

## DESARROLLOS DE MODELOS PARA REFUGIO MODULAR EN BASE A ESTANDARIZACIÓN DE PROTOTIPOS PRE-FABRICADOS. ANÁLISIS DE UNA EXPERIENCIA CONSTRUCTIVA CON MÓDULO INCREMENTAL.

## DEVELOPMENT OF MODELS FOR SHELTER BASED ON STANDARIZATION OF PRE-CAST PROTOTYPES. ANALYSIS FROM A CONSTRUCTIVE EXPERIENCE WITH INCREASING MODULE.

Omar Cañete Islas <sup>1</sup>  
Felipe Mateo López <sup>2</sup>

### RESUMEN

El presente artículo busca sistematizar una experiencia proyectual de diseño paramétrico, en base a la idea de prototipo experimental para un refugio en la zona central de Chile, un pabellón vertical, cuya modulación espacial, podría aplicarse al diseño de modelos de vivienda unifamiliar e incremental de autoconstrucción, el cual ha sido abordado desde estudios de diseño basado en lenguaje de patrones y morfologías de transformación, asistidas por softwares 3D y experiencias Cad/Cam, reunidas desde diversos proyectos de artes visuales que han ejecutado los propios autores, tomando como referencia temáticas de morfología y crecimientos geométricos complejos.

### PALABRAS CLAVE

Modelo morfológico; Diseño paramétrico; Cúpula no geodésica; Enfoque del paisaje

### ABSTRACT

*Present article shows experience in parametric design, working problem of non-geodesic dome, applied to model single familiar shelter. Model is aboard since parametric design based in pattern language and transformational morphology, using 3D software and all own experience from authors in visual arts using morphological approach.*

### KEYWORDS

*Morphological modeling; Parametric design; Non geodesic dome; Landscape approach*

---

<sup>1</sup> Docente Escuela de Arquitectura. Universidad de Valparaíso (Chile) de diversas cátedras en Talleres de Territorio, Ciudad, módulo de Forma, ramo de morfologías, fractales, psicología y estética entre 2000 a la fecha. Responsable de tres concursos de Artes Visuales, financiados por FONDART, años 2011, 2012 y 2015. Diversas publicaciones en revistas indexadas en temas de forma, habitar, territorio, psicología y artes visuales.

<sup>2</sup> Arquitecto Universidad de Valparaíso, 2013. Workshops Diseño paramétrico, fabricación y modelación de datos Dumdum Lab, 2013-2015. Co-ejecutor Fondart de artes visuales 2012-2015. Arquitecto en Bio-casa arquitectura y construcción, años 2013-2014. Arquitecto en Kreen arquitectura y construcción, 2016. Publicaciones en Colombia, Chile y Uruguay, 2012, 2013, 2015. Mail: felipemateolopez@gmail.com

## Antecedentes

*“El cristal empuja, se mueve hacia afuera siguiendo las formas teóricas de la geometría, y el hombre se complace en esta disposición porque parece hallar la justificación de sus concepciones abstractas de la geometría, el hombre y la naturaleza encuentran un factor común, un terreno de armonía en el cristal”. (Ozenfant y Jeanneret; cit. En Marchan Fiz; (2008). “La Metáfora del Cristal en las artes y en la arquitectura”).*

## Primeras experiencias de modelación 3D por parte del equipo

A mediados del año 2011, en el marco de los talleres de fabricación digital WS1, realizamos las primeras experiencias de construcción de maquetas en papel y poli-estileno de alto impacto, para propuestas concretas de modulación en serie y proyectos de construcción de pequeña escala. Esto en el marco del proyecto de artes visuales financiado por FANDART, titulado: “Exploraciones morfológicas”.

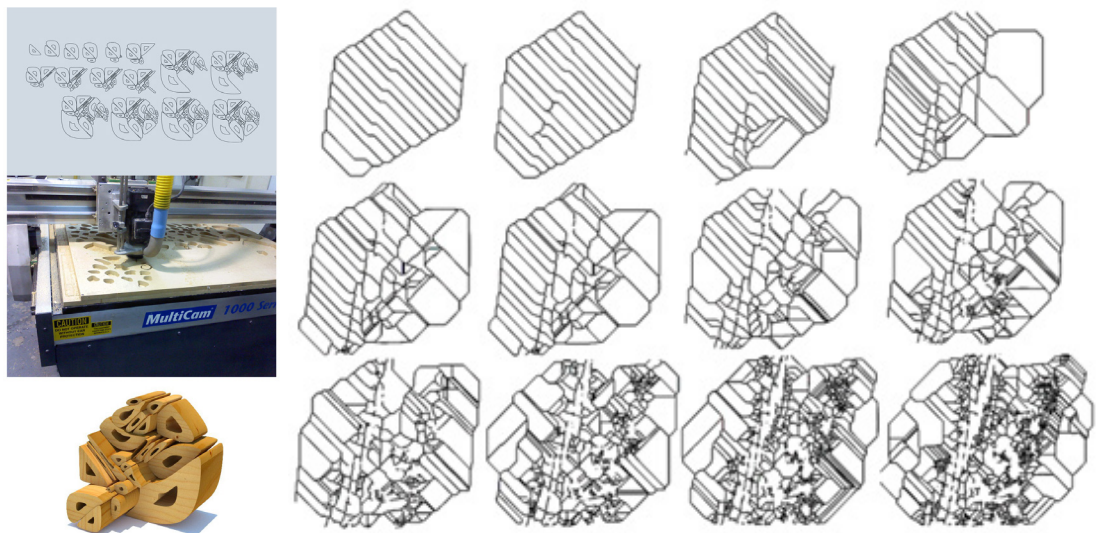


Fig. 1 y 2: Curvas de nivel para plantillas de corte, vectorizada a partir de un modelo virtual 3D. Proceso de corte computarizado y modelo final de prueba, ensamblado. Al lado. Morfologías fractales generadas a partir de crecimiento y fragmentación modular vectorial. Ver Cañete 2012.

En ello se utilizó una seriación de plantillas, numeradas y diagramadas en software, las que luego fueron impresas, en conjunto con el desarrollo (simultáneo) de una estrategia constructiva de anclajes simples, vinculando las piezas por medio de remaches pop metálicos o correas plásticas. Estos primeros y sencillos ejercicios, llevaron a una evidencia de la importancia de concebir procesos globales e integrados de diseño y construcción, a diferencia de los tradicionales métodos, que separan el diseño (como un ejercicio abstracto) de modo independiente al proceso constructivo, proposición de detalles y montajes.

Luego en una segunda instancia práctica, se fabrican tres modelos laminares, mediante corte computarizado, utilizando una Router Multicam 1000 Series; modelos de tablero MDF de 15 mm de espesor, en base a serie de paneles apilados y encolados de acuerdo al diseño virtual –tridimensional– propuesto. Estos resultados fueron expuestos como parte del proyecto del equipo Morfologías Digitales 2012, en el marco del FONDART regional de artes visuales, durante los años 2012 y 2013, en diversos centros de exposición de la región. En dicha propuesta, la geometría de base

provino desde una serie de curvas fractales (Mandelbrot, 2005; Arguedas, 2012), obtenidas mediante vectorizaciones (Cañete, 2012, 2014; López, 2012, Cañete y López, 2015; López, 2012) las que luego al ser importadas en editor de algoritmo gráfico, son tratadas mediante estrategias morfológicas de generación de volumetrías, de acuerdo a operaciones tales como el uso de puntos atractores (externo a la trama vectorial), el cual se sitúa en el espacio virtual, fuera de la grilla, tomando una distancia precisa en eje Z. La forma así extruida (modelación por atractor), se ordena en función de una serie de paneles o plantillas de corte, de acuerdo a la variación de las alturas de cada componente del módulo.

Con esto, se obtiene una suerte de puzle, que a la vez, es un plano bidimensional de los componentes del volumen, definido en cada una de sus partes, lo que permite proceder a una unión y ensamble del módulo unitario final (y/o experimentar con el tipo de unión), una vez que es llevado al router de corte, con su escala previamente definida en Cad. Esta estrategia minimizó alteraciones, en el ítem asociado a presupuestos y tiempos de ejecución del proyecto, además de ser un procedimiento eficaz y replicable, para llevar a cabo en la construcción de un revestimiento metálico, como parte de un encargo de diseño de interior. La estandarización del procedimiento es puesta a prueba en este nuevo ejercicio, que consiste en diseñar y ejecutar una piel-revestimiento, en base a placas de acero de 2 mm de espesor, (vinculadas mediante anclaje, al tabique que compone la barra de la sala principal del local) diseñados de forma similar, pero donde cada uno tiene diferencias particulares, en la acentuación tridimensional del pliegue. Esto permite que en su unión, generen una unidad mayor distintiva. Se proponen 32 placas cortadas y perforadas mediante tecnología plasma, plegadas en taller y ancladas al tabique in-situ. Primero se investigan las posibilidades de plegar la placa, usando el trazo (curvo) principal de los recorridos interiores de las salas, es decir; la curva longitudinal al tabique, por lo tanto responsivas al recorrido (del observador) entre ellas y el sector del baño; mientras se va en una dirección el pliegue de las placas se aprecia abierto, mientras que caminando en sentido contrario se ven cerrados. Usando el editor de algoritmo gráfico Grasshopper, como parte de la exploración de operaciones (geométricas) proyectuales, se llega al diseño del pliegue final de la placa y los detalles constructivos de perfilería en acero, asociados a la superficie a recubrir. La serie de diferentes perforaciones que se trazan en cada pieza, permite el paso tenue de la luz -cintas de luz led- a través de estas, en el total del largo (10 m) del módulo instalado. Así cada pliegue posee, sutilmente, distinta acentuación tridimensional y diferentes texturas, que varían de acuerdo al punto de vista del observador. Esta experiencia nuevamente satisfizo las expectativas tanto de tiempos de ejecución, presupuestos y espaciales proyectadas en el inicio del encargo.

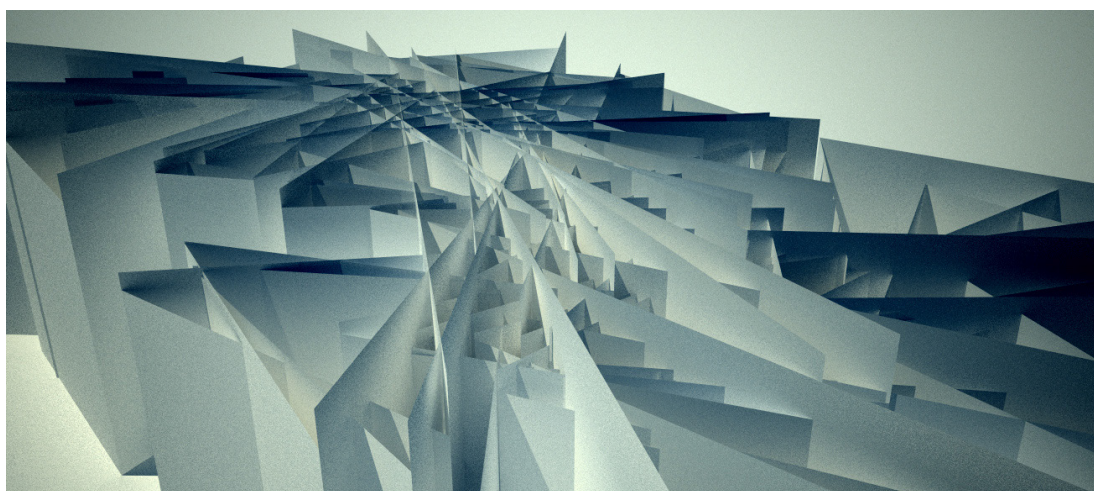


Fig. 3: Modelos de estudio para panelización y ensamble de volúmenes, usando sistemas iterados. Fuente: López, Felipe; en Cañete, Correa y López, 2016.

## El problema del domo. Exploraciones morfológicas actuales.

Usando la modelación digital en base a patrones (Alexander, 1991) geométricos específicos y dando cuenta de la estandarización de los procedimientos constructivos, es que volvemos a experimentar dentro de este nuevo proyecto de arte Fondart 2015 (Cañete, López y Correa, 2016, en prensa), abordando el problema clásico, de la modelación de un Domo, pensado como una instalación que incluya el diálogo de la luz, con el material y las maquetas en bases de distintas geometrías fractales propuestas (ver imágenes 9-12). Búsqueda que nos permite, mediante el uso de los diferentes dispositivos modulares y diagramación de paneles, generar los volúmenes y sus detalles, tanto en la modelación virtual, como su fabricación a escala y explorar sus posibilidades estéticas. Como parte de este proceso debe reiterarse que; mediante el algoritmo gráfico diagramado, las formas fractales seleccionadas se convierten en volumetría extruida según parámetros específicos, como parte de la serie de operaciones ejecutadas, también son modeladas por diferencias de sólidos de revolución diseñados (imágenes 18-20). Las primeras observaciones que surgen acerca de los modelos generados, se desprenden de la continuidad de la estructura irregular – no geodésica- del módulo, para lo que se deben ajustar las curvas y tramas iniciales o geometría de base, de modo que se tenga una cierta cantidad de entrecruces y así generar mayor cantidad de uniones o ensambles, que garanticen auto-estabilidad. Se diferenciaron tres posibilidades de discriminación a aplicar:

I. Trabajar la continuidad de las curvas iniciales, desde la planta.

II. Trabajar el volumen, desde la superficie envolvente del sólido de revolución (interior y exterior). En este caso (ver imágenes 18-20) el semi-elipsoide, de modo que la cáscara sea una estructura geométrica y constructivamente estable en si misma, como una malla ensamblada, adecuada para tales efectos.

III. Mixta. Se opta por ambas; modificar la volumetría propuesta, o escalarlo de modo no uniforme, respetando un plano de referencia o base del escalamiento y el centroide. Posteriormente se experimenta ajustando las curvas iniciales y las extrusiones que se obtienen con diferencias de superficies toroidales, paraboloides, elipsoides, esferas y semi-esferas, a modo de cúpulas o domos no geodésicos. En esta etapa se exploran las posibilidades de recorrer visualmente, algunos modelos en animación 3d, posteriormente editados en software. Las que son musicalizadas por el destacado pianista Aníbal Correa, para efectos de la instalación final del trabajo.

De esta manera, el proceso abarca desde la exploración morfológica al ensamble constructivo de unidades, como parte de un único proceso que incluye la solución de problemas de diseño constructivo. En este marco, nos hemos planteado, un ciclo de Investigación de Estandarización paramétrica de modelos constructivos en torno a la clásica problemática del Domo, donde primero se realizan exploraciones morfológicas, en base a softwares de modelación de patrones y lenguaje iterado de funciones (imágenes 11-12) para luego ser importadas, volumetrizadas y parametrizadas en Grasshopper (imagen 13), hasta definir unidades constructivas de ensamblaje con sus respectivas medidas. Respecto a la modelación, se trabaja una trama de patrones vistas en planta o 2D, las que son extruidas desde un punto atractor externo, con valores circundante decrecientes de atracción desde dicho punto focal, formando una trama 3D más alta en su centro y menos alta en su periferia. Luego, se intersecta con diversos sólidos de revolución a fin de abordar en problema de la doble curvatura (imagen 18-20) explorando diversas posibles soluciones, para finalmente, asignar valores y medidas a las partes y ensambles modulares, definiendo sus alturas para cada unidad, a fin de proceder a corta sus piezas en un router, y proceder al ensamble de paneles, que dan origen a la instalación y domo final. Esto, junto con definir materiales, costos y prototipos o modelos previos.

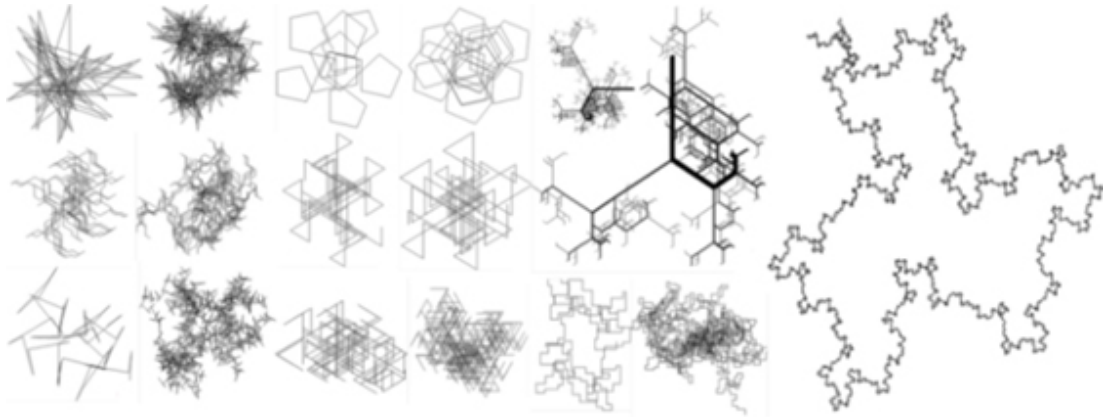


Fig. 4: Modelación de Patrones en base a Sistemas Iterados. Fuente: Elaboración propia.

## Metodología y resultados. El domo generativo

### Primera parte: De las artes visuales al diseño generativo

La presente modelación morfológica, puede ser resumido en los siguientes pasos:

Estudio de patrones (I.F.S.). Primeros esbozos morfológicos. Estos se realizaron en los softwares I.F.S. de sistemas Iterados y editados en RHINO.

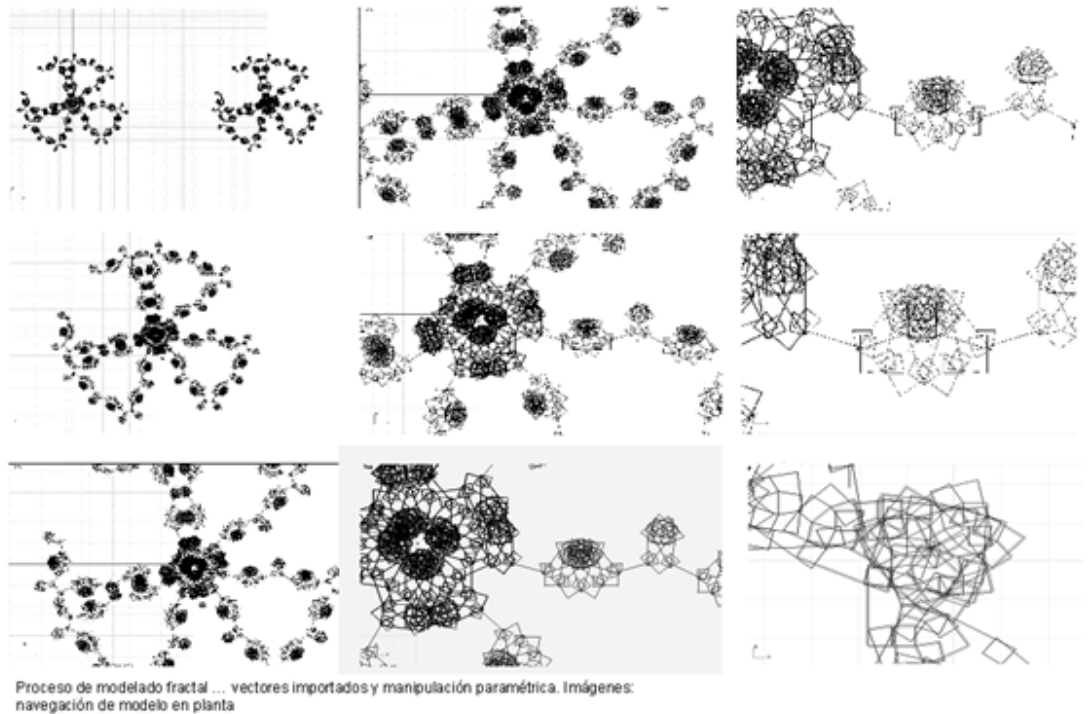


Fig. 5: Modelaciones de doble curvatura. Fuente: Elaboración propia

Primeras extrusiones y modelaciones 3d. Estas se realizaron luego de ser importadas como imágenes vectoriales a diversos softwares Cad, y luego en editor de algoritmo gráfico.

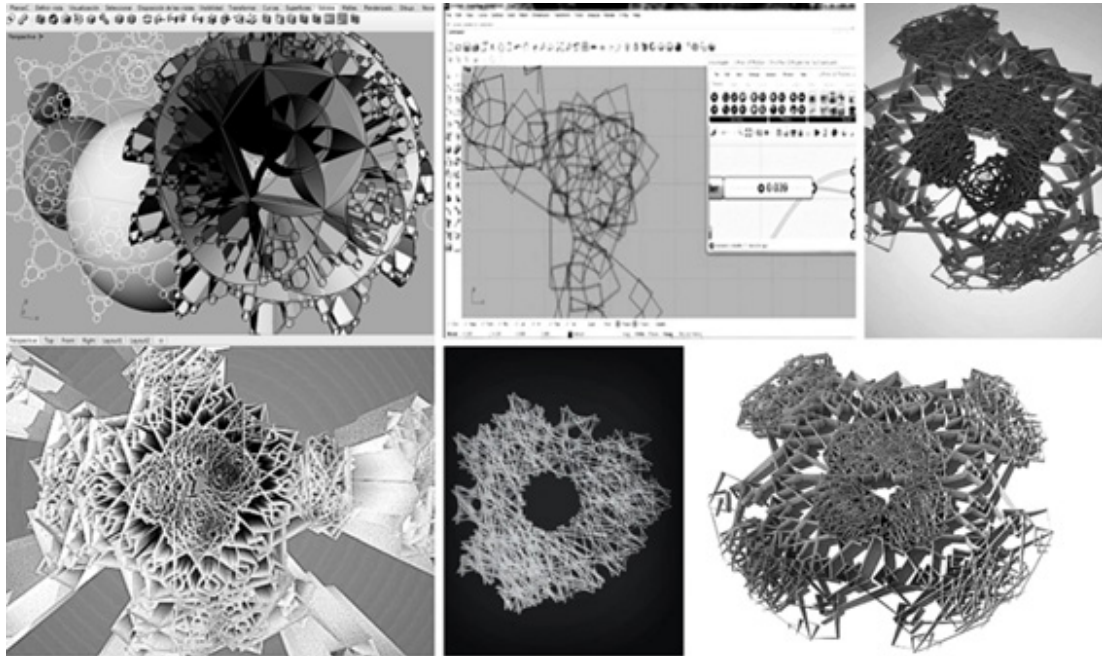


Fig. 6: Panelización y modelización de ensambles en diferentes volúmenes derivados de sistemas iterados. Fuente: Elaboración propia

Panelización y ensamble de unidades. Esta etapa también se realizó en editor de algoritmo gráfico, pudiendo separar e identificar las partes, componentes y áreas de ensamble entre sus partes.

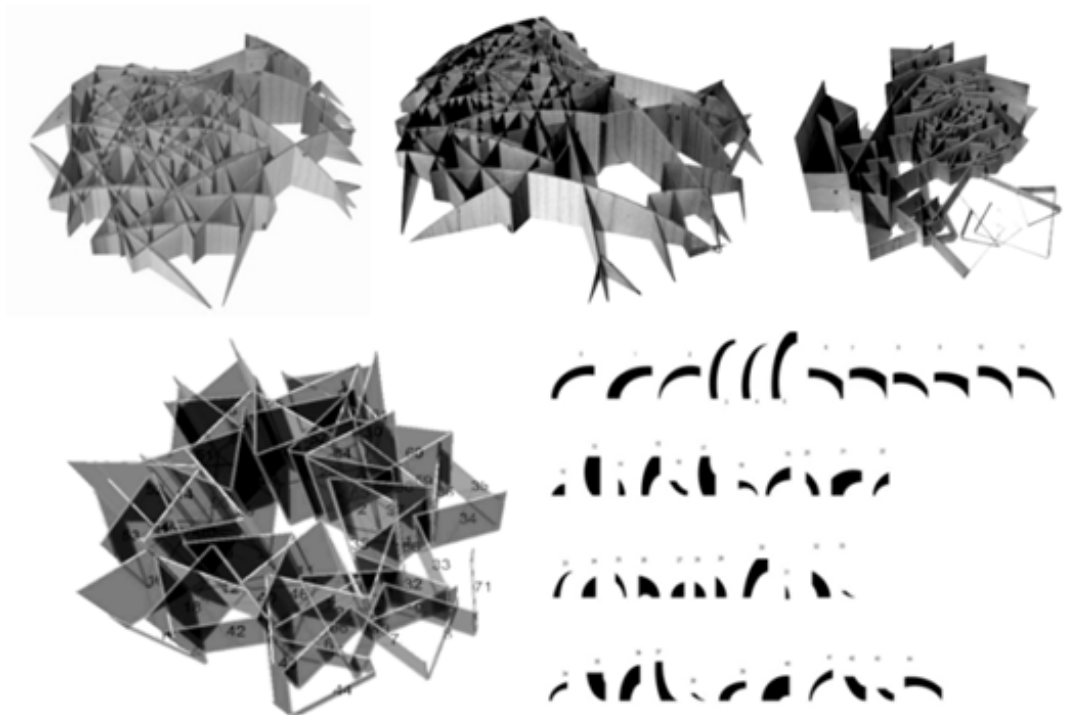


Fig. 7: Modelaciones para fabricación CAM. Fuente: Elaboración propia.

Modulación de Doble Curvatura. A fin de dar la curvatura a la superficie (interna y externa de una de las caras del domo) se hizo interactuar la trama fractal ya extruida, con diversos sólidos de revolución, sustrayendo luego dicho sólido, a fin de obtener y fabricar solamente la nervadura resultante del domo.

a.- Curvaturas de diferentes sólidos.

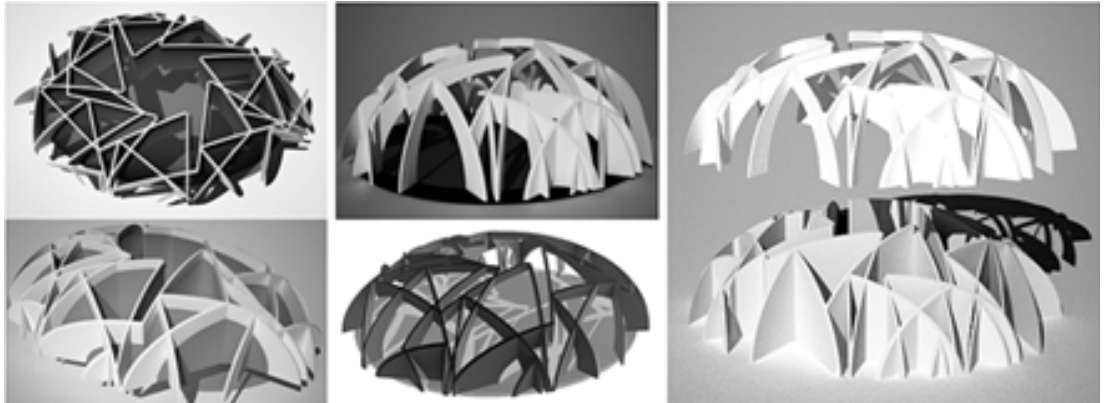


Fig. 8: Modelaciones de doble curvatura. Fuente: Elaboración propia.

b.- Intersecciones de sólidos y generación del entramado.

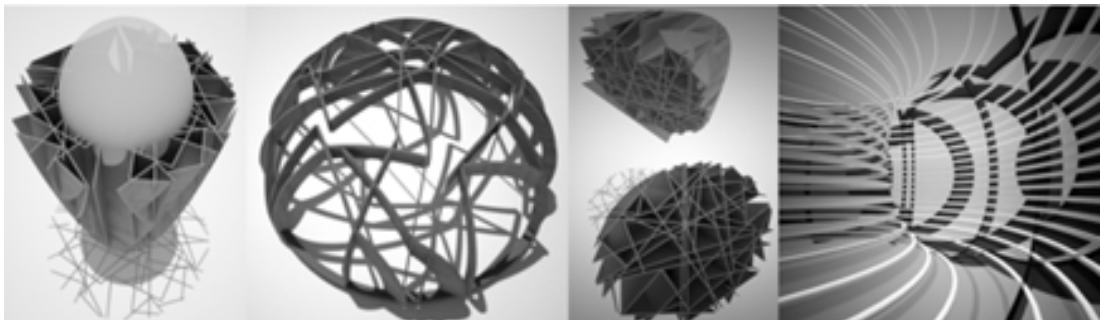


Fig. 9: Modelaciones de doble curvatura. Fuente: Elaboración propia.

c.- Semi-esfera.

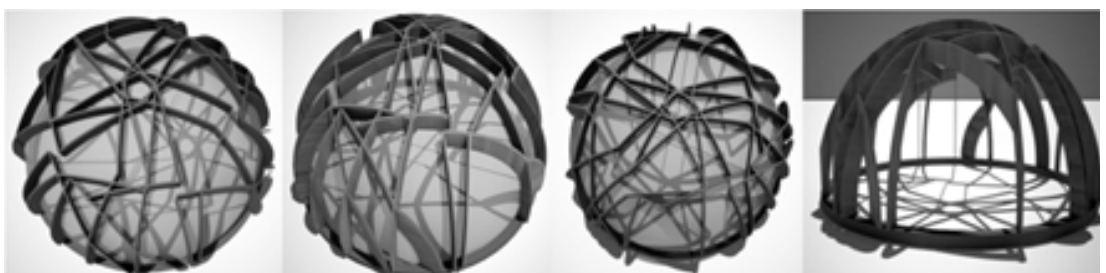


Fig. 10: Modulación, intersecciones o encajes del entramado. Fuente: Elaboración propia.

Maquetas Virtuales. En base a diversoss softwares de edición se exploraron las formas generadas desde sus posibilidades de expresión y presentación constructiva.

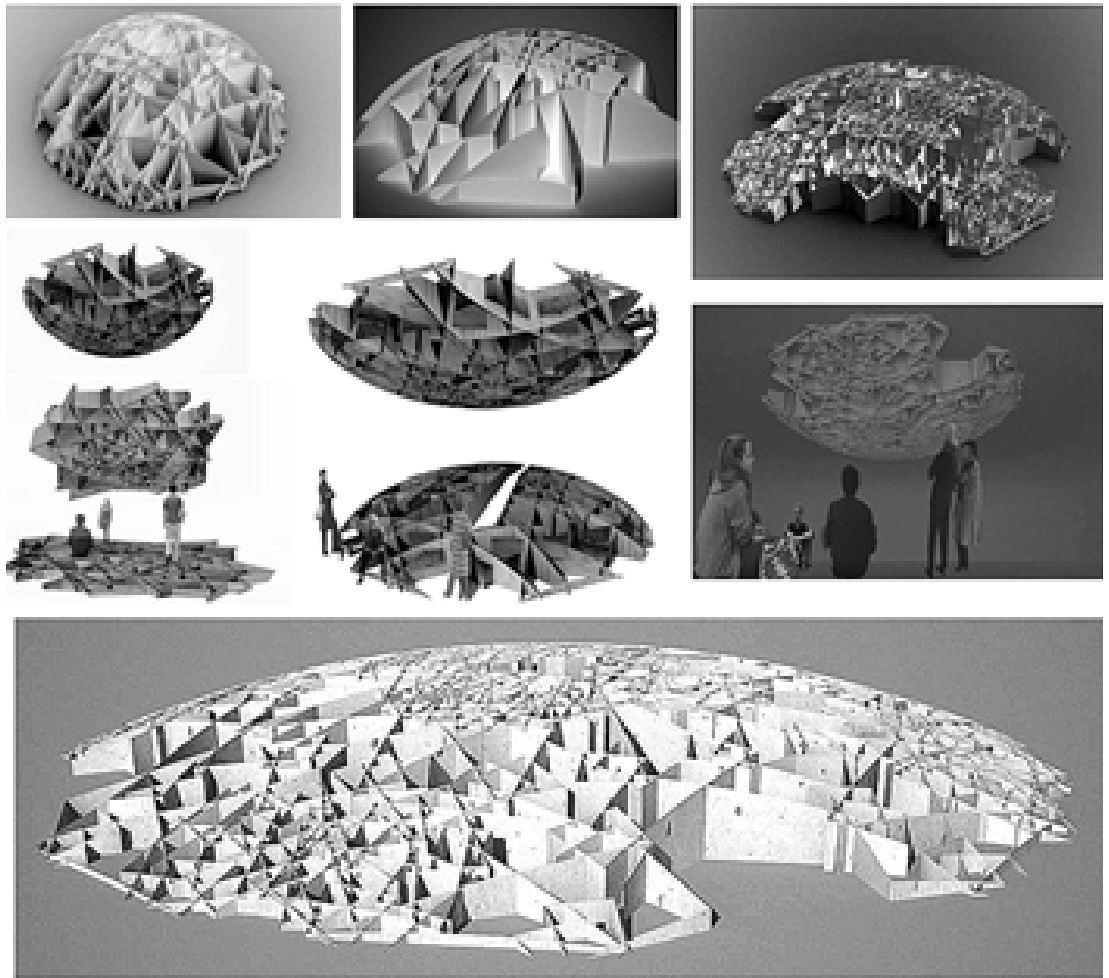


Fig. 11: Modelaciones de doble curvatura. Fuente: Elaboración propia.

Primeros modelos y prototipos materiales.. Finalmente, los modelos virtuales, se pasaron a modelos constructivos, en base a la identificación de sus partes, corte en materiales como cartón primero, y planchas de madera después, a fin de ensamblar sus partes en un modelo más definitivo.

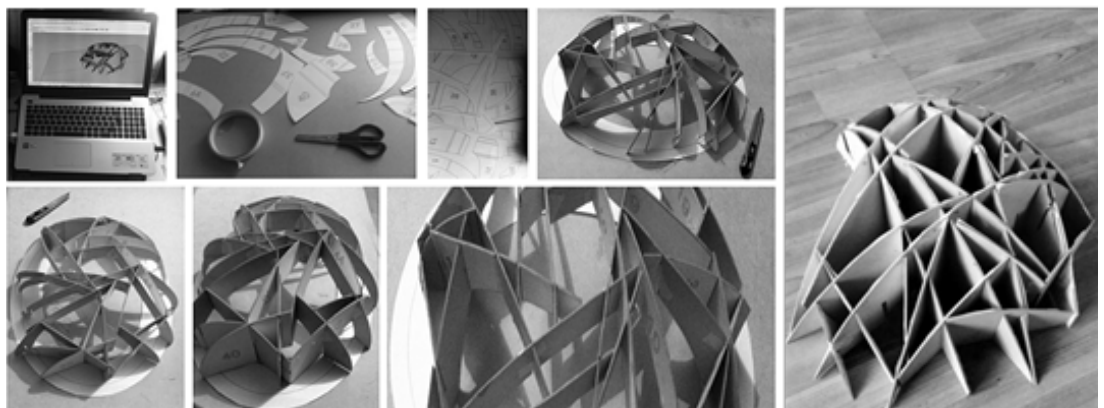


Imagen 12-13. Primeras maquetas de entramado auto-portante. Distribución basada en sistema de geometría iterada. Fuente: Elaboración propia.



Junto con mostrar este adelanto del trabajo en su estado actual, debemos señalar que el domo final, en tanto instalación en su tamaño y materialidad real, fue parte de la exposición de Artes Visuales que se realizó desde fines de agosto y hasta noviembre de 2015, en diversos lugares de la región, en el marco del proyecto de Morfologías digitales, titulado: “El Laberinto en el centro del mandala”, financiado por FONDART y patrocinado por la Escuela y Facultad de Arquitectura de la Universidad de Valparaíso. Además, ha iniciado una serie de pequeños encargos y construcciones experimentales en terreno.

## Segunda fase

### Diseños constructivos y generación de modelos de vivienda

Una vez realizada la experiencia de prototipos basados en lenguaje de patrones y estudios morfológicos, se abordó el problema de cómo dar cabida y programa al espacio arquitectónico y proyectual.

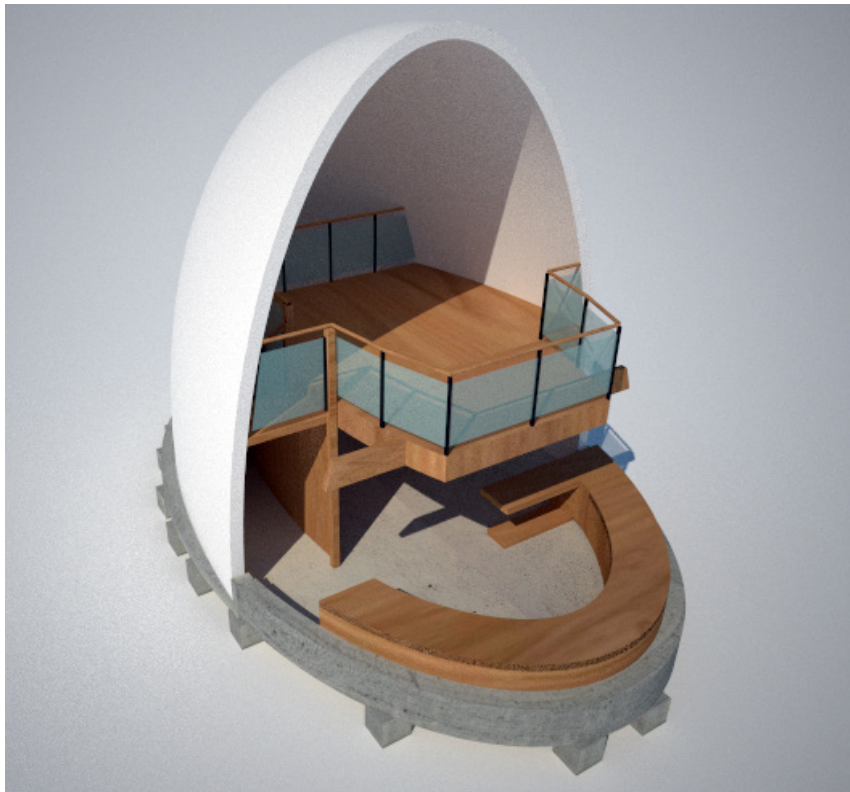


Fig. 14: Primeros modelos con sentido constructivo a partir de modelación formal para un domo parabólico de dos cáscaras. Fuente: Elaboración propia.

## Proceso de diseño y construcción

### 1.El carácter del encargo

- Refugio en el bosque; Estrategias de pre-diseño: modulación e incrementalidad.



Fig. 15: Maqueta virtual del modelo. Fuente: elaboración propia.

Fenómenos como el abandono de la ciudad por medio de segundas viviendas o la ocupación de las periferias rurales en torno a ellas constituyen modos de crecimientos orgánicos, incipientes en algunos países sub-desarrollados, no por ello sucesos de baja importancia ya que consisten en procesos locales de ocupación y ordenación del paisaje. Aunque sin ser permanente ni masivo, poblaciones urbanas consolidadas buscan espacios de retiro en estas periferias de la conurbación, las que posteriormente, con el tiempo se convierten en sectores urbanizados o pequeños micro-centros, donde el valor del suelo tiende a incrementar rápidamente con el paso del tiempo, dependiendo de los segmentos económicos que cohabitan, generándose muchas veces nuevos centroides de población de “segundas viviendas”, bajas densidades de habitación al inicio, incrementándose conforme al valor del suelo, conectados a polos urbanos de relativa proximidad.

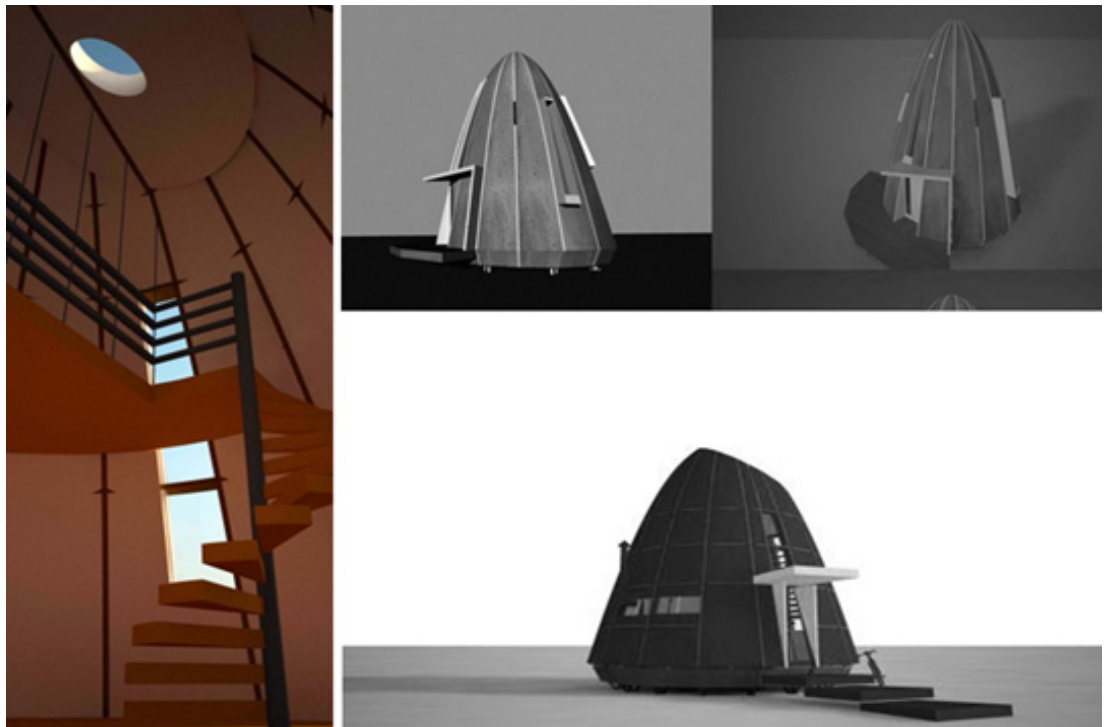


Fig. 16: Maquetas de exploración del modelo. Fuente: Elaboración propia.

## 2. Ubicación

Dentro de este marco macro surge la propuesta para plantear el diseño y construcción de un prototipo de estructura experimental de bajo costo, que satisfaga las necesidades de una familia de tres integrantes, se hace primordial cubrir necesidades esenciales de estabilidad, de temporalidad, programáticas, climático/espaciales de paisaje y de costos, para la instalación de un refugio en el bosque del valle Fundo El Sauce, colindante al sector de Laguna Verde y Casablanca; zona de baja densidad de habitantes, que desde algunos años se viene convirtiendo en sector de segundas residencias e incipientes poblaciones.

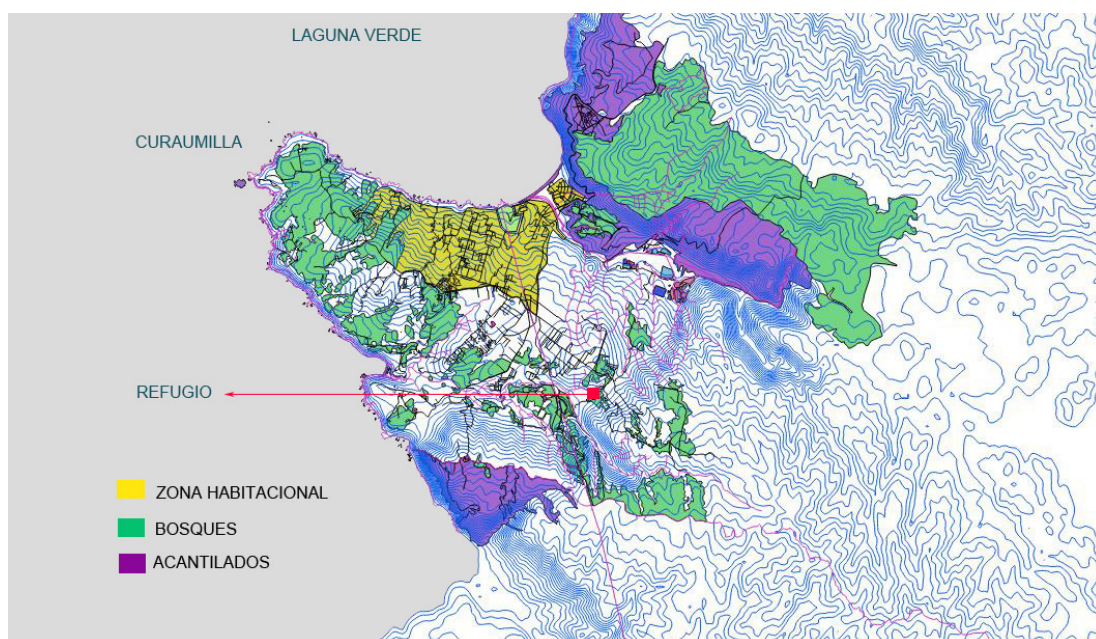


Fig. 17: Mapa referencial del lugar; ubicación del proyecto, 5ta Región de Valparaíso, zona central de Chile. Fuente: Elaboración por Felipe Mateo López y Luis Pineda / software: Q-Gis

## 3. Procesos constructivos

Se requiere una implementación del refugio en poco tiempo, carácter incremental (interior y el exterior) que se traduce en su verticalidad, la adaptación al paisaje del lugar queda en esta relación, con la posibilidad de usar dos altillos. Climatización pasiva y materiales de baja huella de carbono, materialidades orgánicas. Un solo espacio continuo, sala de estar/estudio y un altillo en doble altura, para pernoctar suspendido, en retiro entre la vegetación agreste del lugar. Con la presencia de una pequeña porción del océano, bajo el horizonte de la vista a cinco kilómetros de la orilla, a una altura de 255 metros.



Fig. 18: Proceso constructivo visto desde el Sur-Poniente. Fuente: Elaboración propia.

Se desarrolla un refugio modular auto-portante, que por un lado minimice la superficie de construcción, maximice el volumen interior y resista las condiciones locales de clima mediterráneo/seco. Se propone desarrollar una estructura elástica, construida mediante arcos prefabricados en cajones, compuestos por madera aserrada y y tablero de astillas aglomeradas o OSB (por sus siglas en inglés). El diseño se ha modulado con software de 3D y el editor de algoritmo gráfico Grasshopper. Luego, estas piezas son prefabricadas artesanalmente en taller, construyendo 16 piezas de arcos parabólicos (a modo de cajas curvas), que tienden a describir la mitad de sección del sólido para generar una abertura de luz cenital en la cúpula, posteriormente a eso se trasladan en un camión de tamaño estándar y se ensamblan a un envigado de 16 lados, sobre poyos de fundación aislada, en su parte inferior y a una pieza octogonal en su extremo superior.

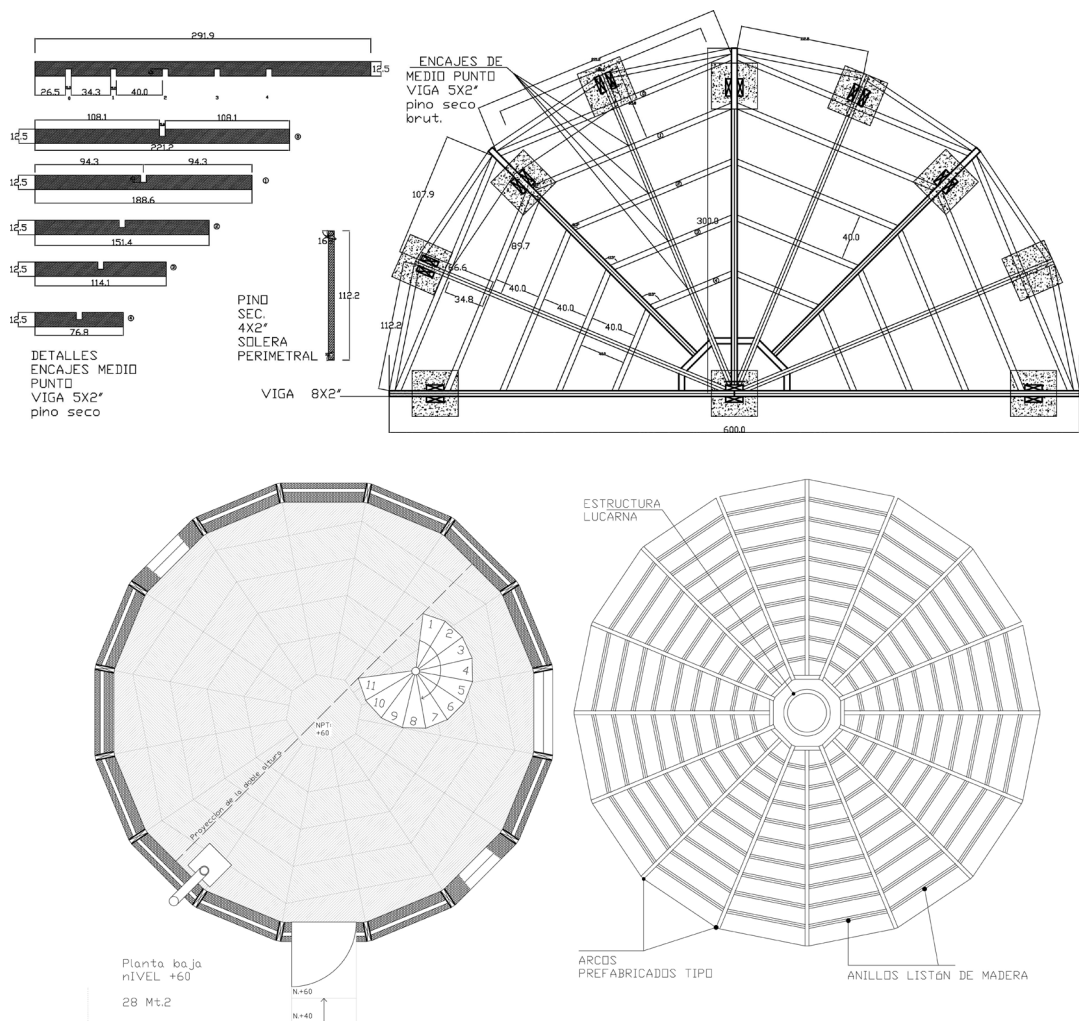


Fig. 19 y 20: Esquemas de estructura y entramados preliminares. Fuente: Elaboración propia.

Evidentemente la curvatura de la superficie generada maximizaría la exposición al sol, minimizando la orientación sur, para lo cual se jerarquizará la dirección norte con aberturas de vanos en el sentido longitudinal del módulo y aberturas pequeñas al oeste y noreste a modo de conseguir ventilaciones cruzadas. Al poseer 16 puntos de apoyo en planta, sumado al punto central, se convierte en una planta de segmentos equidistantes que tienden al círculo, minimizando los cortes por torsión que puedan devenir de los fuertes sismos del país. La confluencia de las 16 piezas de 6.7 mt de alto, 25cm de ancho y 8cm de espesor, en el octágono central y posterior amarre mediante

anillos de madera aserrada, los cuales se disponen cada 1mt. salvan la discontinuidad natural de la estructura, debida a los módulos comerciales del tablero OSB y los listones estándar de 3.20 mt de largo. Para lo cual se debe prever un arriostramiento en sectores estratégicos de la superficie del módulo, a fin de garantizar una continuidad en la distribución de cargas y sobre-cargas de uso. En conjunto a estas ideas de pre-diseño se evalúa un criterio estructural mediante arriostramiento en los principales vanos de puertas; accesos y futuros crecimientos y especialmente en los puntos basales de la superficie de 16 lados, es decir, en la llegada a la plataforma del envigado sobre poyos, y donde se anclará la plataforma del altillo.

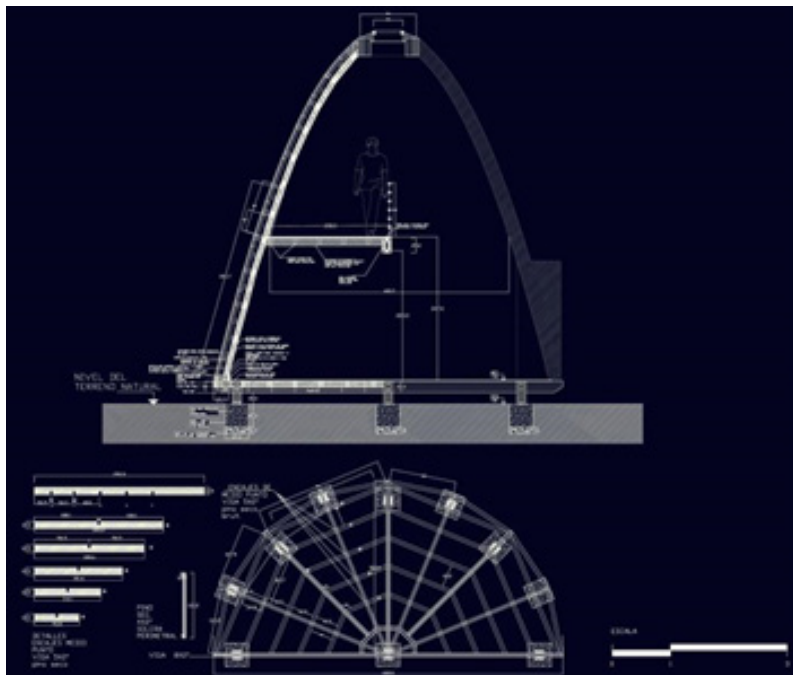
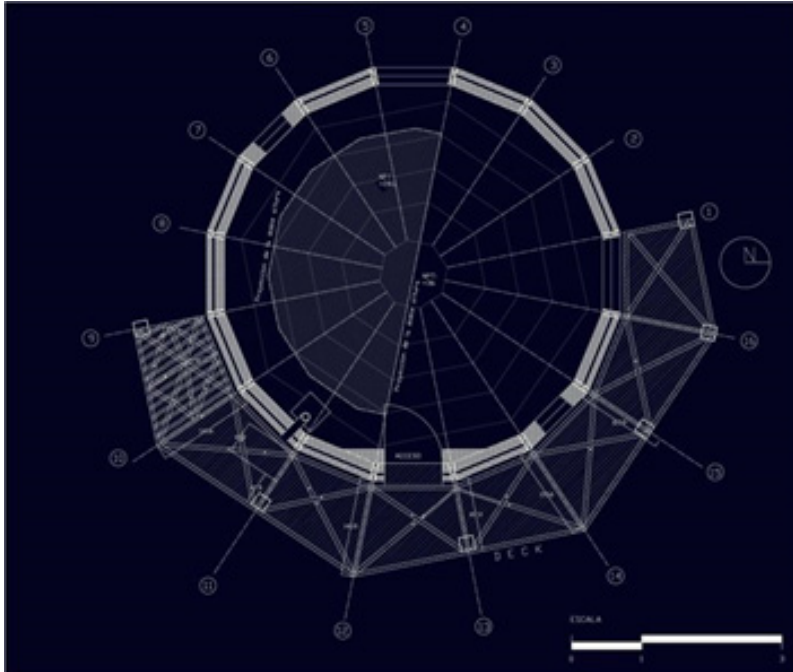


Fig. 21 y 22: Algunos planos tipo del Domo Refugio del Sol. Fuente. Elaboración propia.

De este modo la estrategia consiste en reforzar los puntos donde el corte de la estructura sería mayor, es decir a medida que la estructura de la cúpula se vuelve más alta también se vuelve más discontinua, pero también mucho más liviana. Esta experiencia nos permite vincular una estrategia de diseño vinculada al high-tech, como lo es el diseño paramétrico tridimensional asociadas a las herramientas de cad (diseño asistido por computador), hacia el low-tech o técnicas de fabricación artesanal o de bajo costo. La incrementalidad del módulo se prueba en la solicitud de ampliación, cuando tuvimos en pie la obra gruesa principal, ante lo cual se trabaja con la grilla octogonal, (desde la cual devinieron los 16 puntos con los que se plantea el envigado principal) lo que permite, adaptarse a los nuevos programas requeridos, sin romper el diseño original del módulo; un dormitorio y un módulo de baño + cocina, conectados entre sí mediante enlaces de pequeños pasillos futuros. Se propone una pequeña pasarela contigua, que deviene de la modulación octogonal y que conecta sur con norte dando continuidad al acceso principal con el secundario, comunicados con el vano alto que indica el norte como una brújula territorial.



Fig. 23: Fotos del desarrollo constructivo de entramados y modulación incremental; posibilidad de doble/triple altura.

En paralelo a este encargo surgió otro de similares características, el cual consistió en un módulo de doble altura de espacio público, vinculado a otro que contendría los programas de intimidad; dormitorios y baños. En este caso se optó por diseñar cáscaras parabólicas, montadas independientemente y vinculadas por una estructura metálica que funcionaría como conector y espacio de dilatación entre las superficies, al mismo tiempo generaría un vano curvo direccionado hacia el norte. Utilizando la misma técnica de pre-fabricación artesanal. Plan que finalmente no se pone en obra, pero que queda planteado en diseño de modelo, detalles y cálculos de ingeniería. (Ver imagen 14; Se presenta parte del modelo propuesto).

#### 4. Acerca del paisaje y del montaje

##### Refugio en el bosque; materialidad y recursos de baja tecnología o bio-construcción

Las características del lugar de emplazamiento ofrece un suelo muy arcilloso y pequeños cursos de agua entre las quebradas de las laderas sur. En un principio resulta imposible plantear cualquier montaje de construcción en un terreno sin recursos de agua.

Si bien la estructura sería prefabricada de acuerdo a la modulación Cad. El montaje requeriría de varios días continuados de trabajo por parte del equipo. Frente a estas condiciones se propone usar el material más abundante y de baja huella de carbono; La tierra, a modo de aislante térmico y acústico, rescatando técnicas tradicionales de arquitectura en barro, como son la quincha de doble malla, conocida localmente como ensardinado; técnica que consiste en disponer un palillaje de piezas de despunte del pino radiata, en doble malla, entre pies derechos, en este caso las nervaduras o piernas estructurales en forma de cajas, en los sectores donde pensamos que el corte era mayor, por los encuentros ya sea con la base del envigado o el altillo, allí se dispondrían en diagonal, logrando una sub-estructura rigidizante, de doble piel, al exterior y al interior dejando una cámara de vacío que recibe el barro arcilloso tratado con paja de trigo picada y aglomerada con el agua del arroyo de la quebrada, la que fue colectada mediante un dique de polines que hubo que construir como obra complementaria al módulo.

De este modo garantizábamos el carácter ecológico de la obra, buena aislación térmica, balance entre humedad interior /exterior, además de un arriostamiento complementario de la superficie del módulo. Posteriormente se utilizaría el mismo material sumado a un tratamiento de fermentación, con arena y materia orgánica para lograr una mezcla de masa impermeable de tierra cruda, curada con aceite de linaza y secado natural al sol. Una técnica localmente conocida como revoque fino de tierra cruda, el que se dispone en un espesor de 3 a 5 cm. que debe garantizar un revestimiento como una cáscara o piel impermeable, que dé soporte frente las lluvias de la temporada invernal, precipitaciones que en el clima costero de esta latitud, tienden a surgir entre los meses de Mayo y Agosto.



Fig. 24 y 25: Diseño de tabiquerías interiores. Fuente: elaboración propia.



Fig. 26 y 27: Interior en construcción y vista exterior. Fuente: elaboración propia.



Fig. 28 - 32: Detalles proceso constructivo, con uso de barro. Fuente. Elaboración propia.

Finalmente las terminaciones exteriores (aleros de vanos y pasarela), se realizarían en base a placa de tablero OSB revestido con pasta de arcilla tratada, previa aplicación de imprimante, que den mayor resistencia al efecto de las lluvias del invierno. Actualmente el modelo se encuentra en proceso de obra y evaluación de soluciones de detalles constructivos.





Fig. 33: Interior en construcción y vista exterior. Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

Hoy en día, pueden trazarse cada vez más y de manera más intensiva recorridos entre el proceso creativo, apoyado en uso de exploraciones morfológicas puras, con un proceso de pre-diseño proyectual y constructivo analógico/digital, digital/analógico. Esto en base al apoyo de técnicas de modelación basadas en uso de softwares de modelación tridimensional y en especial, del llamado diseño generativo.

En el presente caso, exploraciones morfológicas iniciadas en el marco de un proyecto de artes visuales, sirven, en paralelo, para experimentar en el diseño de un módulo habitable, interpretado originalmente en exploraciones morfológicas asociadas al uso de algoritmos gráficos y sistemas iterados (IFS) (Prusinkiewicz y Lindenmayer, 1996, Fedel, 2002, los cuales fueron posteriormente fabricados con uso de sistema CAD-CAM (Housmand et al, 2010).

La propuesta programática que hemos denominado inicialmente como “refugio generativo”, se implementa en esta instancia como un pabellón experimental, un habitáculo vertical en forma de campana parabólica, superficie curva que permite adaptación a la lluvia y a las condiciones del paisaje.

En este plano habitacional, resulta pertinente revisar con mayor profundidad el carácter uni o multifamiliar de estos prototipos según el tipo de uso y solicitud estructural que se le asigne. En este marco, también resulta relevante explorar las posibilidades de crecimiento de los módulos en base a trazados generativos, ya sea desde condiciones formales propias o parámetros/fuerzas del lugar, que los conecten y relacionen entre sí y/o con el medio. En el presente artículo, se muestran algunos detalles de dicho proceso de desarrollo constructivo experimental, y de sus diversas fases, emplazamiento, planos y detalles.

Esta experiencia también lleva a plantearnos este tipo de intervenciones desde el punto de vista de su reproducibilidad y uso en diversas formas de intervención. Ya que se trata como proceso de diseño generativo o en base a patrones.

Finalmente, y como es natural, el modelo también presenta una evolución desde el punto de vista de su emplazamiento, flujo de aire cruzado en dos niveles, orientaciones oriente/poniente, sur/norte, aplomo en el terreno natural del lugar, uso de materiales y detalles de diseño constructivo artesanal, aprovechando, en este caso las condiciones que el medio natural del lugar ofrece.

## Agradecimientos

Al equipo colaborador: Felipe Saavedra, Francisco Rubio, Luis Pineda, Ángel Palma, J. Pablo Cisternas, Oscar y Pablo Jerez, Alejandro Saldías, Rodrigo Segura, Ale Tello, Camila Bidart y Mario Varela.

## Referencias bibliográficas

Alexander, Christopher (1991). "The Nature of Order: An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe, Book 1. The Phenomenon of Life. Ed. Center for Environmental Structure. Arguedas T.; Vernor (2012). "La Geometría de la Naturaleza: Benoit Mandelbrot". Disponible en: [https://tecdigital.tec.ac.cr/revistamatematica/Secciones/Historia/V\\_Arguedas\\_V12N1\\_2011/Scrn\\_V\\_Arguedas\\_V12N1\\_2011.pdf](https://tecdigital.tec.ac.cr/revistamatematica/Secciones/Historia/V_Arguedas_V12N1_2011/Scrn_V_Arguedas_V12N1_2011.pdf)

Cañete, Omar (editor y comp.) (2012). "Exploraciones Morfológicas Digitales". Valparaíso. Ed. Garin.

Cañete, Omar Eduardo. (2014). "Arquitectura, Complejidad y Morfogénesis". Ed. Universidad de Valparaíso.

Cañete, Omar y López, Felipe (2015). "El domo generativo. Modelación morfológica y diseño paramétrico. Base del estudio de ensambles modulares En la fabricación de prototipos para sistemas CAD-CAN. En: Revista Módulo, Vol. 15, núm. 2; pp. Disponible en: <http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/moduloarquitecturacuc/article/view/737>

Cañete, Omar; López, Felipe y Correa, Anibal (2016). (en prensa). "Bitácoras del Mandala". Ed. Garin, financiado con aporte FONDART Federl, Pavol (2002). "Modeling Fracture Formation on Growing Surfaces" A THESIS SUBMITTED TO THE FACULTY OF GRADUATE STUDIES IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY. University of Calgary. Canada. Disponible en: <http://algorithmicbotany.org/papers/federl.dis2002.html>

López, Felipe Mateo. (2012). "Paisajes, mapas y atracción", en: Cañete, Omar (editor y comp.) (2012). "Exploraciones Morfológicas Digitales". Valparaíso. Ed. Garin.

Marchant Fiz, Simón (2008). "La Metáfora del cristal en las artes y arquitectura". Ed. Siruela.

Mahmoud Houshmand and Omid Fatahi Valila (2010). "Collaborative Information System Architecture for CAD/CAM in New Product Development Based on STEP Standard". En: Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2010 Vol II WCECS 2010, October 20-22, 2010, San Francisco, USA. Disponible en: [http://www.iaeng.org/publication/WCECS2010/WCECS2010\\_pp1072-1080.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCECS2010/WCECS2010_pp1072-1080.pdf)

Mandelbrot, Beoint (2005). "Los Objetos Fractales". Ed. Tusquets

Przemyslaw; Lindenmayer, Aristid (1996). "The Algorithmic Beauty of Plants". Ed. Springer Verlag. Disponible en: <http://algorithmicbotany.org/papers/abop/abop.pdf>