombra y abate en el plano horizontal para generar los planos de corte que se entregan en taller.

Todo ello nos permitió realizar diferentes pruebas de forma virtual sobre cómo quedaría la pieza real antes de su fabricación y definir de este modo, el conjunto de cortes más apropiado para obtener un resultado coherente entre el modelo de superficie y el modelo de costillas.



## FABRICACIÓN

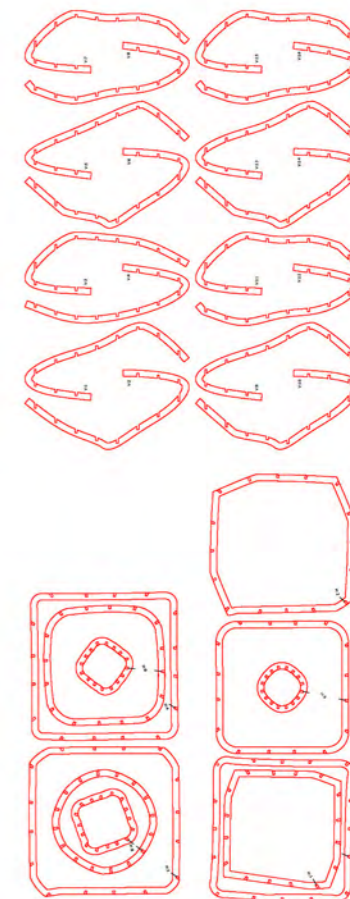
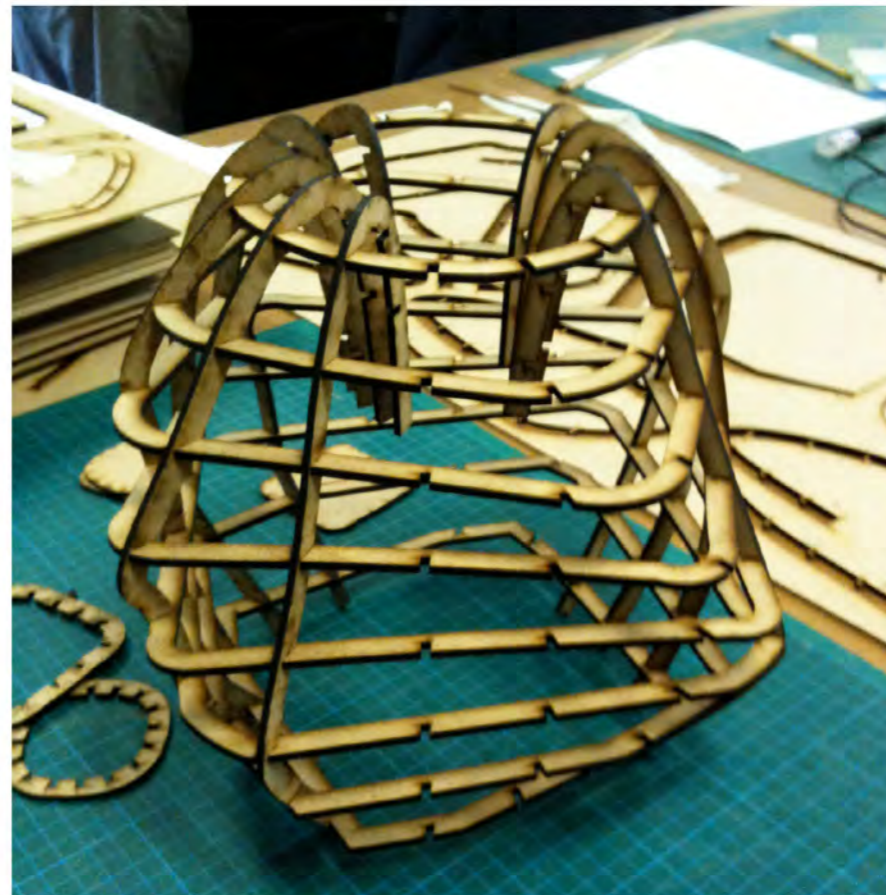
Para la fabricación del modelo de costillas contábamos con paneles de DM de 3 mm de espesor. Estos paneles se introducían en una cortadora láser a la que, previamente y como si de una impresora se tratase, se enviaban los planos de corte montados.

Con el fin de optimizar el uso del material, las costillas se dispusieron de forma que se aprovechara al máximo la superficie disponible de los paneles de DM.

El uso repetitivo de la cortadora hacía que se recalentara, provocando que el espesor de la línea de corte no fuera constante en cada panel. Como consecuencia de ello, y a pesar de haber previsto un espesor medio de pérdida de material debido al láser en cada costilla, las dimensiones de estas y en particular de las muescas en las que encajaban entre sí, no estuvieron del todo controladas y generaron problemas a nivel de montaje de la pieza.

80 El principal problema consistió en que el script de Grasshopper, programado para generar las costillas de la pieza a partir de la superficie diseñada, disponía las muescas hacia el interior de cada costilla. Como ya indicamos, nuestra pieza parte desde la base del cuadrado, asciende y sobrepasa la altura del círculo para volver sobre sí misma hasta llegar a él. Desde la base hasta el punto en que la pieza vuelve, las muescas estaban bien situadas y permitieron encajar fácilmente las costillas horizontales (paralelos) en las verticales (meridianos). Sin embargo, la posición de las muescas hacia el interior en el tramo comprendido entre ese punto y el círculo, imposibilitaba el montaje de las costillas horizontales. Para solucionar esta situación, hubo que modificar los planos de corte ubicándolas hacia el exterior. Por motivos de tiempo, las correcciones de los planos de corte se realizaron a mano mediante un programa de dibujo vectorial, dejando para una versión futura del script de Grasshopper las modificaciones necesarias para solventar esta circunstancia.

Superados estos contratiempos, finalmente se obtuvieron las costillas que dieron lugar al modelo final. El montaje resultó bastante intuitivo, en gran parte gracias al serigrafiado del nombre de cada pieza sobre su superficie, generado por Grasshopper y grabado en la cortadora láser. Las piezas encajaron entre sí resultando suficientemente estables sin necesidad de usar adhesivos.

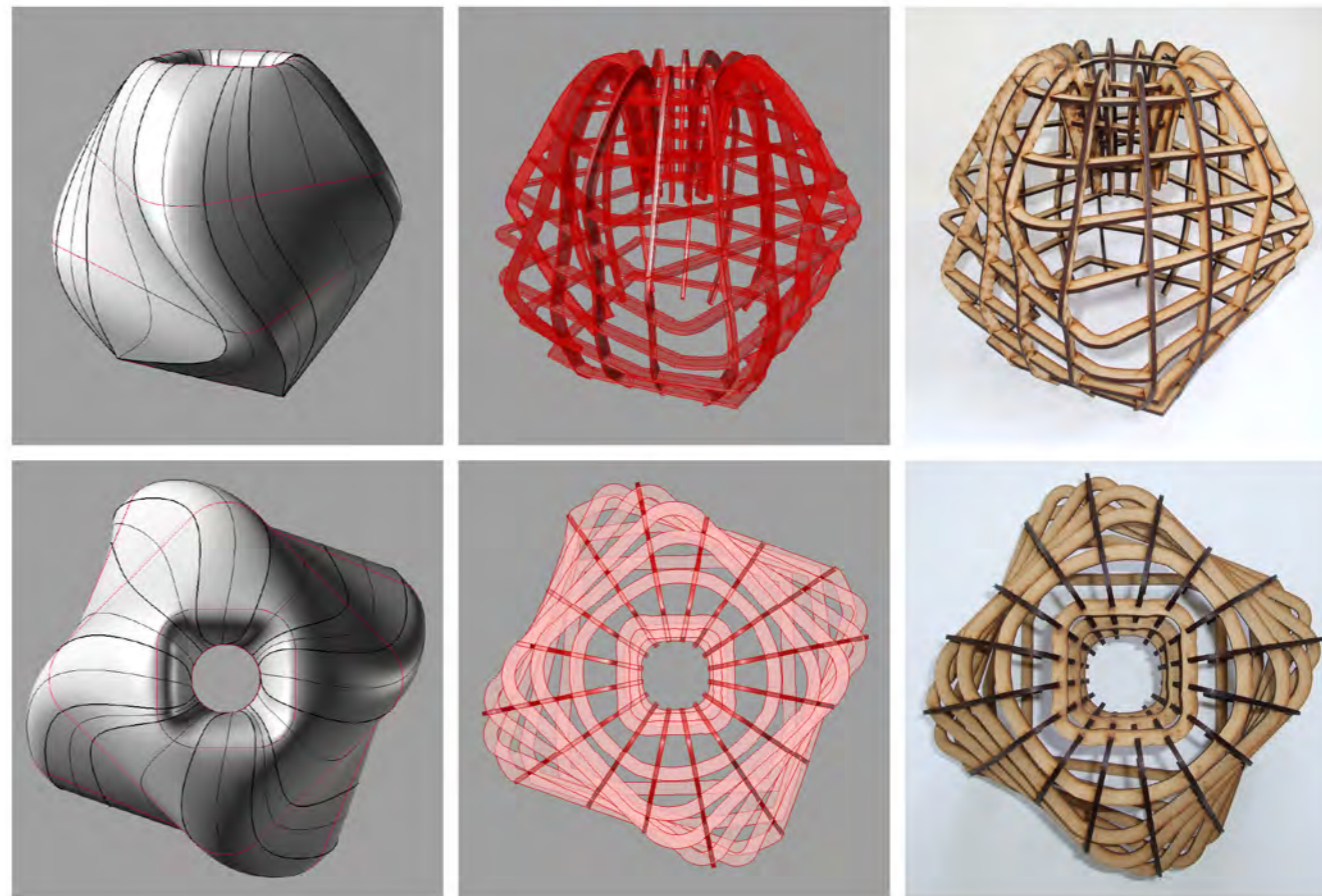


**IDONEIDAD**

El diseño de la superficie en Rhinoceros, suavizando las aristas y contemplando las limitaciones que planteaba el material disponible para la fabricación; el desarrollo de un script específico en Grasshopper para el corte en meridianos y paralelos, permitiendo el estudio compositivo de las costillas que compondrían el objeto final; y las soluciones adoptadas frente a los obstáculos encontrados durante la fabricación, nos han permitido generar un modelo de costillas muy acorde con el modelo de superficie.

Si bien la mejora del script en futuras versiones podría permitir controlar aún más los cortes, en concreto los correspondientes a los paralelos, la pieza no ha perdido gran definición geométrica desde la superficie a las costillas, resultando la forma fácilmente reconocible.

El corte en meridianos y paralelos resulta muy adecuado para la representación de una determinada superficie mediante modelo de costillas. No obstante, cabría destacar que cada caso requiere un estudio del número y posición de los cortes para que el resultado final no difiera en exceso del diseño inicial. Por tanto, la solución adoptada para nuestra pieza podría no resultar óptima para otra de características aparentemente similares.



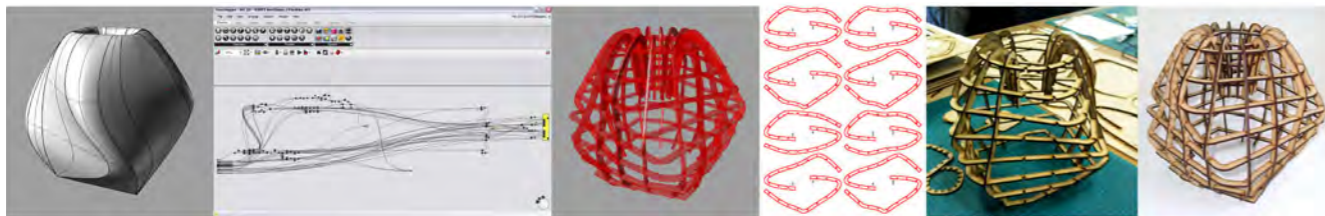
## CONCLUSIONES

A pesar de la simplicidad que a simple vista parecía tener el planteamiento del ejercicio propuesto (unir un cuadrado y un círculo con una superficie y convertirla en un modelo de costillas), durante su desarrollo se ha puesto de manifiesto la complejidad que encerraba.

Se han tenido en cuenta parámetros de diseño, producción y fabricación, y destaca en gran medida como al mismo tiempo, cada uno de ellos tienen consecuencias sobre los otros.

El hecho de pensar en cómo construir la pieza ha formado parte del proceso de diseño y ha condicionado el resultado. De un modo similar ha intervenido como variable, el contar como material para la fabricación los paneles de DM. La búsqueda de un modelo de costillas fabricado, fiel a la superficie concebida inicialmente, propició la creación de nuevos recursos para lograr una óptima representación (script). A su vez, esos nuevos recursos colaboraron en el proceso de fabricación facilitando la materialización de la pieza.

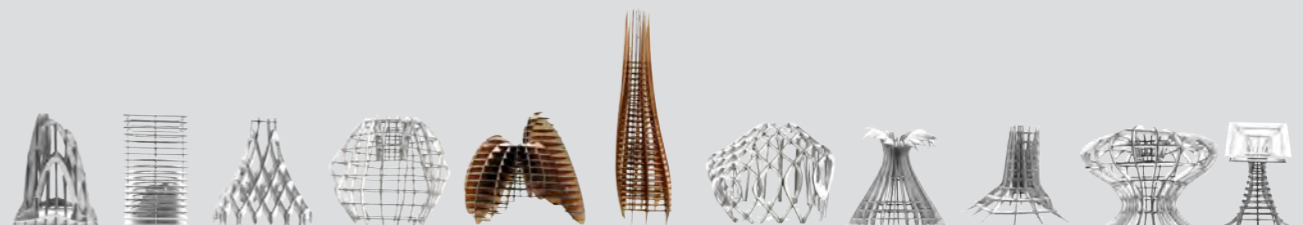
Todo ello pone en valor la importancia de entenderlo como un conjunto, un proceso donde cada cosa interviene y todo debe tenerse en cuenta.



MODELOS\_GRUPO DE TRABAJO 04\_CASTILLA - DE BORJA - GONZÁLEZ

# GT05

Luis Do Campo Hohr  
José Luis García del Castillo López  
Bernardino Morillo Merino



## DISEÑO PROPUESTA\_A

MIATD 2009-2010. CUADERNO 1\_FABRICACIÓN DE MODELOS PARA LA ARQUITECTURA

El ejercicio de generación de la geometría proponía aparentemente una complejidad: unir un cuadrado y un círculo mediante una superficie continua y que contenga a ambas.

No obstante, de manera implícita en el enunciado también sabemos que esta superficie compleja debe representarse mediante costillas planas para que la superficie se pueda realizar con los medios facilitados.

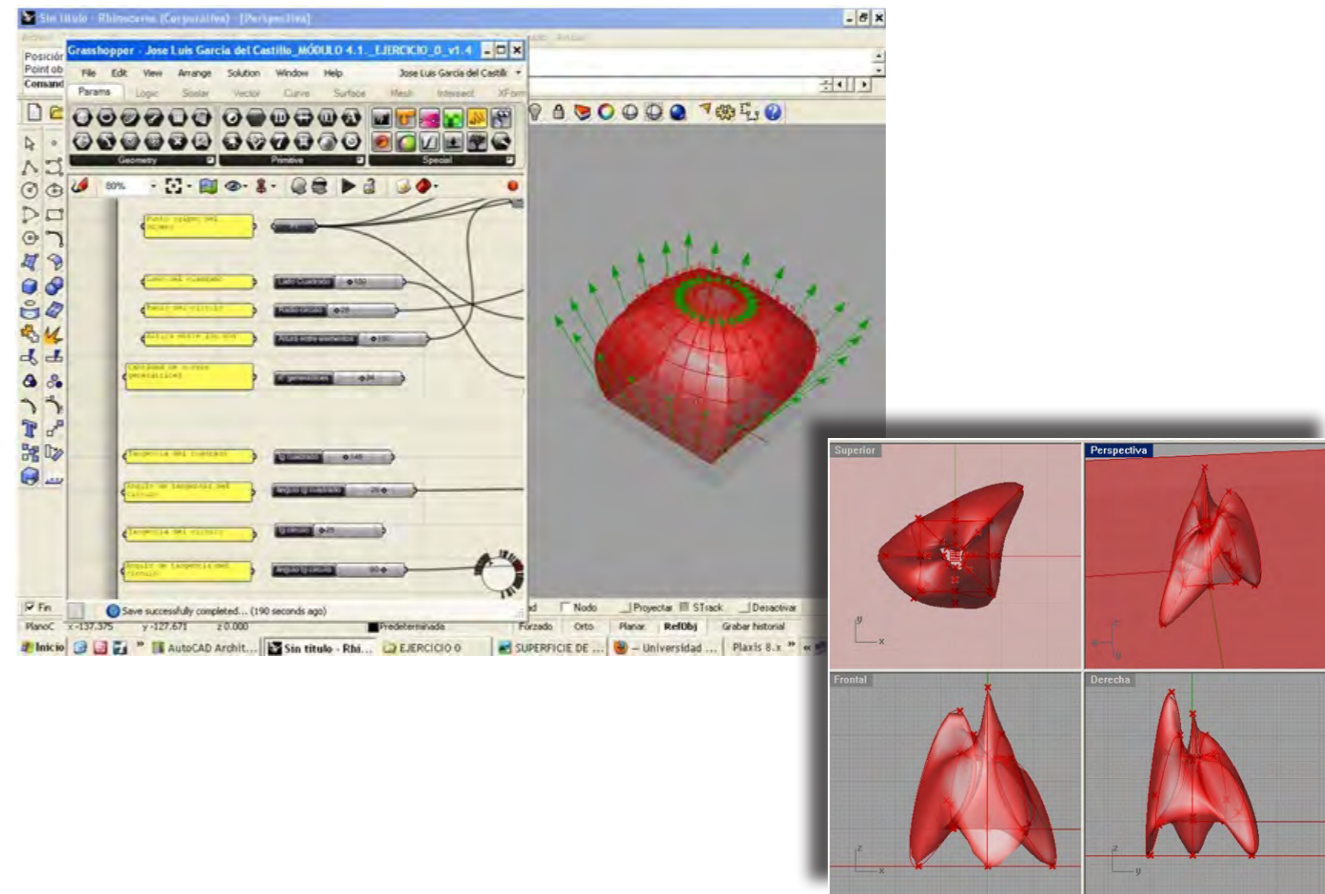
Creemos que la segunda premisa es mucho más restrictiva y compleja que la primera, pues al trabajar superficies complejas generadas por curvas simples comprobamos que no es posible relacionar la forma de las curvas con la geometría del objeto origen, por eso la construcción del modelo debía de poder amoldarse, tallarse o rectificarse durante el proceso para ir mejorando el resultado mediante un proceso de optimización.

Para posibilitar el moldeo de la forma del modelo hemos recurrido desde el primer paso del diseño a programas de diseño paramétrico. Mediante programas paramétricos podemos controlar una gran cantidad de soluciones dependiendo éstas de las incógnitas libres que dejemos en el árbol de generación.

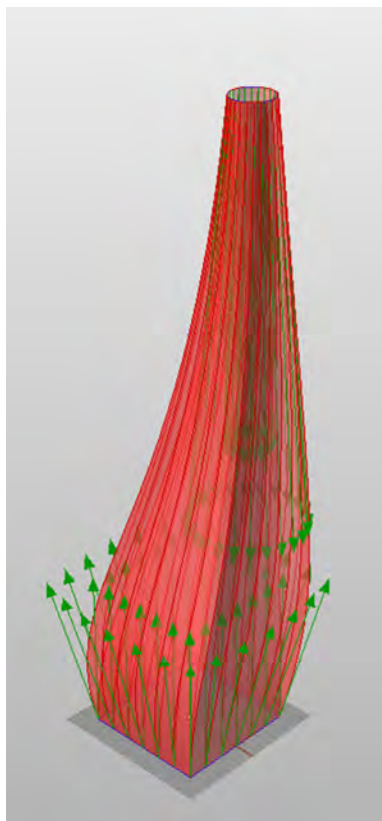
Para diseñar el modelo hemos partido de la premisa de no marcarnos más restricciones de las imprescindibles. Para eso no hemos tomado ni el cuadrado como base del modelo, ni el círculo como cota más alta de éste, proponiendo patas para apoyar la maqueta y miradores para generar puntos altos. La solución propuesta está realizada con muy pocos parámetros de partida: 1 círculo, 1 cuadrado, 1 mirador, 8 curvas, 3 patas, 1 atrio, 1 patio interior...

La forma final afinada responde a elementos plásticos y de relación como la continuidad propuesta por el enunciado, la lógica estructural para que las patas estén separadas, la simplicidad deliberada de las curvas generatrices, la altura del mirador, la altura del atrio... Todo ello implementado en la aplicación paramétrica.

Independientemente del fin material de este ejercicio, es mucho más interesante lo que no se hace, más que lo que se hace.



## DISEÑO PROPUESTA\_B



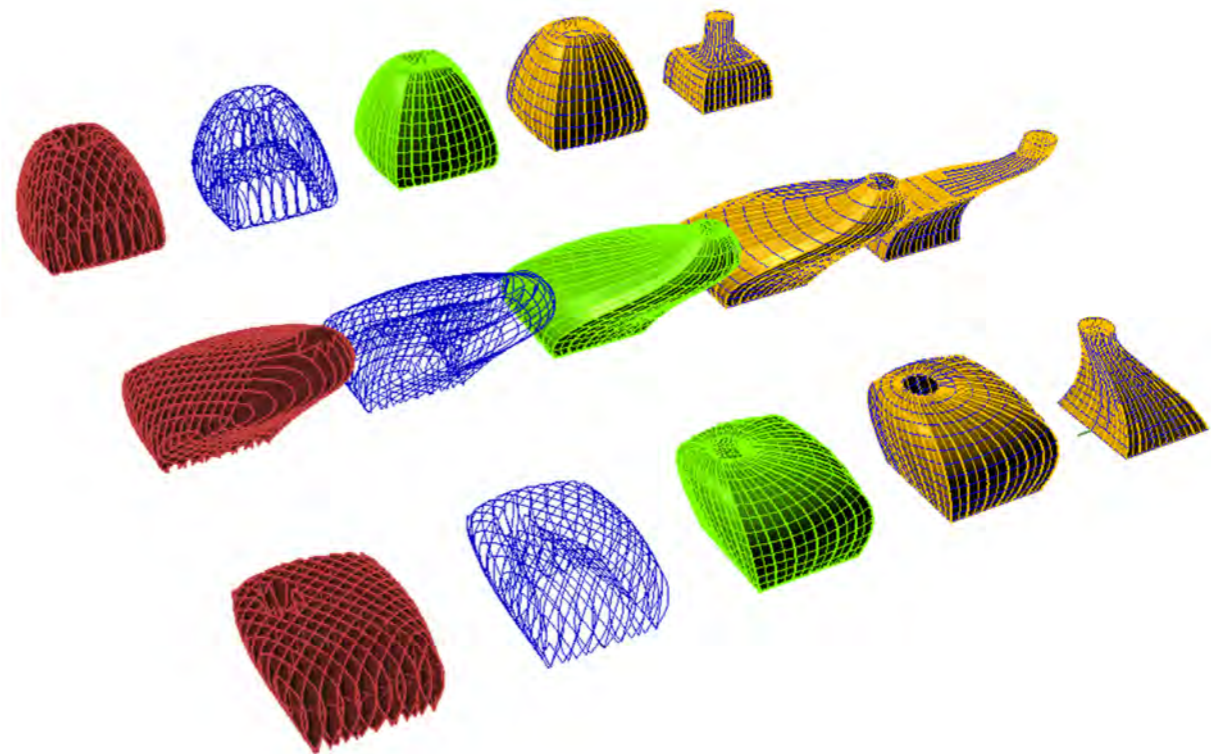
Las premisas del ejercicio hablaban de una superficie que uniera un cuadrado con un círculo. Como alternativa experimental, en la Propuesta B pasamos por alto las condiciones dimensionales y liberamos las geométricas. Al igual que en la Propuesta A, nos pareció que trabajar sólo en superficie reducía el potencial de la propuesta, y volvimos a optar por trabajar volumétricamente.

De nuevo en este caso, diseñamos una rutina paramétrica para crear el volumen del prototipo. Con diferencia, lo más interesante de este Ejercicio (y creemos que del resto) nos ha parecido poner el énfasis en los procesos más que en los objetos finales: no diseñar productos, sino diseñar producciones capaces de producir productos.

Esta vez, nos basamos en la curva de Bézier como generadora de la forma, y diseñamos una herramienta capaz de unir el cuadrado original con el círculo original a través de una doble capa de familia de curvas de Bézier. Todo personalizable: tamaño del cuadrado y del círculo, posición relativa de uno sobre el otro, ángulo y módulo de las tangentes de las curvas, densidad de la malla, etc.

De esta forma, el objeto crece y se deforma a placer. Diseñamos una forma de producir formas, y nos asombra en la exploración de sus posibilidades: nos regala las formas que habíamos intuido, y nos sorprende con otras tantas que ni siquiera habríamos esperado concebir...

Elegimos el objeto final, una suerte de torre esbelta pero firme. Expressimos su estabilidad al máximo, queremos que se erija altanera y orgullosa, hasta el límite de lo mundanamente posible: el largo de un panel de DM.



## PRODUCCIÓN

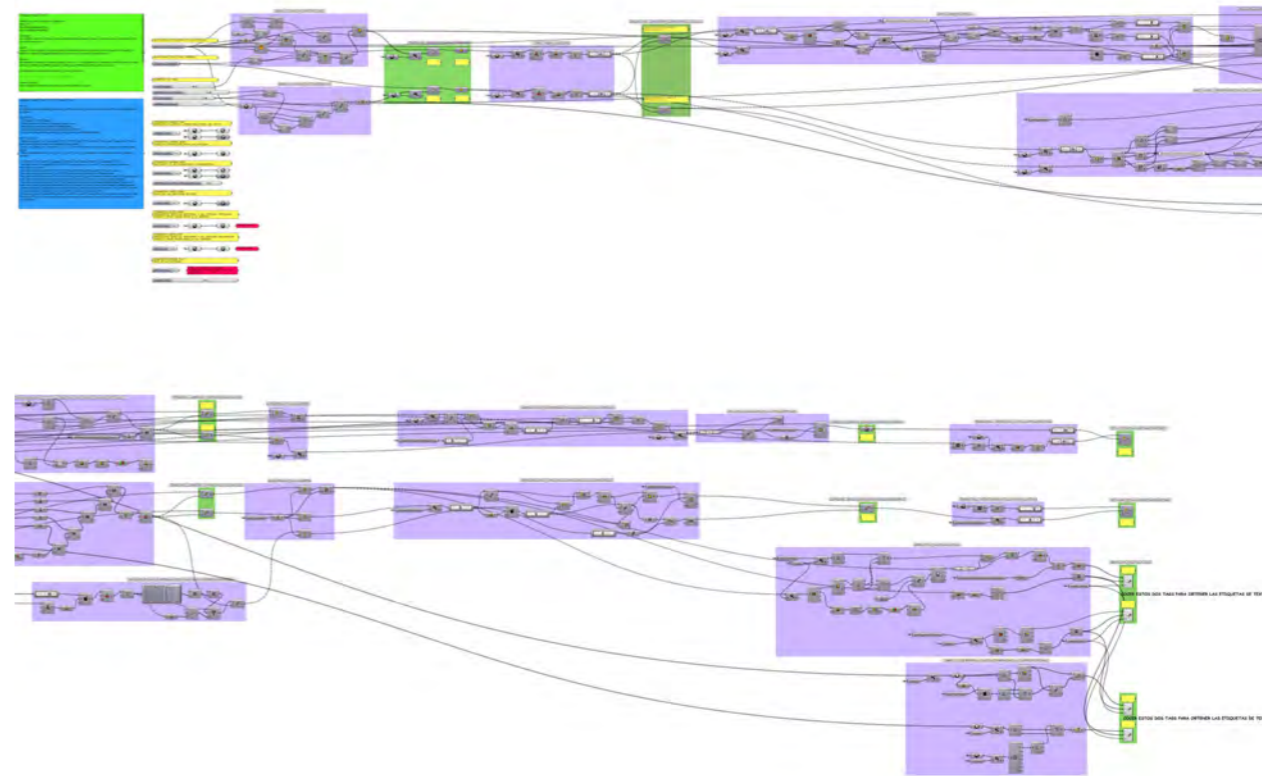
El proceso de producción se ha basado en la generación de una definición paramétrica que ejecuta de manera automática todos los comandos necesarios para convertir la geometría en costillas planas para su prototipado mediante corte láser.

Durante el proceso de diseño del montaje nos dimos cuenta que era imprescindible para el ensamblaje que la maqueta se construyera con costillas radiales y horizontales, pues al tener un hueco interior el orden de montaje de las piezas es variable en función de la geometría.

Esta decisión nos ha hecho tener que diseñar una definición específica para este caso especial. La definición de corte se ha realizado de manera manual pero una vez terminada es capaz de cortar cualquier tipo de superficie cerrada sobre sí misma, con un hueco interior según costillas horizontales y verticales radiales.

La definición paramétrica de producción de la maqueta realiza las siguientes funciones:

1. Genera curvas planas horizontales y verticales radiales a un eje central dado (no tiene porque ser el centro geométrico del objeto).
2. Abate las curvas en una superficie plana a determinar.
3. Enumera las curvas para identificarlas durante el montaje.



## FABRICACIÓN

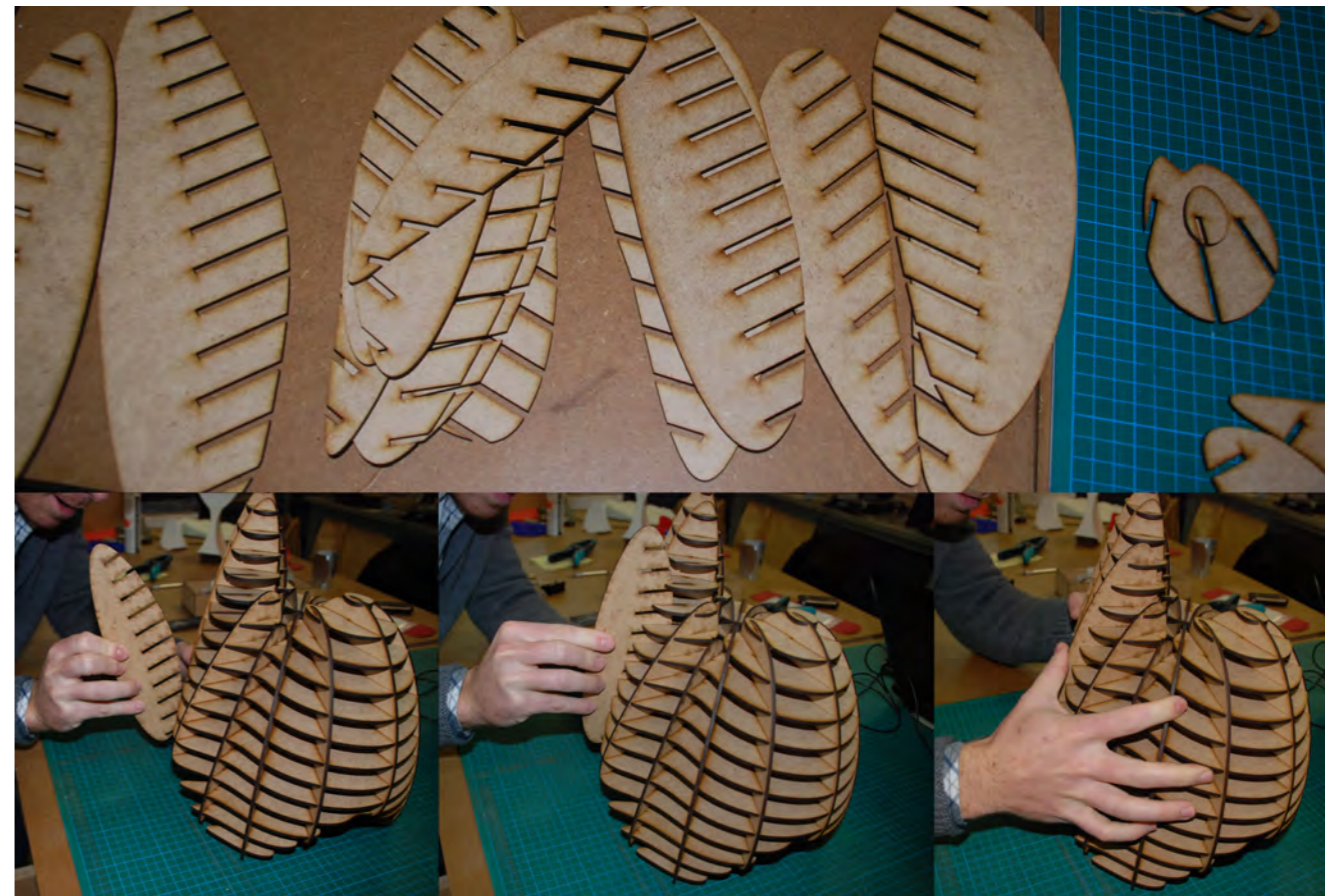
Para realizar las maquetas hemos tenido que utilizar diversos programas intermedios propuestos por el equipo del FAB LAB para que los equipos CAM leyeran de manera eficaz la información facilitada por nuestra definición paramétrica. La geometría ha pasado de Rhinoceros a AutoCad y de AutoCad a Corel, como programa de lectura del software CAM.

Uno de los aspectos más interesantes de este Ejercicio ha sido también la necesidad de tener siempre en mente el proceso de fabricación material del objeto mediante las herramientas disponibles y su funcionamiento. Aspectos como la dimensión del material, la potencia del láser, el orden del corte, etc, fueron determinantes en el diseño del objeto y en el pre-proceso de fabricación.

La distribución de las piezas en las planchas de corte ha sido manual. Existen rutinas de optimización de distribución de áreas en superficies, aunque eso lo descubrimos más tarde. Además, según las recomendaciones del 'fabricante' (el FAB LAB), tuvimos que evaluar la potencia del láser para las líneas de las piezas (grabado para las anotaciones y corte 100% para la silueta de las piezas) y el orden de corte de las mismas, esto último muy importante, teniendo en cuenta que la disposición de muchas piezas era concéntrica, y conviene cortar las piezas de dentro a fuera para evitar desplazamientos indeseados del panel.

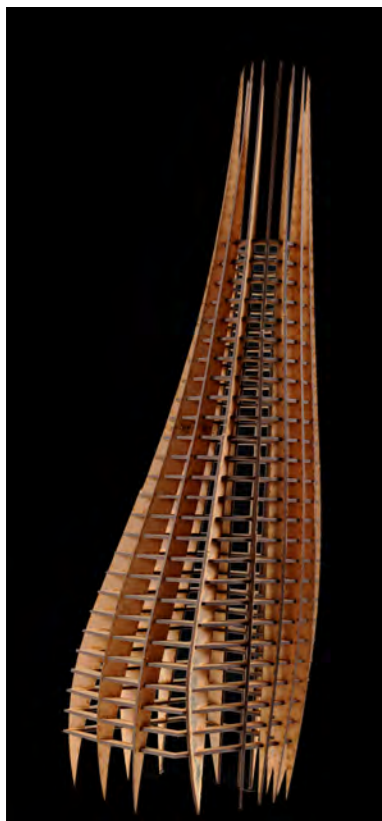
Debido al tamaño de la maqueta hemos necesitado tres planchas de madera DM de dimensiones 800x400x3 mm (alto x ancho x espesor) para la Propuesta A y cuatro para la Propuesta B.

Pese al trabajo de identificación de las piezas mediante textos grabados en ellas, durante el proceso de montaje hemos necesitado el modelo tridimensional para ir referenciando las costillas con su posición en el espacio. Aún así hemos el proceso de montaje duró aproximadamente 1 hora y no se utilizó ningún tipo de pegamento para unir las piezas.





## IDONEIDAD



En el proceso de generación de la maqueta desde el modelo inicial han destacado varios aspectos:

Al diseñar la geometría sin restricciones de tamaño nos hemos encontrado con que nuestros modelos son los más pesados de todos los propuestos y los que consumen más material. Hemos barajado incluir en el proceso un paso intermedio de aligerado mediante vacíos pero finalmente no se ha implementado en los modelos fabricados.

Cuando elegimos el método constructivo por medio de costillas radiales verticales y horizontales no teníamos muy claro cuanta rigidez iba a alcanzar la maqueta. Por la configuración del montaje las costillas horizontales quedan sólidamente unidas por las verticales y no se pueden sustraer una vez montado. Este hecho hace al conjunto mucho más rígido de lo esperado.

La configuración de planos horizontales y verticales evoca de manera directa arquitecturas compartimentadas. Para enfatizar esto hemos colocado muñecos que dan escala a la maqueta, proponiendo los espacios que proponíamos en el proceso de diseño.



## CONCLUSIONES

A nivel práctico, surgen varias cuestiones optimizables después de la experiencia de la fabricación.

Con diferencia, el mayor problema con el que nos encontramos fueron las tolerancias del corte láser. Y en realidad el problema fue la absoluta precisión del corte del mismo en el DM. Para un panel de 3 mm diseñamos un machihembrado de las costillas de exactamente 3 mm, asumiendo que el ancho del corte nos daría suficiente holgura de montaje. En la Propuesta A fue suficiente, pero para la Propuesta B se manifestó como una mala decisión, ya que la combinación de exactitud del corte y rozamiento del DM dificultó terriblemente el montaje del prototipo, hasta el punto de que algunas costillas quebraron y la mayoría no pudieron alcanzar su profundidad real. La experiencia futura en otros prototipos dictará la relación entre el sobre ancho del machihembrado y la longitud total de juntas en el objeto, fácilmente implementable en la definición paramétrica.

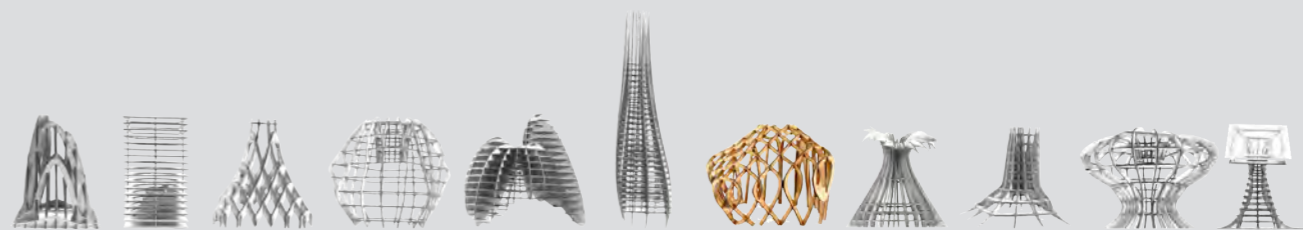
Por otro lado, creemos que tener en cuenta la forma de las costillas colocadas en el panel daría lugar a patrones de fabricación más óptimos, con menos desperdicio de material. Entendemos que este proceso es difícil, por lo específico del parámetro en las etapas tan tempranas del diseño, pero es un nivel creciente de complejidad investigable.

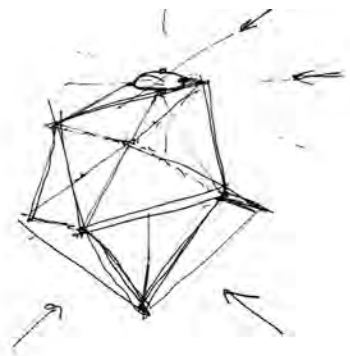
Y a nivel teórico, sin lugar a dudas nos reafirmamos en la conciencia de que lo más interesante ha sido el diseño de los procesos y el énfasis en los mismos. La posibilidad de creación de una herramienta personalizable nos libera del tedioso proceso iterativo de prueba-mejora-prueba-mejora... , a la vez que nos proporciona una familia de posibilidades tal vez intuitivas pero no imaginadas, abiertas a la exploración y el descubrimiento.

Además, es imprescindible relacionar el diseño de la forma con el conocimiento del proceso material de fabricación y sus detalles. No es lo mismo pensar en la forma teórica digital, que intuir la realidad del objeto físico construido. Probablemente, si hubiéramos optado por una matriz ortogonal de costillas, el ejercicio hubiera sido completamente diferente...

# GT06

Fernando Manuel Garrido Naranjo  
Urbano Javier Jiménez Guerrero  
María del Carmen Mayen González



**DISEÑO**

Como todo proyecto, la solución final de este ejercicio fue el resultado de un largo proceso.

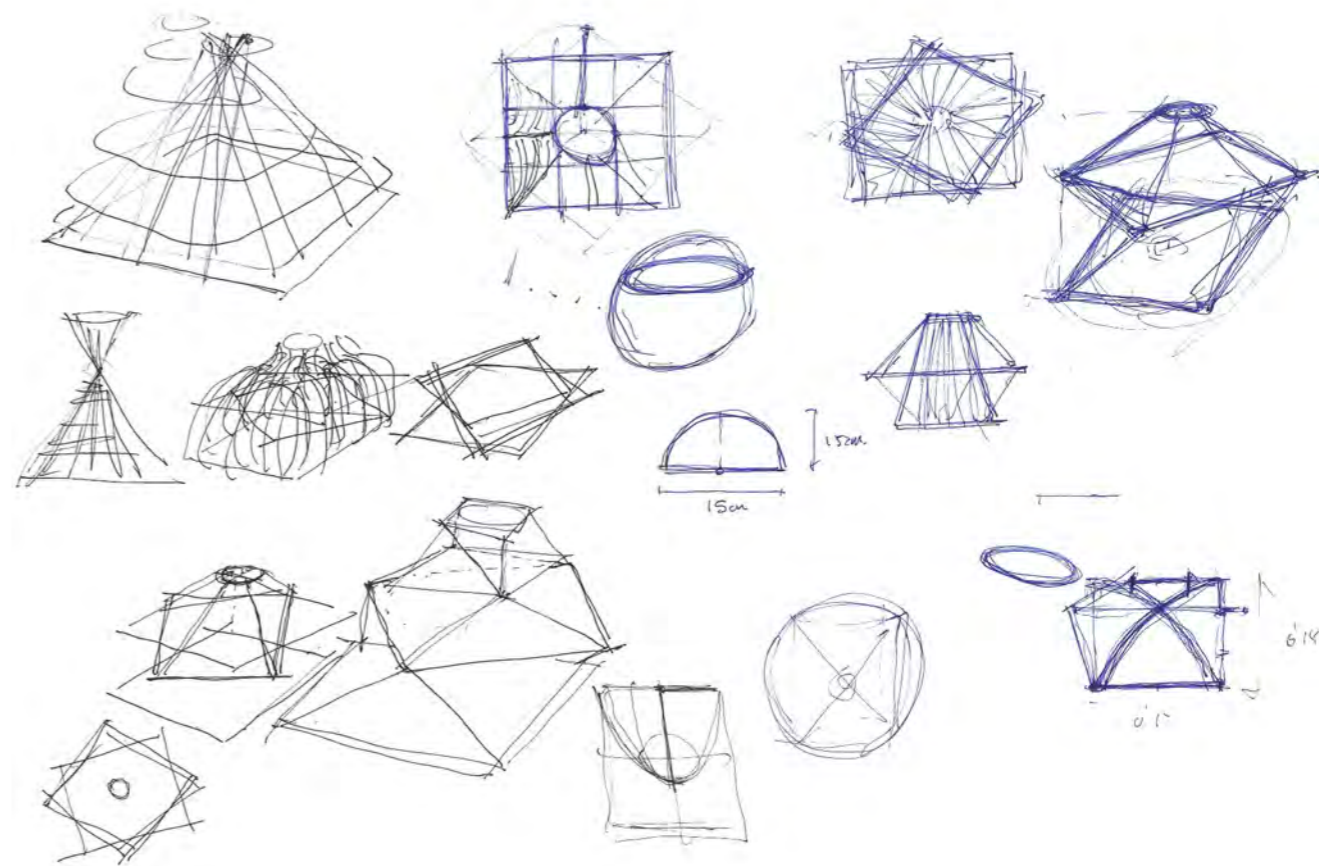
Al inicio empezamos a contemplar soluciones geométricamente muy básicas porque utilizábamos las herramientas con las que estábamos acostumbrados a trabajar antes y esto reducía las posibilidades de nuestra propuesta.

Una vez que nos convencimos, empezamos a trabajar con otros programas (Rhino, Grasshopper) que nos daban mayor libertad para generar superficies.

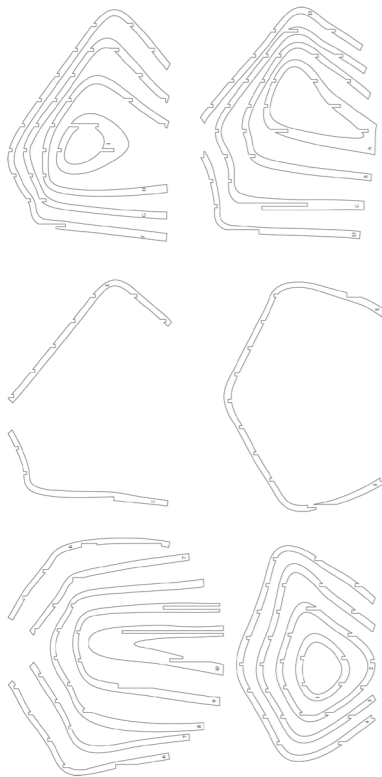
Nuestra propuesta se apoya en la geometría del cuadrado, reflexiona sobre la cuadratura del círculo. Buscamos generar una superficie limpia, sencilla y elegante.

Situamos un nuevo plano intermedio entre la figura base, en este caso, el cuadrado y el círculo. Este nuevo plano gira tanto en el plano horizontal como en el vertical, de forma que la superficie final enlazará tres figuras geométricas que parecen girar sobre sí mismas.

El cuadrado se retuerce, quiere abrazar al círculo...



## PRODUCCIÓN

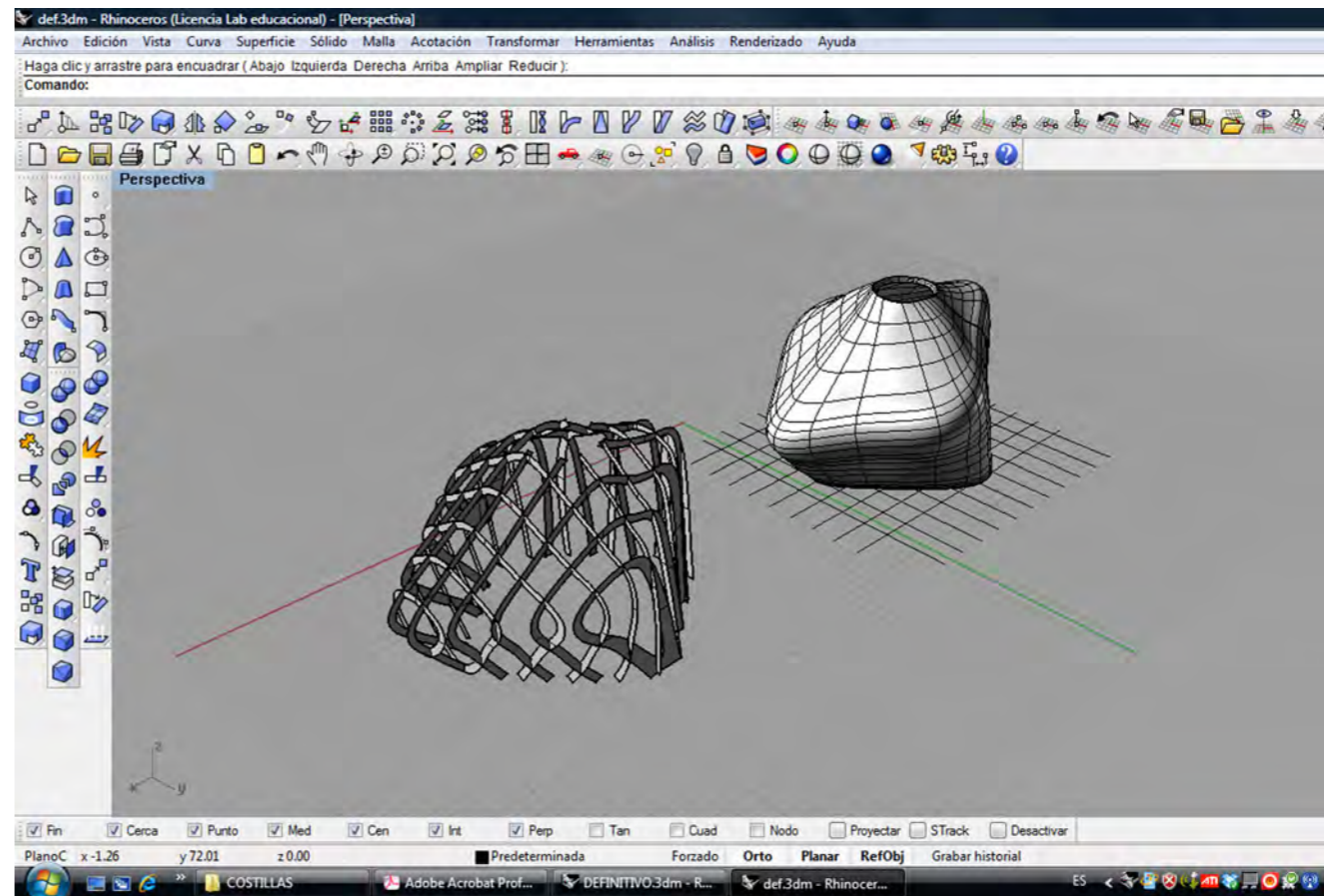


La generación de costillas del modelo se ha llevado a cabo interseccionando el sólido con un haz de líneas ortogonales, de esta forma obtenemos las distintas cuadernas que describen el contorno y el espesor asignado a la superficie propuesta.

Este proceso se ha realizado con el programa de modelado Rhinoceros, con esta herramienta obtenemos las cuadernas, sin embargo tuvimos que redibujar estas curvas en AutoCad, porque CorelDraw, que es el programa que utilizan en el taller de maquetas, no reconoce las líneas obtenidas en Rhinoceros. Por lo tanto, el proceso fue más costoso, en tiempo y en esfuerzo, de lo deseado porque tuvimos que redibujar el contorno de cada una de las cuadernas obtenidas anteriormente.

Desde Grasshopper nos consta que podemos obtener las cuadernas de forma automática, ejecutando una serie de comandos, sin embargo nosotros no fuimos capaces de conseguir hacerlo por este camino y tuvimos la necesidad de realizar todo el proceso desde que obtuvimos las cuadernas manualmente.

Entendemos que todo el proceso se ha realizado con herramientas que ahora mismo están cristalizando y, que aún hoy están en versiones de modo de pruebas, sin embargo siempre es interesante conocer nuevos caminos que nos permitan avanzar y mejorar en el proceso de proyectar.



## FABRICACIÓN



El proceso de fabricación del modelo fue rápido y ciertamente sencillo. Enviamos el archivo .dxf al equipo del taller de maquetas y ellos importaron dicho archivo a CorelDraw. Desde ese programa se envió a la impresora láser y ésta redibujó las cuadernas definidas previamente sobre el tablero de DM. En nuestro caso bastó con un único panel, pues teníamos espacio suficiente para incluir todas las cuadernas que conformaban el modelo. Fue muy grato ver con la rapidez y exactitud que trabaja la impresora láser.

Como anécdota, contar que una de esas costillas que obtuvimos de la máquina se rompió al transportarla, y nosotros, al conservar los restos de panel sobrantes, pudimos obtener de nuevo esa costilla reutilizando dicho panel, en un intento de reciclaje de material.

En el proceso de montaje de las cuadernas observamos que podemos trabajar con una precisión muy elevada, que podemos construir modelos prácticamente exactos, y que todo dependerá de nuestro diseño y de la geometría de nuestro modelo, porque la máquina es capaz de repetir lo que nosotros dibujemos.

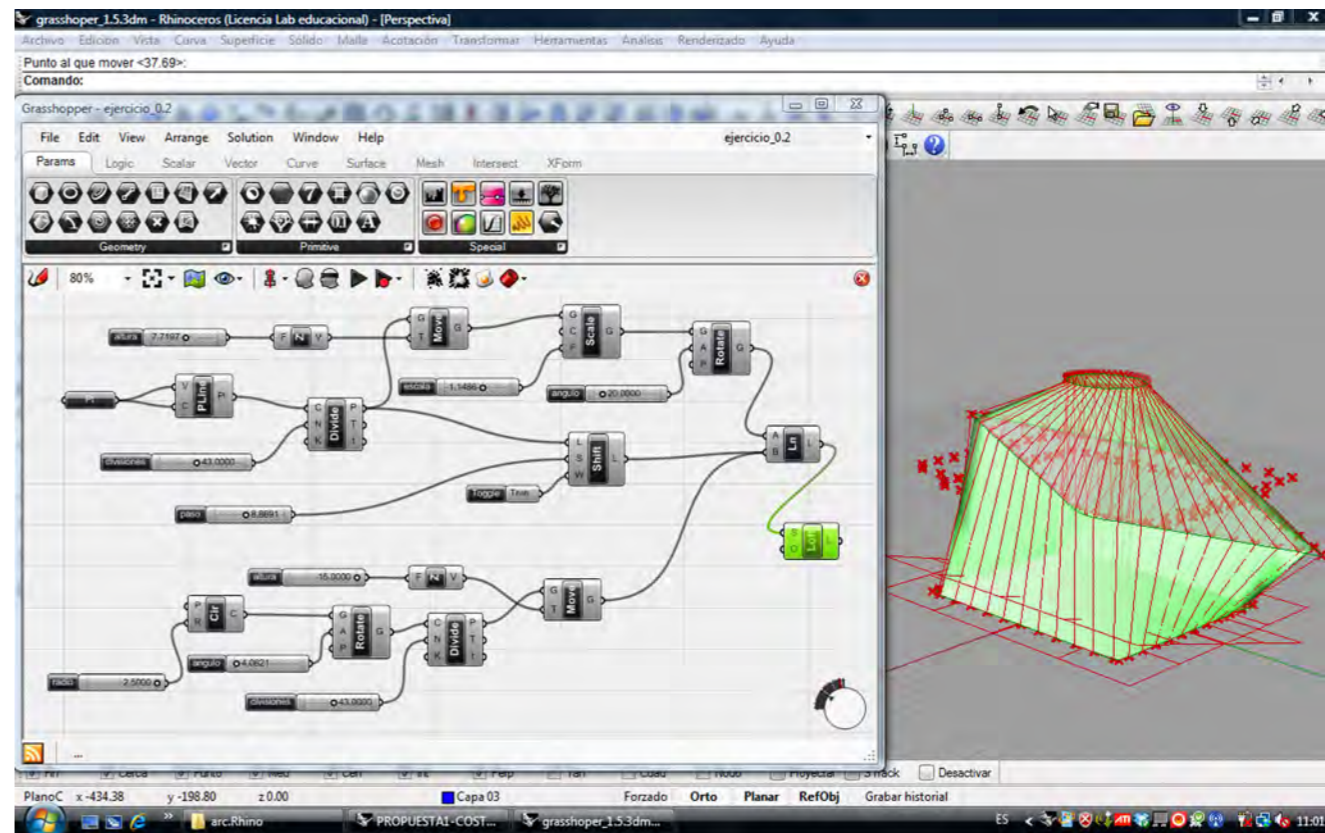
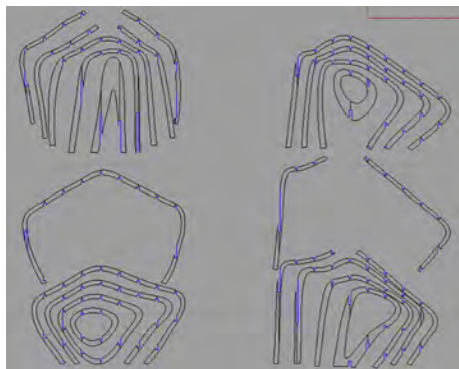
Por lo tanto, la estabilidad, el diseño, el aspecto y la forma de nuestra maqueta final dependerá de nuestro previo buen hacer.



## IDONEIDAD

Nosotros acertamos en pensar el ejercicio desde el inicio como una propuesta que tenía que fabricarse. Gracias a esto adecuamos nuestro diseño a la posterior fabricación, teniendo en cuenta aspectos que después serían vitales, como la estabilidad del objeto, que fuese lo más ligero posible en un intento de ahorro de medios, que fuese lo más fiel posible al modelo pensado y dibujado como sólido, etc.

Por lo tanto, el resultado final que obtuvimos en nuestro caso fue bastante satisfactorio. Aún así, una vez que estás construyendo el modelo con las manos en ese último paso del proceso del ejercicio propuesto se advierten cuestiones que pueden mejorar y cobran importancia otros aspectos que desde el ordenador no somos capaces de percibir, por consiguiente desde nuestra experiencia entendemos que este ejercicio nos ofreció la posibilidad de aprender con las herramientas informáticas y, al mismo tiempo, con las manos. Esto debería de ser así siempre.



## CONCLUSIONES

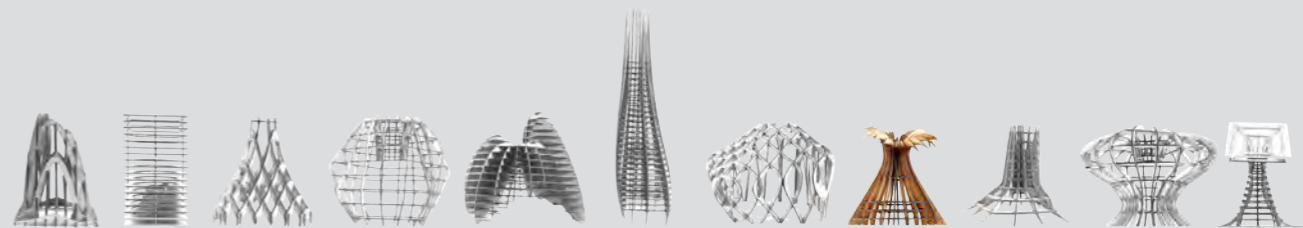
El ejercicio es un buen ejemplo para acercar al alumno a nuevas herramientas que amplían nuestras posibilidades de diseño, siempre entendiendo esto como un complemento en el proceso de proyecto y nunca como sustituto del lápiz y del papel.

Ofrecer la posibilidad de fabricar aquello que previamente hemos diseñado siempre será algo satisfactorio y enriquecedor para el alumno, pues de esta forma veremos nuevas cuestiones que nos ayudarán a entender mejor para qué sirven las nuevas herramientas con las que contamos y cómo debemos utilizarlas.

Y para concluir, decir que en líneas generales este ejercicio teórico-práctico ha sido una experiencia bastante productiva y enriquecedora, ampliando nuestras capacidades para proponer y "fabricar".

# GT07

Salvador Mérida Córdoba  
Juan Rubio Cortés

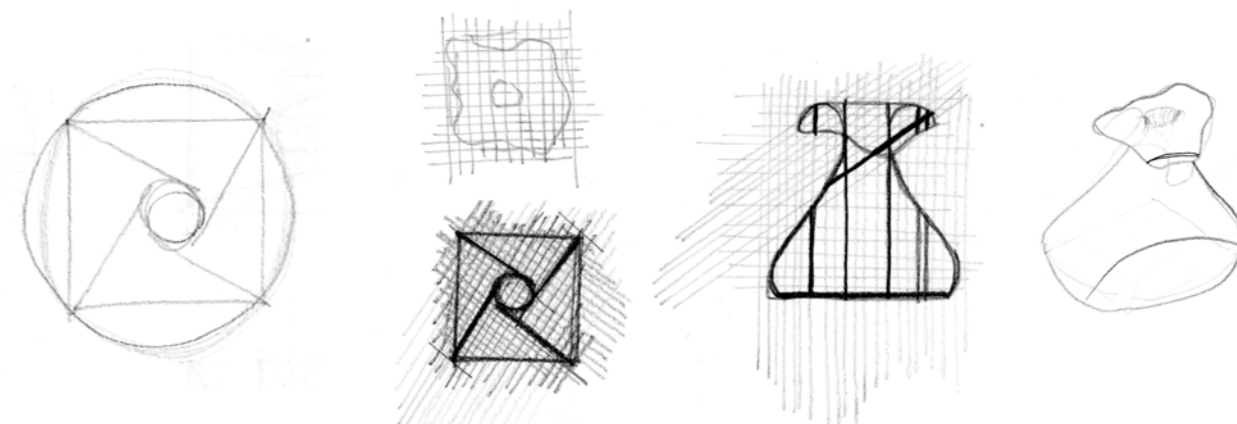
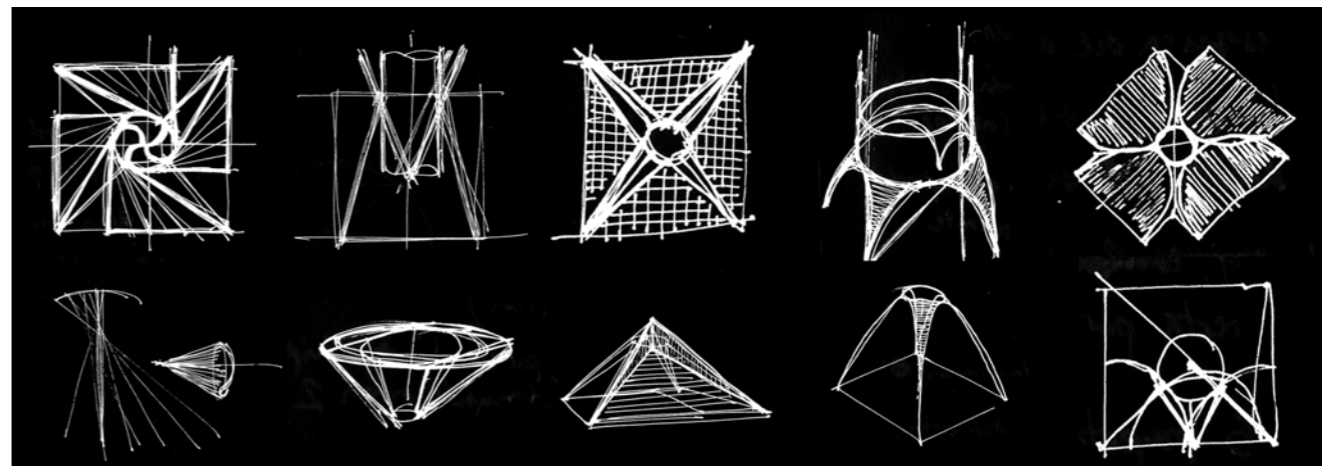


**DISEÑO**

El diseño de esta figura es el primer contacto que los miembros del grupo teníamos con el campo del prototipado y la fabricación digital. Por lo que el inicio de los primeros esbozos fue ilusionante, ya que habíamos de encontrar un diseño interesante resolviendo unos condicionantes de partida impuestos en el enunciado del ejercicio.

El primer paso del diseño entendemos que es coger el lápiz y manchar papeles: en clase, en casa, en los descansos del máster... El reto era bonito, pero el papel lo aguanta todo y luego habría que definirlo digitalmente.

Pronto nos encontramos con el primer problema: no dominábamos la herramienta informática con la que debíamos producir la figura que posteriormente pasaría al taller de prototipado. El programa Rhinoceros (versión 4.0) resultó ser una herramienta tremendamente útil y versátil pero que, con el paso de los días, observamos que ofrecía muchas más posibilidades de las que habíamos descubierto. Los intentos de generar formas de superficie continua produjeron figuras de todo tipo, forma, tamaño y geometría, pero ninguna de ellas cubría las expectativas del grupo.





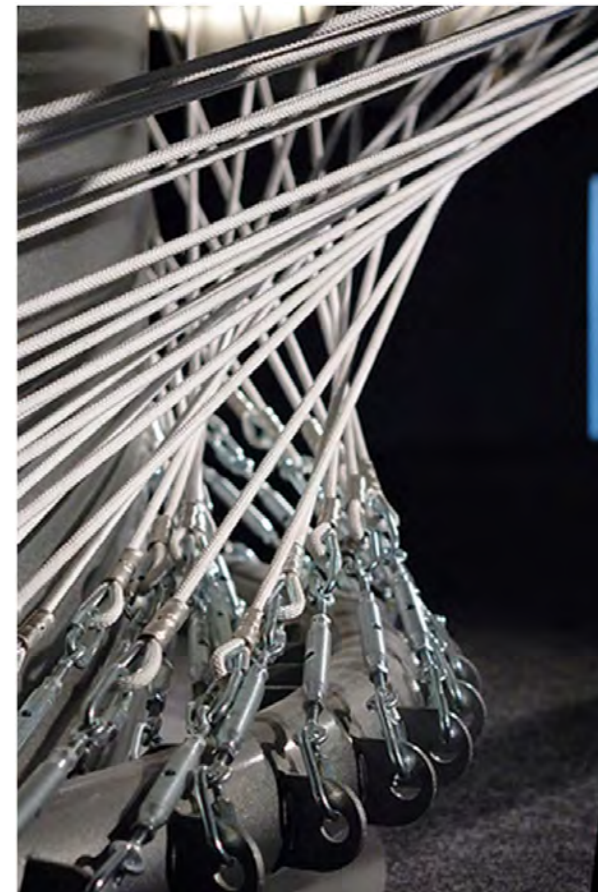
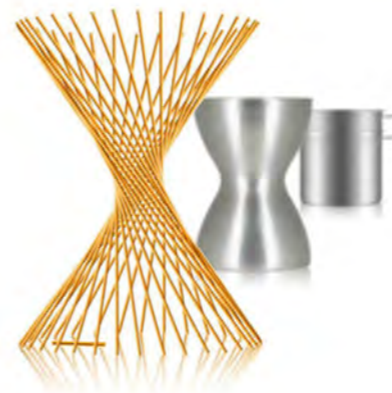
## DISEÑO

Llegados a este punto nos vimos inmersos en una vorágine informática de iconos, órdenes, plugins, nurbs, parametrizaciones, superficies y mallas que nos empezaban a ganar la partida.

Llegados a este punto decidimos retomar el lápiz, dominar la geometría y diseñar una forma que fuera el objetivo concreto. Después de muchas ideas dibujadas empezamos a jugar con superficies de revolución y superficies regladas. El hiperboloide de revolución o de una hoja se acercaba mucho a la idea que perseguíamos.

La Catedral de Brasilia de Óscar Niemeyer, la Torre de Kobe o prototipos de diseño industrial, de mobiliario y accesorios domésticos sirvieron de referencias a nuestra figura que, obligatoriamente, deberían sufrir modificaciones para adecuarse a los requisitos originales de diseño. Además pretendíamos crear una forma más dinámica que la rigidez que ofrecen este tipo de superficies, por lo que comenzamos a deformar, de una manera más aleatoria, los bordes de la figura.

Una vez fijado el objetivo y teniendo claro lo que buscábamos, ahora debíamos encontrar el camino para su modelado digital. Para ello nos servimos de la herramienta informática y todo resultó mucho más fácil.



## PRODUCCIÓN

El proceso de producción del modelo desarrollable en costillas para su posterior cortado y montaje fue, probablemente, el paso menos tecnológico de nuestro modelo.

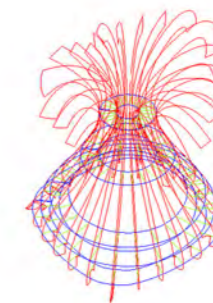
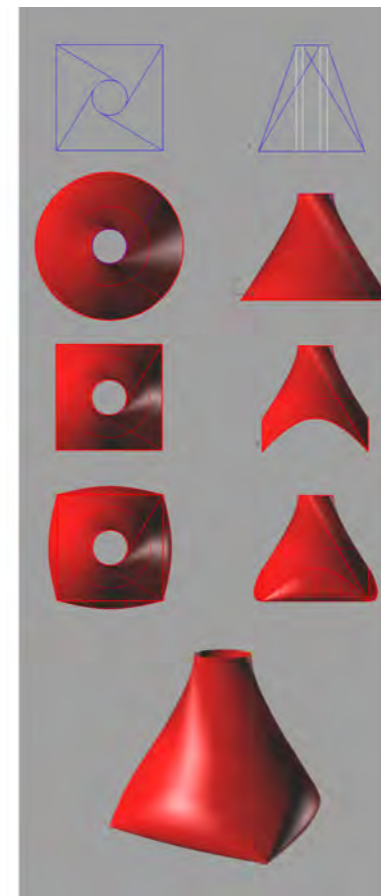
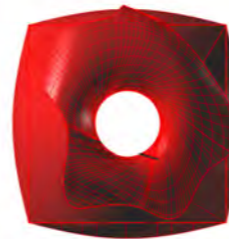
Una vez conseguida la superficie continua en Rhinoceros, el programa tiene una aplicación, Grasshopper, que realiza de manera automática cualquier acción que se le ordene, previamente programada y configurada.

En nuestro caso contábamos con una aplicación programada desde el taller de fabricación digital (FabLab) la cual, en teoría, asignaba espesor a la figura, la cortaba en planos ortogonales y hacía el despiece de todas las costillas, numeradas, ordenadas y preparadas para su posterior corte y montaje final.

La figura que habíamos creado tenía ciertas particularidades que dificultaban la utilización directa de la aplicación, ya que tenía partes de la superficie que se volvían sobre sí misma. En estos casos la aplicación generaba el corte de la proyección vertical de la figura (un mismo plano de corte cortaba dos veces a la superficie y creaba una costilla continua).

Además los cortes estaban programados para hacer secciones de manera ortogonal, en dos direcciones. Nuestra figura, al ser de revolución, creímos que se comprendería mejor con cortes radiales y secciones horizontales, de manera que el resultado final, una vez montada, se acercaría más a la idea concebida desde el dibujo. Una serie de costillas radiales daban la forma y las secciones horizontales definían la variación de la sección desde el cuadrado de la base hasta el círculo situado a 15 cm de altura. Por todos estos motivos, y debido al desconocimiento de programación de Grasshopper y la falta de tiempo para investigar su funcionamiento, recurrimos a lo siguiente:

1. Conseguir el modelo de superficie continua (red de curvas definida desde las secciones radiales de la figura).
2. Dar espesor a la figura (15 mm).
3. Cortar la figura (proyectando verticalmente líneas radiales sobre la misma) y obtener sus secciones (polilíneas con la silueta de la figura)
4. Elegir las secciones horizontales más interesantes y realizar el paso 3 en esta dirección horizontal.
5. Exportar estas polilíneas a AutoCAD y definir las costillas, con sus encuentros a media madera, una a una (insistimos en que éste fue el paso menos tecnológico del proceso de prototipado).



## FABRICACIÓN

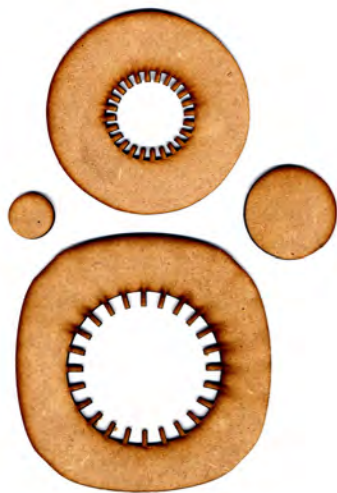
El proceso de fabricación empieza desde el momento en que se obtienen del modelo desarrollable todas las costillas necesarias para su posterior corte y montaje.

Cuando obtuvimos las costillas nos empezamos a plantear una serie de dudas sobre la manera más correcta de entregar los archivos para el modelado de la figura.

Para esto, y para obtener información de otra serie de parámetros, fue necesario hablar con el laboratorio de fabricación digital: margen de impresión de la cortadora láser, tipo de archivo y formato, tamaño del panel de madera original, orden de corte de las capas del archivo...

Finalmente conseguimos montar todas las piezas en un solo formato con las dimensiones del panel (80x40 cm) de DM de 3 mm de espesor, con lo que se consiguió una gran optimización del material.

Sin embargo, hubo un detalle al que quisimos adelantarnos pero no obtuvimos el resultado esperado. Después de haber observado a otros grupos anotamos las complicaciones que encontraban en el montaje de las figuras. El espesor de las muecas para el ensamblaje de las piezas coincidía con el espesor del panel de madera, por lo que para el montaje se necesitaba de un pequeño martillo para unir las piezas. En algunos casos, en que las costillas habían resultado demasiado finas, éstas se rompieron con la presión. Por lo que nosotros decidimos darle a las muecas un ancho ligeramente mayor que el espesor del panel. El problema fue que no habíamos consultado con taller la precisión a la que trabaja la cortadora láser, por lo que el ancho que les dimos fue demasiado grande (3'2 mm).



Analizando el proceso a posteriori podemos reflexionar sobre lo acertado de las decisiones que se han tomado desde el inicio.

1. *Forma.* El grupo ha quedado bastante satisfecho con el resultado obtenido ya que la maqueta final refleja lo que el diseño inicial buscaba. Apuntar que, aprovechando lo "artesanal" del proceso de confección de las costillas, pudimos personalizar los bordes de las mismas, apuntándolos en sus extremos hasta hacerlos acabar en pico, a modo de ganchos, que estilizaban la apariencia final del modelo.

2. *Material.* Para no perder detalle de la forma de la figura se necesitaron muchos cortes radiales, lo que se traduce en más material utilizado y mayor peso.

3. *Tiempo.* La cantidad de costillas necesarias para conseguir la forma deseada y la geometría dispar de las mismas se traduce en mayor tiempo de corte.

4. *Economía.* Tiempo y material se traducen en coste, por lo que al poder mejorar las condiciones anteriores se deduce que en próximas ocasiones conseguiremos resultados más eficientes y rentables.

5. *Montaje.* El montaje de la figura fue extremadamente rápido y sencillo (no más de 10 minutos) pero finalmente necesitaríamos encolar alguna pieza para que se sustentara por sí misma.

## IDONEIDAD



## CONCLUSIONES

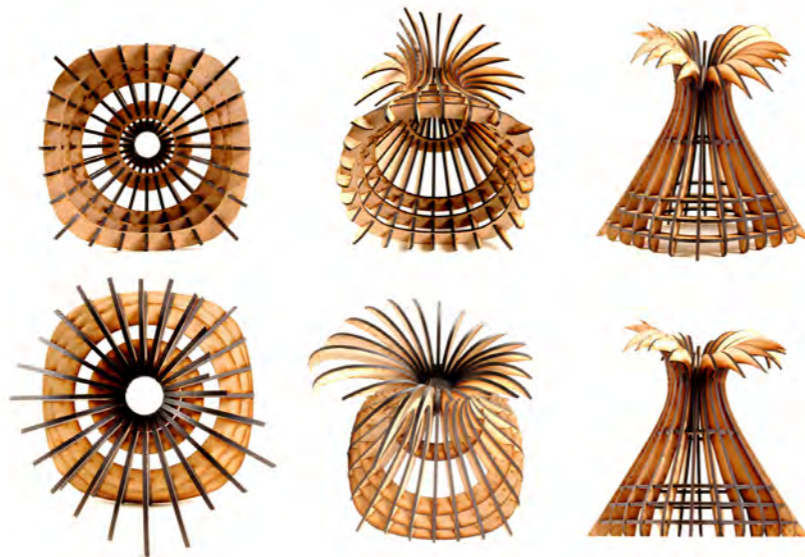
1 \_diseño\_ el diseño es una acción previa a la expresión digital. Los programas informáticos no son herramientas de diseño, son herramientas de dibujo que ayudan a plasmar gráficamente lo que se ha diseñado previamente (a mano, con modelos, maquetas...)

2 \_producción\_ es necesario conocer la técnica de producción para poder adecuar el diseño a la misma (no limitarlos, pero sí adecuarlos, llegar a un punto medio)

3 \_fabricación\_ consideramos fundamental conocer las técnicas de fabricación, pues condicionarán en mayor medida la producción y diseño de las piezas. Este conocimiento de la técnica ayudará a optimizar el tiempo de empleo de las máquinas y el material utilizado para las mismas (en definitiva, servirá para rentabilizar al máximo los recursos, disminuyendo de esta manera el coste de producción de las piezas).

4 \_fabricación\_ fundamental la colaboración y el asesoramiento de los profesionales de fabricación.

5 \_idoneidad\_ importancia del método ensayo-error para el aprendizaje. Más se aprende de un error que de mil aciertos.

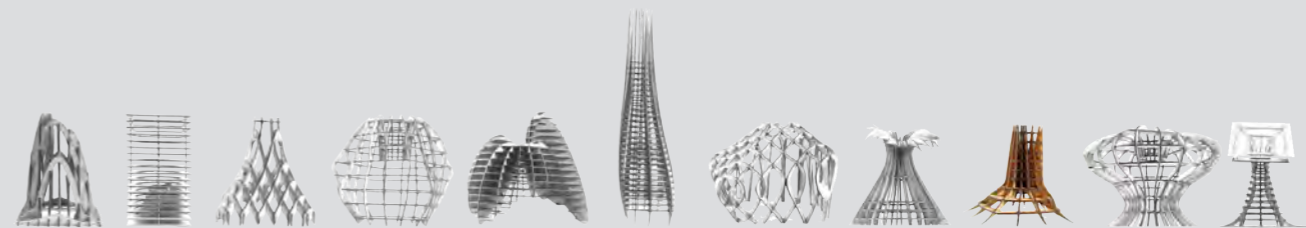


MODELOS\_GRUPO DE TRABAJO 07\_MÉRIDA - RUBIO

# GT08

117

Rocío Ortega de la Morena  
Francisco Javier Vega Pozo  
Myriam Wagner Martínez



## DISEÑO

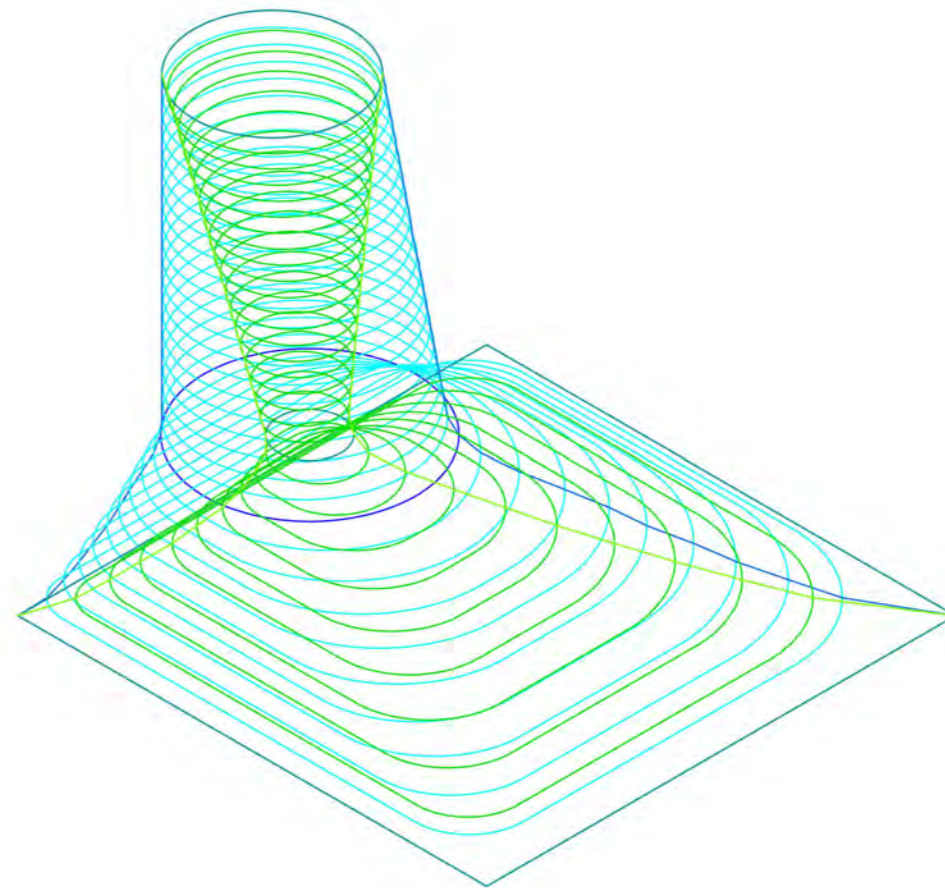
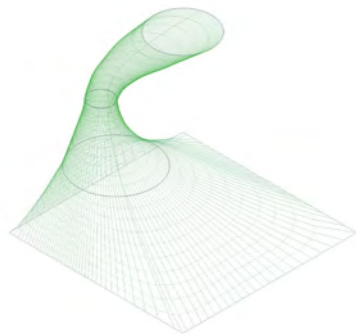
En un primer intento de resolver el ejercicio planteado, utilizamos como herramienta el programa Autocad, ya que es con el que estamos más familiarizados. Por otro lado, el modelado inalámbrico inicial de las secciones y contornos fundamentales de la figura nos daba más seguridad a la hora de controlar la forma definitiva desde el diseño previo, y no abandonarla a la suerte del resultado final devuelto por un programa de modelado de superficies.

Conociendo las dificultades y limitaciones que este programa ofrece a la hora de modelar superficies curvas, una vez definida la figura buscada pasaríamos a utilizar el programa Rhinoceros, mucho más propicio para este tipo de trabajos.

La figura a construir estaba limitada por dos figuras geométricas, un cuadrado y un círculo, enfrentadas de forma paralela, por lo que la superficie supondría la transición de una a otra de la forma más continua posible. Comenzamos a experimentar trazando curvas concéntricas hacia el interior del cuadrado, achafanando las esquinas, desplazándolas horizontal y verticalmente probando distintos ejes. Una vez comprobadas las posibilidades que este método ofrecía, diseñamos una superficie que partía de la base cuadrada y llegaba a un círculo intermedio situado a  $2/3h$  de la figura, produciéndose la transición de las dos formas geométricas en el primer  $1/3$ . Dicho círculo se desplaza del centro hacia uno de los vértices de la base, por lo que desliza y curva el eje de la figura, produciendo un único plano de simetría situado diagonalmente respecto a la base. La superficie se completa con la transición del círculo intermedio al círculo final, de mayor diámetro.

Tras este primer paso, llevamos la superficie a Rhinoceros, donde modelamos la superficie mediante un barrido entre dos curvas. Las distintas pruebas para afinar la superficie se basaron entonces en la imposición de un mayor o menor número de bases horizontales para que la figura se acercase más a la original, y en la imposición de un mayor o menor número de puntos de control. Comprobamos entonces que del diseño inicial era mejor seleccionar 3 ó 4 bases generales y 2 curvas de barrido situadas de manera opuesta en el contorno de la figura, así como que un mayor número de puntos de control hacía la superficie más estriada para acercarse más a la original y además hacía muy pesado el archivo para su manejo. De esta manera las imposiciones al programa de modelado hubieron de ser mucho menos restrictivas que las impuestas al diseño inalámbrico inicial.

Al conocer las posibilidades y dificultades del programa Grasshopper, decidimos modificar la figura, buscando un eje que pudiese atravesar la figura de arriba abajo sin pincharla, y evitando zonas estrechas que no diesen cabida a la colocación de las costillas, problema que ocurría sobre todo en el estrechamiento a media altura de la superficie previa. De esta manera, se modificó el diseño inalámbrico previo a uno final que permitiese generar posteriormente en Rhinoceros una doble superficie (interior-exterior, unidas en las bases superior e inferior), y que después serviría para crear un modelo sólido.



## PRODUCCIÓN

En nuestro caso tuvimos claramente un problema con la producción de la figura, hasta tal punto que tuvimos que cambiarla.

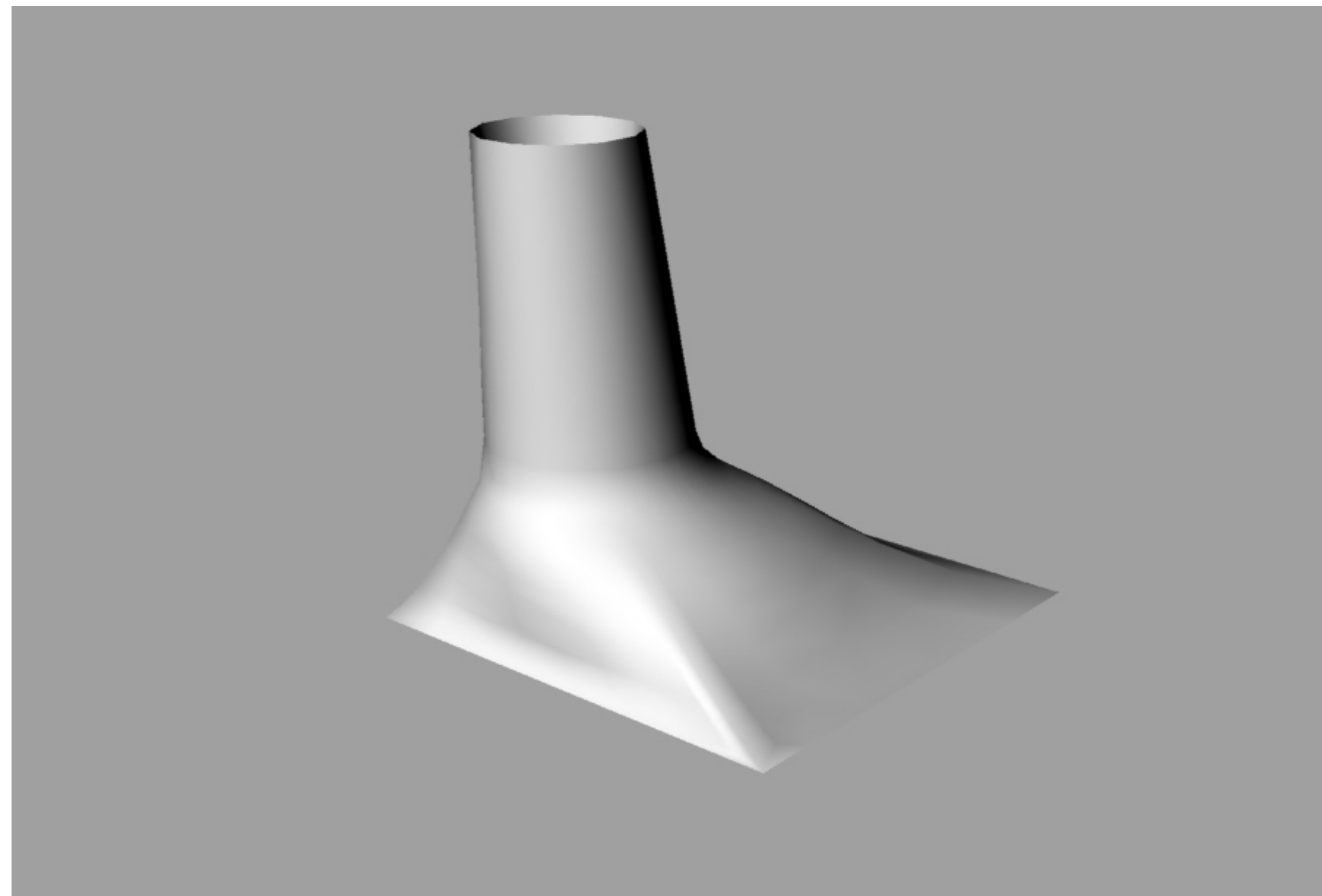
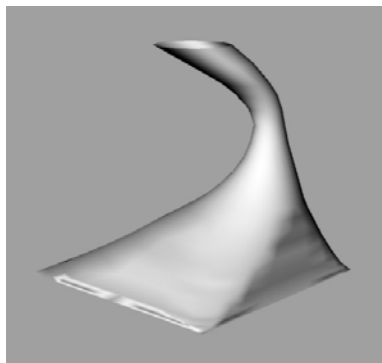
Nuestra primera figura tenía un problema, y es que en algún momento de su recorrido se estrechaba y se volvía sobre sí misma hasta llegar al círculo superior, de esta manera no se podía usar el programa Grasshopper, con ninguno de los pluggins que teníamos, ni de manera radial ni ortogonal. El problema estaba en que la figura se volvía sobre sí misma, y no tenía un eje vertical.

Para llegar a una figura a la que se le pudiese aplicar la aplicación Grasshopper para generación de costillas radiales con facilidad, fue necesaria la creación de una figura sólida mediante Rhinoceros.

Mediante la doble superficie definida de manera inalámbrica en Autocad, se generaron 2 superficies, unidas en las bases superior e inferior de la figura, mediante barrido entre dos curvas de su contorno cada una. Dichas superficies correctamente definidas, fueron convertidas de manera sencilla a un sólido contenido entre dos superficies mediante Rhinoceros.

De esta manera, la aplicación de Grasshopper únicamente tendría que extraer las costillas radiales para la fabricación mediante cortes asociados a dicho sólido generado.

Al cambiar la figura, la cual tenía un eje vertical que podía llegar de arriba a abajo sin atravesarla, utilizamos un pluggin de Grasshopper que genera costillas de manera radial con respecto al eje vertical. Una vez elegido ese eje la figura se divide en las costillas que se deseen en vertical y horizontal.



## FABRICACIÓN

La fabricación de la figura, una vez definido el despiece, se produjo de manera mecánica en el taller de maquetas.

Una vez cortadas las piezas, se procedió a su montaje por orden desde abajo hasta arriba, colocando poco a poco las secciones horizontales sobre las muescas de 2 ó 3 costillas inicialmente, para luego encajar el resto de las costillas a este montaje previo.

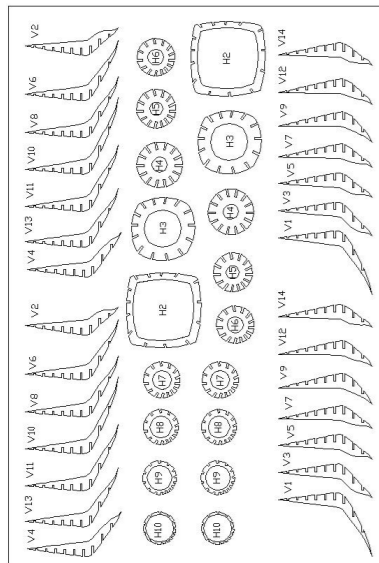
Algunos problemas o dificultades que hemos tenido durante el proceso de fabricación del modelo:

*Escala del modelo.* Las pequeñas dimensiones del modelo ha supuesto un inconveniente a la hora de encajar las costillas, ya que había poco espacio entre costilla y costilla para su manipulación.

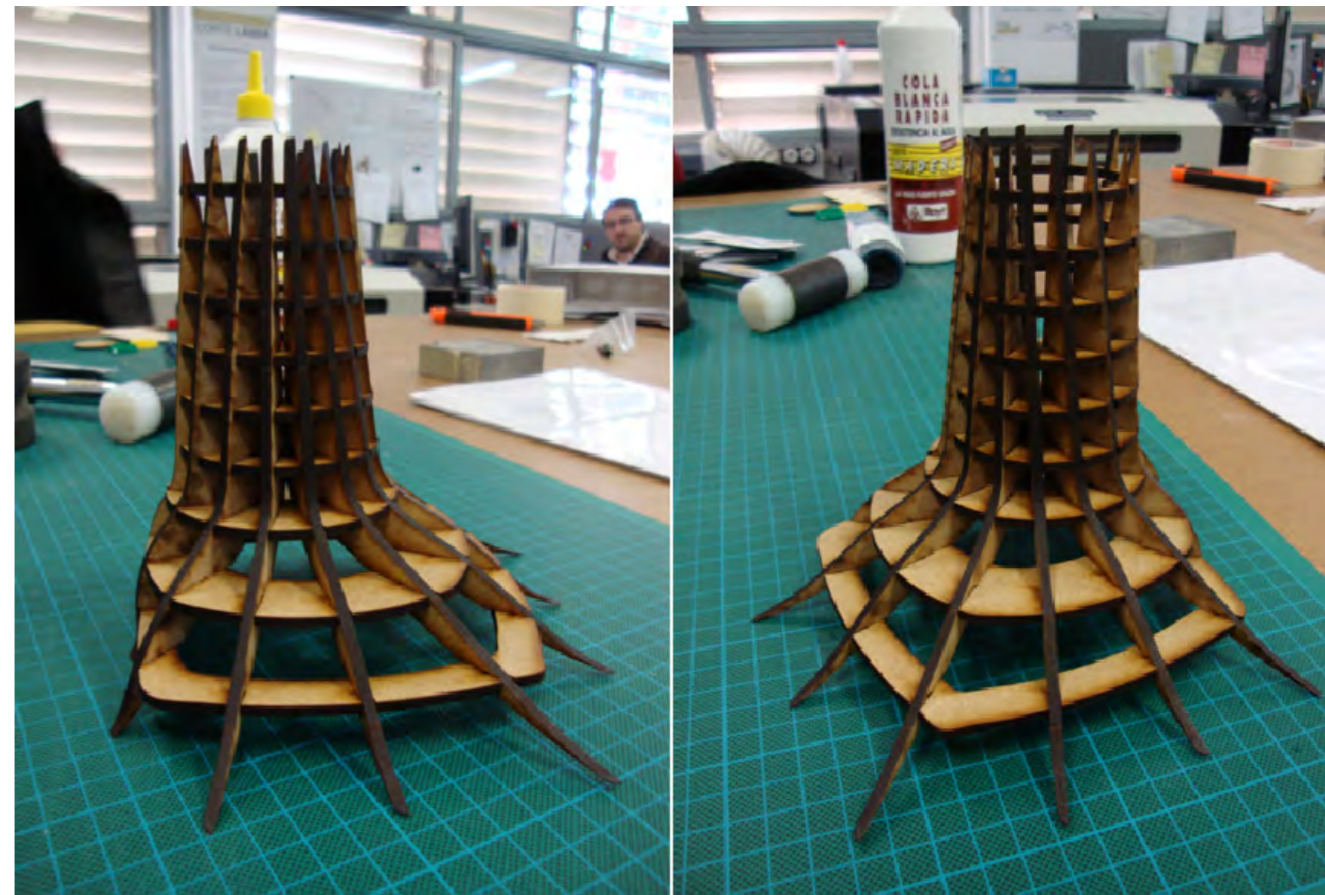
*Muecas de encaje.* Debido a la escala del modelo y la poca anchura de las costillas, la ejecución de las muescas de las piezas para su encaje provocaban peligrosos estrecheces en las piezas que amenazaban con romperse con facilidad. Hay que darles a las costillas suficiente anchura para evitar estos puntos frágiles, así como tener en cuenta la dirección de las muescas, a la hora de dividir la figura en costillas.

*Precisión.* En el proceso de encaje de una pieza con otra, se requería una gran precisión a la hora de acercar y colocar cada una de las piezas al conjunto, haciendo encajar todas las muescas de la pieza al mismo tiempo.

Aún así mientras la solución a la fabricación se haga mediante una máquina de modelado de sistema de corte láser por CO2, los encajes entre las piezas se realizan de forma perfecta.



122

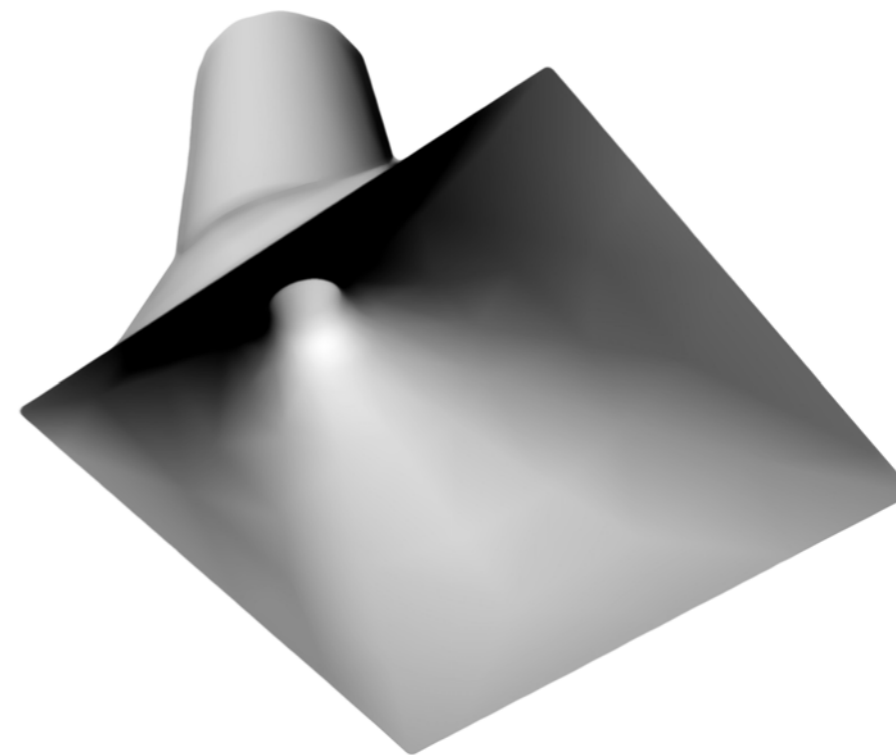


123

**IDONEIDAD**

La figura construida resultante, comparada al sólido definido en Rhinoceros, es bastante similar en la que a morfología general se refiere, puesto que en el proceso de definición inalámbrico y sólido de la misma se han cuidado bastante las secciones elegidas y las líneas de barrido definitorias, así como el número de puntos de control para que el resultado fuese lo más parecido al esperado sin resultar una superficie externa demasiado estriada.

Una vez fabricado el modelo, observamos diferencias respecto al modelo superficial realizado en Rhinoceros. La percepción de un modelo virtual en la pantalla de un ordenador es diferente a cuando tienes ese mismo objeto ya materializado en la mano; en la pantalla observamos una superficie continua, ligera, sin ninguna estructura que la sostenga e inmaterial, no es la imagen digitalizada de un objeto real, si no más bien una idea, una forma. Esa superficie traspasada a una red de costillas, con unas dimensiones y material concretos, pasa a ser un objeto real, que aunque sigue conservando la superficie inicial, se percibe de muy distinta manera, la malla de costillas roba protagonismo, su propia configuración, la densidad de costillas, el espesor y anchura de las mismas son aspectos que se perciben antes que la propia superficie. Sería comparable a un esqueleto construido a partir de la piel que lo cubre y una vez finalizado, esa piel es eliminada.





## CONCLUSIONES

A la hora de diseñar la figura es conveniente pensar directamente en el objeto material resultante, en la red de costillas que se van a generar, los planos en los que éstas van a encontrarse, etc; porque aunque partamos de una superficie, realmente estamos generando un esqueleto a partir de ella. Es por ello que creemos indispensable una definición inalámbrica previa de líneas directoras base, tales como secciones horizontales esenciales y curvas de definición del contorno básicas, para controlar desde el principio el resultado final.

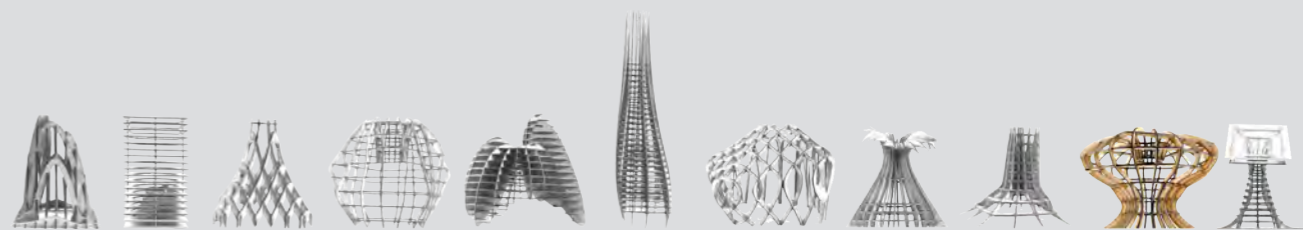
La definición de cualquier superficie en Rhinoceros, al menos en nuestro caso, está muy condicionada por una adecuada elección de las bases definitorias y de las curvas de barrido para las mismas, que a su vez deben de estar minuciosamente dibujadas y controladas previamente. Los puntos de control, así mismo, han de ser ensayados varias veces para lograr un resultado satisfactorio pero a la vez manejable posteriormente en Grasshopper.

Pese a la flexibilidad y posibilidades de los programas utilizados, el diseño de los modelos ha de ser consciente de sus limitaciones previamente. Se debe conocer el funcionamiento de la aplicación Grasshopper antes de la definición de la figura, o viceversa, diseñar una aplicación de Grasshopper acorde a las necesidades de ésta. Como ejemplo, el caso de la definición de sólidos para poder utilizar una aplicación radial de Grasshopper.

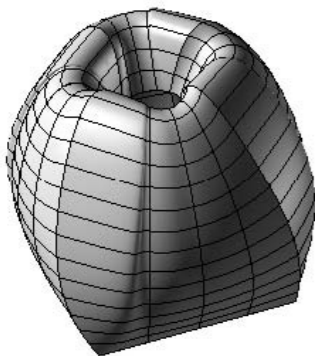
Con vistas a la fabricación en el taller de la figura, es preciso no sólo un control de la herramienta de generación de costillas, sino un conocimiento previo del grosor del material con el que ésta se va a realizar, y una previsión del orden de maclado de las piezas y de unas adecuadas dimensiones para las muescas ejecutadas en las mismas.

# GT09

Sara Isabel Ortega Donoso  
Manuela Alejandra Rodríguez Díaz  
Sandra Vega Zarzuela

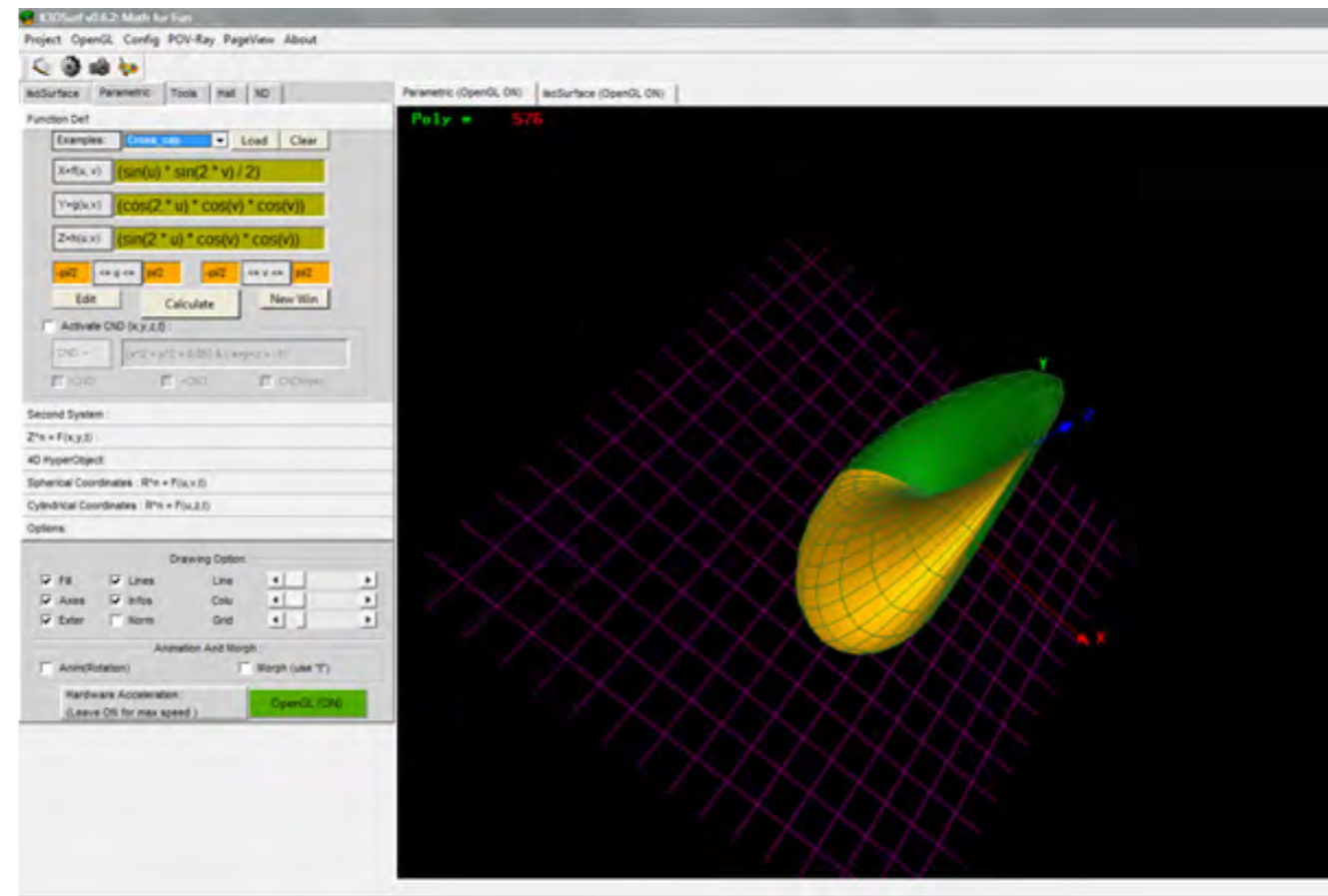


## DISEÑO

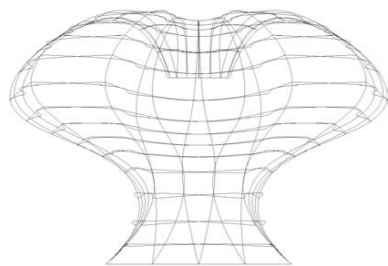


Ante las condiciones de contorno que se nos dieron, nuestros primeros intentos fueron orientados a conseguir una superficie capaz de conseguir máximo volumen con menor superficie, con esto, y con distintos acercamientos con el programa K3Dsurf, conseguimos, como ya suponíamos, una serie de superficies bastante similares a lo esférico pero con poco que ver con nuestras condiciones de contorno, el cuadrado y el círculo separados 15cm entre sí.

En un segundo planteamiento del ejercicio asumimos que para pasar de un punto en el contorno de un cuadrado a otro punto en el contorno de un círculo hay infinitos caminos que trazarían infinitas superficies, unas más desechables que otras. Así, la superficie conseguida es resultado de intentar demostrar esta posibilidad de múltiples superficies haciendo ver, como otros hicieron antes a otras escalas, que desde un punto a otro se puede llegar con una seta, por ejemplo.



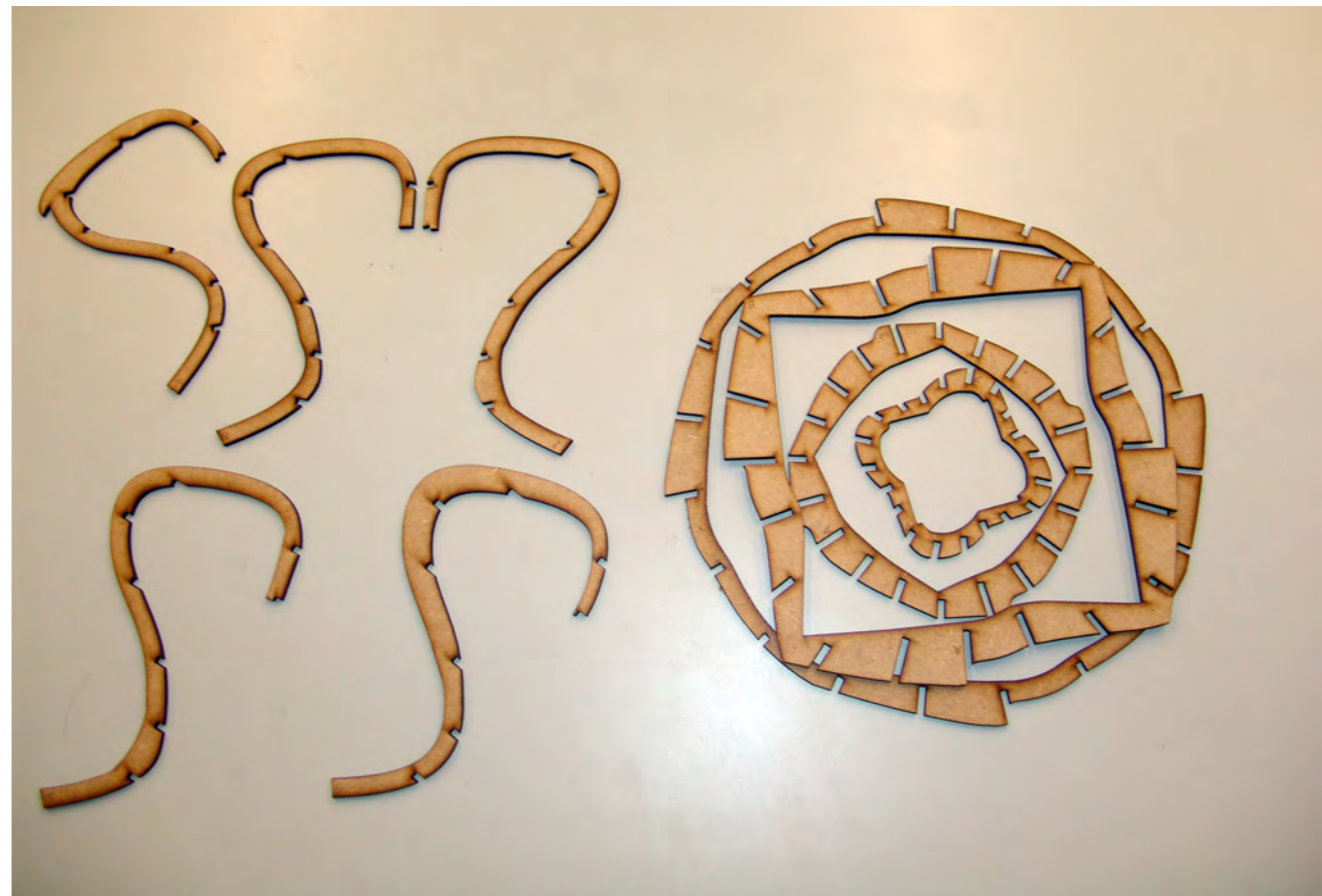
## PRODUCCIÓN



La producción del objeto en sí, se basó en el uso de los programas K3Dsurf, Rhino y su plugin Grasshopper, con la metodología de ensayo-error hasta conseguir la superficie que cumpliera con nuestras premisas.

En el proceso de producción, en el paso de automatizar la creación de costillas con Grasshopper hubo problemas de incompatibilidad con la superficie, ya que la curvatura de la misma no permitía que la rutina de Grasshopper la convirtiera en un objeto sólido (paso casi inicial de la rutina) y consecuentemente tuvimos que seguir el proceso de formación de las costillas en Rhino.

Tras resolver esto, sólo faltaba nombrar rigurosamente y mandar a la cortadora láser.



## FABRICACIÓN

Una vez resueltos los problemas de producción, en el proceso de fabricación no hubo más complicaciones.

Tuvimos la precaución de dejar cierta holgura entre el grosor de las costillas y el ancho de las muecas en las que debían encajar, del orden de medio milímetro. Esto nos permitió que las piezas encajaran con cierta facilidad.



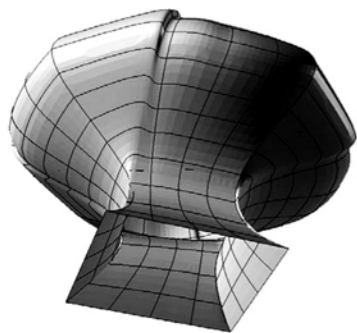
MODELOS\_GRUPO DE TRABAJO 09\_ORTEGA - RODRÍGUEZ - VEGA



## IDONEIDAD

El modelo físico se ajusta en gran medida al modelo virtual, ajustamos el número de costillas por cuartos, haciendo coincidir las zonas más características de la superficie propuesta con alguna de nuestras costillas de modo que la forma quedase totalmente definida.

El número de costillas fue el mínimo para que se definiese la forma apropiadamente y el montaje fuera posible y sencillo.



MODELOS\_GRUPO DE TRABAJO 09\_ORTEGA - RODRÍGUEZ - VEGA

## CONCLUSIONES

De nuestra experiencia podemos sacar distintas conclusiones:

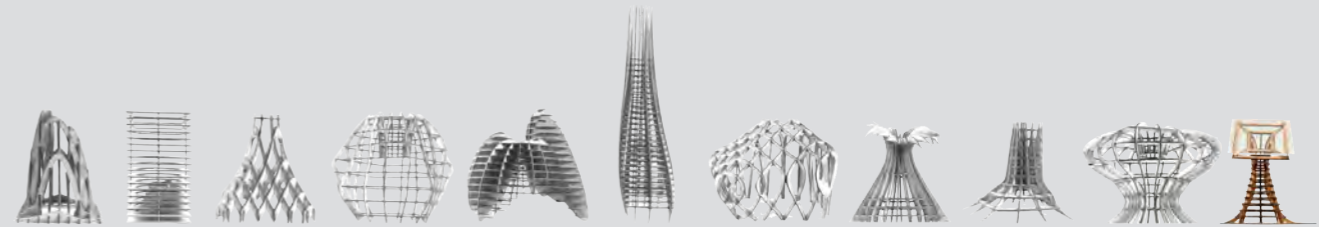
1. Efectivamente, se puede llegar de cualquier manera de un punto a otro
2. El uso de ciertas herramientas (software) condiciona el proceso de diseño
3. Siempre hay una solución manual con mayor coste humano

Conociendo a la perfección las herramientas con las que jugamos a diario, podremos adaptar nuestros diseños a lo eficiente, pero este no es el objetivo.

Sólo conociendo las herramientas con las que jugamos a diario podemos modificarlas para conseguir el resultado deseado.

# GT10

Juan Manuel Rojas Fernández



## DISEÑO



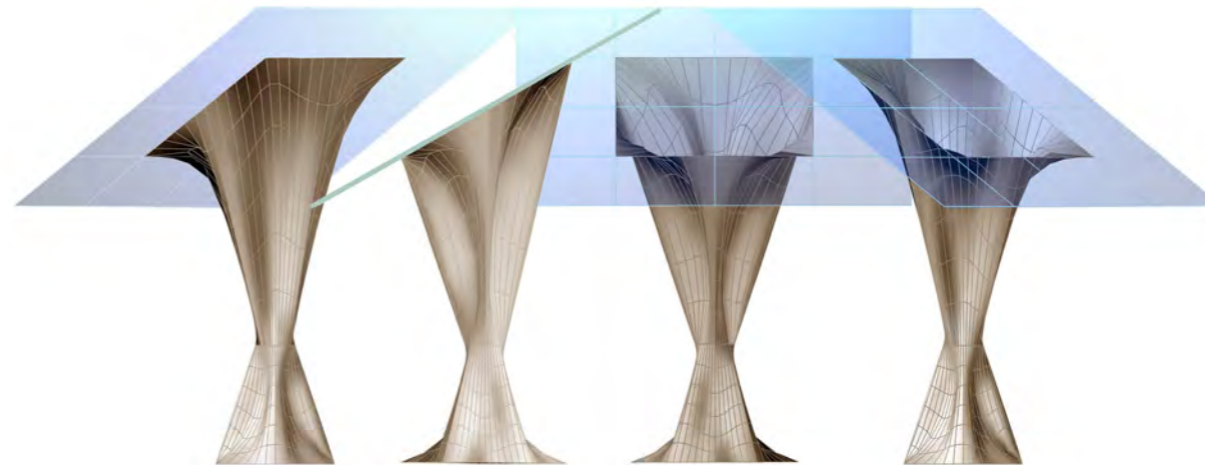
La oportunidad de investigar geometrías complejas es también la oportunidad de resolver problemas reales que pueden necesitar de estas geometrías complejas. Aunque el problema académico a resolver era en principio de carácter totalmente abstracto o geométrico, la transición de una superficie desde un cuadrado a un círculo de pocos centímetros, su resolución era casualmente coherente con un actual e interesante problema real. Bastaba cambiar la escala y pensar en el objeto a un tamaño mucho mayor.

Se estudia el problema que se plantea en la definición geométrica de captadores solares para una integración coherente en condiciones de orientación desfavorables.

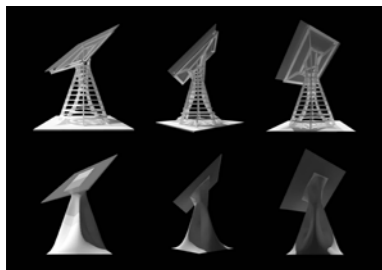
Los planos de captación (fotovoltaicos o térmicos) tiene una orientación (inclinación sobre el plano horizontal y azimut) definida por las exigencias del soleamiento. En muchos casos esta geometría nada tiene que ver con las del edificio o lugar en el que se asienta. En ocasiones la traza o trama de los objetos arquitectónicos o urbanos está en la peor situación, girada  $45^\circ$  con respecto a la orientación sur, lo que crea una dificultad geométrica que es generalmente muy mal resuelta con el consiguiente daño al paisaje urbano.

Supongamos que tenemos esa trama a  $45^\circ$  con respecto al azimut 0 (el sur) representada por nuestro cuadrado base y que queremos levantar el captador reconociendo esta trama en el objeto y resolviendo la transición hasta el plano de captación mediante la superficie continua del objeto que, por exigencias del enunciado, debe tener sección circular a una altura adecuada. Esa superficie podrá ser reconocida por trazado de la malla de barras metálicas de la estructura soporte. Podría incluso definirse mejor mediante una chapa perforada que también tuviera misión estructural de arriostamiento. En la mente están las elegantes y enormes torres de alta tensión que salvan la bahía de Cádiz.

Podría ser, debido a su carácter escultórico, un captador integrado en un espacio urbano, un gran parasol para una plaza, un árbol fotovoltaico, con su base coherente con su trama y su copa coherente con el soleamiento.



## PRODUCCIÓN



Tal y como se describe en el gráfico, la definición se resuelve generando superficies apoyadas o tangentes a líneas rectas y curvas que alternativamente trazamos desde la base cuadrada al círculo. A partir de aquí hasta el plano de captación, las líneas curvas pasan a ser rectas y las rectas curvas. Las curvas nos permiten girar de las rectas con la inclinación adecuada para que la geometría de la superficie tangente generada realice el giro requerido.

Se hizo primero un modelo de tanteo para comprobar la estrategia. Este primer modelo hubo de disminuirse en su parte superior para que el modelo físico no fuera demasiado grande.

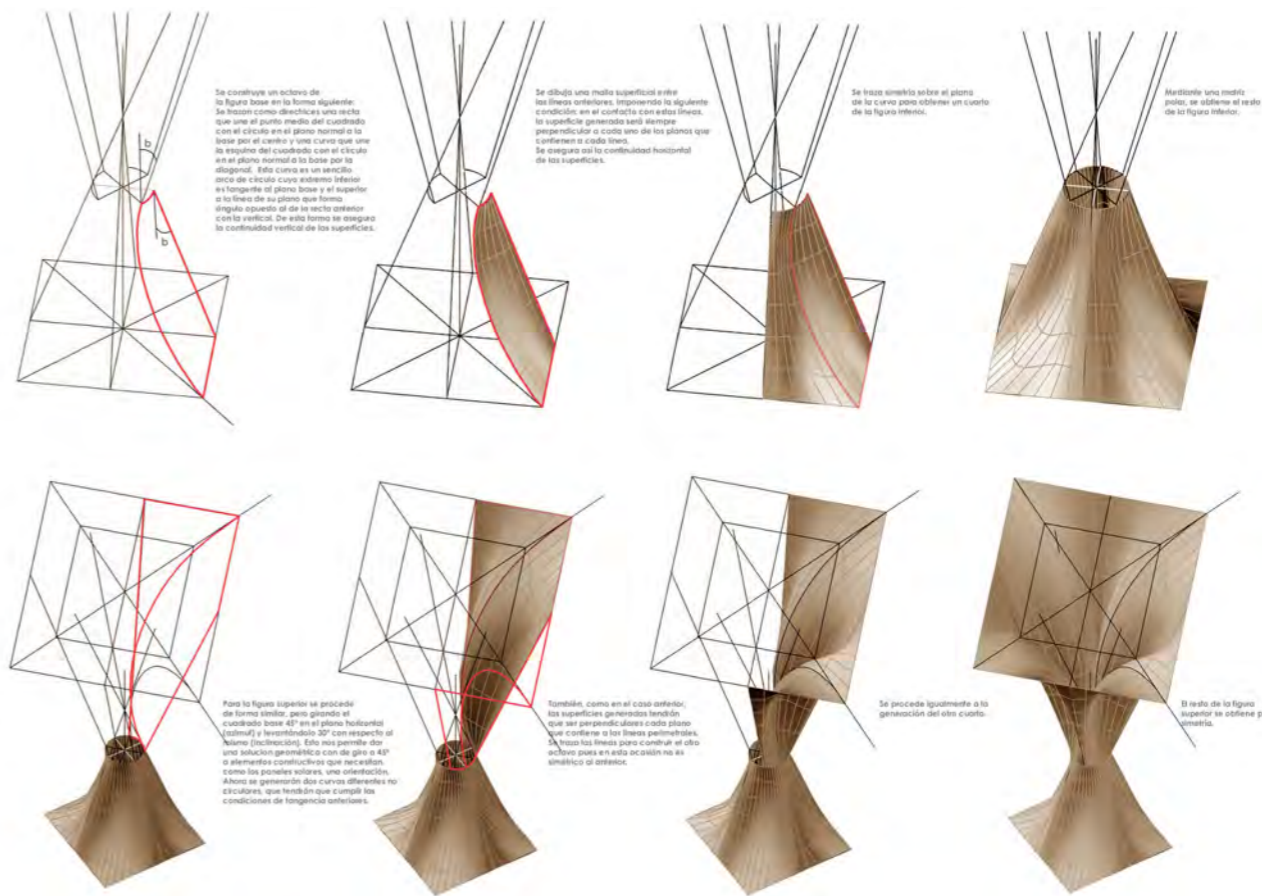
En la base se pudo utilizar siempre círculos tangentes a las rectas. Pero en la parte superior, tras reducir considerablemente el capitel superior y obligar a plegar mucho la superficie, hubo de recurrirse a esplines pues permitían superficies de aspecto más razonables que los círculos que obligaban a entrantes muy forzados.

Para conseguir la continuidad de las superficies, se cuidó de que no crearan líneas de inflexión sobre las curvas y rectas que la generaban.

De todas formas el control geométrico fue muy grande durante todo el proceso, no viendo necesidad de recurrir, aparte de a las esplines mencionadas, a herramientas 3D-nurbs.

Para generar unas costillas coherentes con la geometría de la superficie de vocación radial, con grandes entrantes que aconsejaba costillas radiales en planos verticales, no encontramos sub-rutinas o programación Grasshopper que lo consiguiera. Para conseguir el despiece de las costillas según la superficie, se seccionó verticalmente la figura en los cuatro ejes principales del cuadrado base, dándole el mismo espesor, a la sección, que el panel para el corte. Para la costillas horizontales, se hicieron un total de 10 cortes paralelos al plano base cada 1.5 cm hasta el círculo y 2 inclinados siguiendo el eje inclinado del capitel superior. Luego convertimos estas figuras en líneas de archivo dxf para la máquina de corte.

En coherencia con la idea de resolver un problema real, una vez generadas las costillas a partir de la superficie 3D, se vio la necesidad de proyectar las costillas diagonales tangentes al plano de captación y de diseñar y añadir a estas, unas piezas que no pertenecían a la superficie, pero aseguraban el contacto tridimensional elegante entre el plano de captación y la estructura.



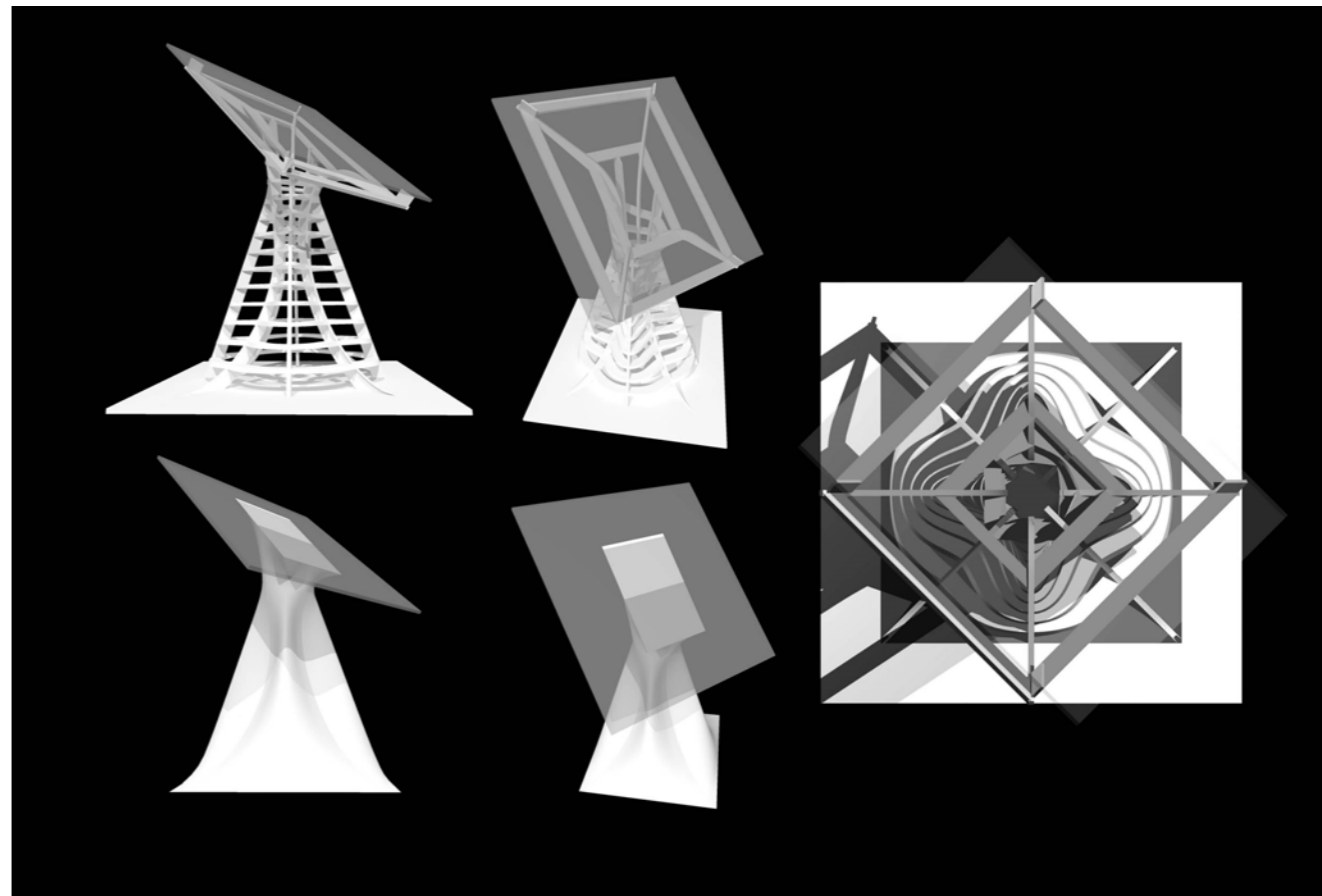


## FABRICACIÓN

La fabricación se ajustó al modelo virtual considerablemente aunque el montaje tuvo su dificultad debido a lo ajustado de las piezas. Alguna costilla vertical demasiado esbelta se deformó algo pero pudo corregirse en el ajuste final del proceso de montaje.

Por otro lado, la superficie partía de una situación de tangencia al plano horizontal en las esquinas del cuadrado base. Esto obligaba a que las costillas de estas diagonales fueran tangentes al cuadrado base. Sabemos que esto es realmente imposible desde el punto de vista físico. Pero lo enviamos a cortar para testar las posibilidades y debido a la gran dureza del material de fabricación de la maqueta, las costillas sólo se rompieron en los últimos pocos milímetros de los extremos. Posteriormente, en el proceso de montaje, se reconstruyeron de forma apenas perceptible estas puntas para conseguir que los extremos de las costillas alcanzaran las esquinas del cuadrado base y pudieran definir geoméricamente el mismo, lo que era fundamental para los objetivos de nuestra propuesta y del enunciado.

Para representar el plano de captación solar fotovoltaico se utilizó un metacrilato cortado y serigrafiado según nuestro diseño en el mismo taller y con la misma máquina de corte que la utilizada para el resto de la maqueta.



## IDONEIDAD

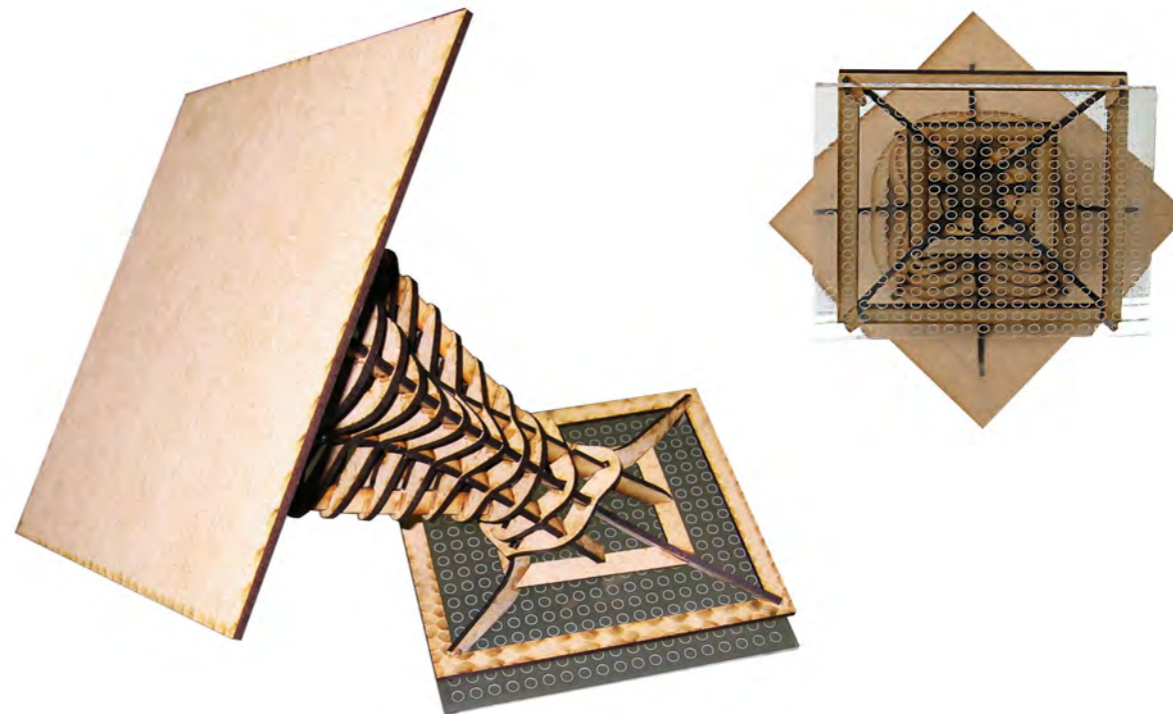
Quizá el punto más crítico (aunque no el más importante) y que supone una verdadera diferencia entre el modelo virtual y el físico es esta tangencia imposible de las costillas en la base a la que hicimos referencia en el apartado anterior. Si se tratara de una estructura real es evidente que habría que estudiar de otro modo ese punto, dando a la costilla siempre un espesor adecuado en el extremo y luego, si se considera necesario, utilizar otros recursos como la solería para dar la sensación de que la pieza en ese punto tiende a espesor mínimo.

También habría que reflexionar más el proceso físico de montaje para que no fuera tan arduo aunque ello condicionara el diseño final.

Y, en este sentido, aunque visualmente fuera menos atractivo, habría que dar suficiente holgura a los machihembrados de las costillas para evitar forzarlas.

- 144 La maqueta da sensaciones distintas y quizá mejores, que el modelo virtual, aunque puede que en esto intervengan condicionantes perceptivos o personales. La maqueta física, si es realmente tridimensional, podemos percibirla estereoscópicamente de forma tridimensional, lo que permite apreciar relaciones espaciales difícilmente perceptibles en los actuales monitores 2D de nuestros ordenadores.

Como estructura, la geometría abierta en la base le confiere una tremenda estabilidad frente a acciones horizontales, muy adecuada para resistir los vientos sobre el plano de captación. Las costillas verticales trabajan bien a compresión y a tracción (como se intuye al apoyar la maqueta en un plano horizontal sobre los paneles fotovoltaicos en vez de sobre su base cuadrada, se aprecia en la fotografía que la maqueta se mantiene muy estable al ponerla al revés). Esto minimiza las tracciones en la cimentación lo que puede ser muy adecuado en determinadas circunstancias (ahorra cimentación, permite apoyos sobre elementos que no permiten tracciones...).



## CONCLUSIONES

Se debe tener claro al trabajar con estas herramientas cuál es el fin. Pues no es lo mismo generar geometrías para un espacio virtual, un entorno gráfico o un objeto real. Para trabajar sólo en un entorno virtual, la geometría (junto con tus ideas subjetivas sobre lo que es o no "correcto") son las únicas reglas. Si se quiere trabajar con un objeto real, la geometría es importante pero el conocimiento del material y la función e implantación del objeto también lo es.

No entender esto puede tener consecuencias graves al generar geometrías, matemáticamente, espacialmente, coherentes pero físicamente imposibles o económicamente inviables (y no nos referimos a pequeños detalles como los de las tangencias).

Las herramientas como el Rhinoceros nos dan un control sobre geometrías complejas antes difícilmente materializables. Ahora podemos dibujar planos, en principio traducibles por la industria de la construcción, de casi cualquier cosa. Nuestra responsabilidad aumenta. Diseñemos cosas de geometrías sencillas o complejas, da igual, pero consistentes.

# extra

Manuela Alejandra Rodríguez Díaz

## DISEÑO

Tras la experiencia de diseñar y construir el prototipo del ejercicio 0, quise poner en práctica de nuevo las herramientas aprendidas, así como intentar mejorar los errores que se produjeron la primera vez. Para ello me propuse diseñar una superficie que sirviera como jarrón.



Las condiciones de contorno de este proyecto las impone el recipiente donde se va a depositar el agua, es decir, las dimensiones del vaso que debe estar contenido en el jarrón. Por tanto de partida se dibujan dos cilindros (uno interior al jarrón: el vaso) y otro exterior, como orientación para diseñar el límite de volumen del jarrón.

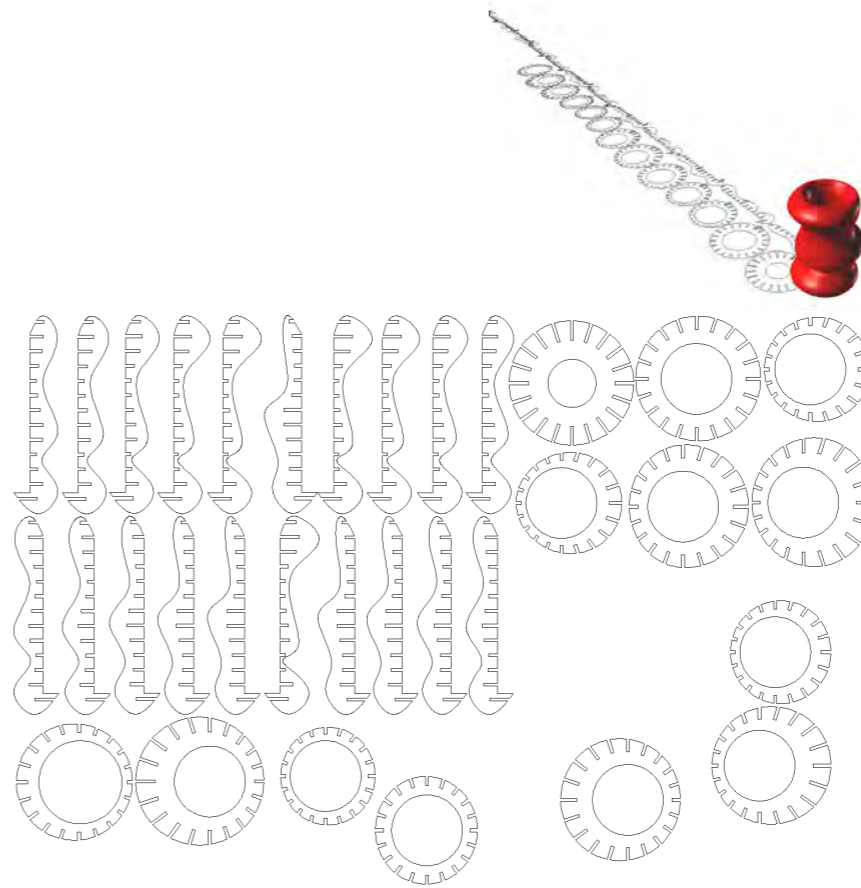
En segundo lugar se dibujan circunferencias a distintas alturas, que queremos que estén contenidas en la superficie del jarrón. Con las herramienta del programa informático Rhinoceros dibujamos el jarrón con las condiciones de contorno: contener el vaso y a las circunferencias.

## PRODUCCIÓN

La producción del objeto en sí, se basó en el uso de los programas Rhino y su plugin Grasshopper.

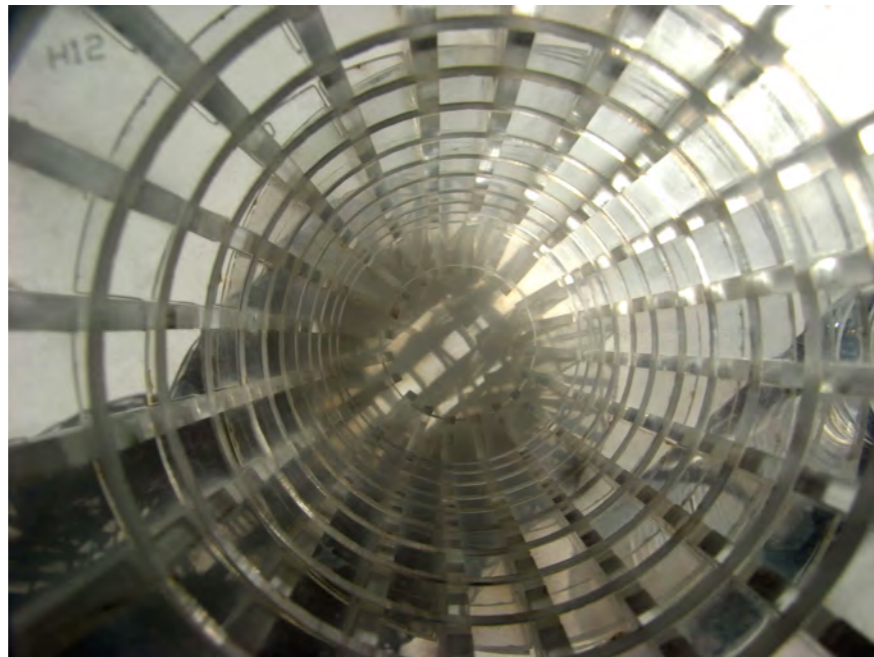
En Grasshopper se define el número de costillas radiales y horizontales, así como el espesor del material que se va a emplear (metacrilato de 3 mm.) para que el programa realice las intersecciones de las costillas.

Tras realizar esta operación se exportó el archivo a Autocad, donde sólo hubo que retocar el tamaño de las etiquetas de numeración de las costillas y finalmente se manda a la cortadora láser.



## FABRICACIÓN

La numeración de las costillas resultó confusa debido a que no seguían un orden intuitivo sino el orden en que el programa informático las había producido, por tanto hubo que volver al archivo informático para comprobar qué orden había seguido en la numeración. Además de este inciso, durante el proceso de montaje algunas costillas verticales tenían puntos muy frágiles por donde era fácil la rotura. Por tanto el montaje se comenzó por estos puntos, para darles rigidez con las uniones. Se tuvo la precaución de dejar cierta holgura entre el grosor de las costillas y el ancho de las muecas en las que debían encajar, del orden de medio milímetro. Esto permite que las piezas encajen con facilidad. Y también que el vaso entrara sin problemas.



MODELOS\_EXTRA\_MANUELA ALEJANDRA RODRÍGUEZ DÍAZ



## IDONEIDAD

El modelo físico se ajusta en gran medida al modelo virtual, las costillas guardan poca separación entre ellas (2 cm.) de modo que la malla es tupida y visualmente se aprecian las curvas de manera continua.



MODELOS\_EXTRA\_MANUELA ALEJANDRA RODRÍGUEZ DÍAZ



## CONCLUSIONES

De esta experiencia se pueden sacar distintas conclusiones:

1. Gracias a las nuevas herramientas el proceso de producción y fabricación es rápido y eficaz.
2. Es necesario el control de las herramientas informáticas en todo momento, saber cómo procesan, para no perdernos en el camino suponiendo esto una peor calidad del resultado final.