

Diseño y manufactura digital. De la embarcación Chilota a la cubierta de doble curvatura. /

Design and digital manufacturing. From the Chilean boats to the double curvatura roof.

David Butelmann Dujovne / Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Magíster de Arquitectura. / dbutelmann@gmail.com

Abstract *The objective of this paper is to recover and highlight the constructive processes and the assembling of Chilean wooden sea crafts, through the establishment of relationships between the design and digital specification for manufacturing of double curve roof, and traditional construction techniques of boats. The research is based on the exploration of digital constructive techniques, which integrate the design and the manufacturing systems of double curvature surfaces. By means of the reinterpretation of the constructive processes and the structural system of the Chilean sea crafts.*

Diseño digital. En la búsqueda de la forma. Las herramientas digitales han abierto las puertas para que los arquitectos desarrollen los procesos de diseño por medio de la utilización de los computadores. Se están creando nuevos softwares especializados como plataformas que permiten generar un nuevo tipo de arquitectura, que requiere de nuevos procesos y sistemas constructivos para su materialización. El uso de los computadores esta produciendo espacios y formas arquitectónicas complejas, casi imposibles de concebir con las herramientas tradicionales de representación (Massad, 2003).

Los softwares de diseño asistido por ordenador CAD posibilitan el modelar y visualizar cualquier forma imaginable, lo que hace repensar la geometría tradicional, abriendo nuevos caminos para la experimentación con formas que se alejan de la geometría cartesiana de líneas rectas. (Kolarevic, 2001). Con los ordenadores se pueden diseñar formas libres, pieles estructurales de doble curvatura o geometrías complejas de manera simple.

En la búsqueda de la forma. El empleo de formas complejas en arquitectura ha sido un tema recurrente a lo largo de la historia de la humanidad. Más que una necesidad cultural o como una respuesta filosófica, las superficies de doble curvatura tan de moda en la actualidad, surgen de la búsqueda profesional del arquitecto y como un desafío que se ha visto potenciado y facilitado con la

inclusión de las herramientas CAD (Eekhout, 2004). Antes de la incorporación de las nuevas tecnologías, algunos arquitectos investigaron en base a experimentos formales con elementos o fuerzas de la naturaleza. Heinz Isler a mediados del siglo 20 que investigo en telas congeladas las bases para desarrollar su arquitectura de cáscaras de hormigón armado (lámelas), o en las investigaciones de Frei Otto con burbujas de jabón que lo llevaron a sus estructuras téniles. Pero sin duda el caso emblemático es el Antonio Gaudi con las cadenas colgantes o Catenarias. (Kilian, 2005)

Las catenarias digitales. El principio de las catenarias se basa en modelos estructurales realizados con cuerdas y pesos colgados, que trabajan a la tracción, para posteriormente ser invertido y obtener el diseño a compresión.

El uso de modelos análogos para simular complejas relaciones de fuerzas realizadas con cuerdas y pesos tomaba mucho tiempo, además de ser difíciles de poder construir, incluidas las complicaciones para generar variaciones el modelo.

Es en la investigación de algoritmos matemáticos empleados en software, que las complicaciones de los modelos análogos desaparecen (Kilian, 2005). En los programas que simulan el comportamiento de telas, se encuentran las bases para explorar formas complejas basadas en las catenarias digitales.



Para esta etapa de la investigación se asocia el uso de simulaciones dinámicas (fuerzas de la naturaleza) con herramientas digitales extraídas de software 3d de efectos especiales. Por medio de reactor de 3dmax, un cuerpo flexible o tela es deformado por la fuerza de gravedad, con lo cual es posible explorar diferentes tipos de cubiertas de doble curvatura generadas a partir de un plano base horizontal.

Con el uso del computador se simula el comportamiento de una superficie bajo condiciones similares a las que encontraríamos en la naturaleza. Se mezclan los dos métodos de generación de formas complejas empleados por los arquitectos, como son los experimentos con fuerzas de la naturaleza y los software computacionales. Se produce una asociación entre lo análogo y lo digital.

Reconstrucción digital y modelo análogo. Se determina el uso de una grilla de 3x4 puntos a 320cm de distancia, estos nodos corresponden a los apoyos de una superficie de 640x960cm. A esta superficie se le asigna la propiedad física digital de un cuerpo flexible. Con este método digital a la fuerza de gravedad se le asigna un valor negativo para obtener el resultado positivo esperado (deformaciones en "Z" positivo). Con esto el modelo queda en su posición definitiva sin requerir ser invertido. Se exploran varios modelos digitales de superficies alterando los nodos de la grilla donde se apoyaran la cubierta, seleccionando una de las iteraciones.

La superficie extraída del software de simulaciones (3dmax), se exporta a un programa 3d basado en los procesos de diseño y manufactura (Rhino). La superficie se secciona y es reconstruido para posteriormente por medio de cortes múltiples cada 32cm, se genera una grilla tridimensional de 11x16.

Las curvas se traspasan a un software de dibujo técnico (Autocad), donde se diseñan las piezas, sus uniones por encajes, basados en la escala y el espesor del material que será utilizado en el modelo. Las piezas ubicadas tridimensionalmente son traspasadas a un plano 2d y anidadas dentro del formato de ploteo a utilizar. La lámina se utiliza como guía para cortar las piezas y posteriormente ensamblarlas por medio de los encajes.

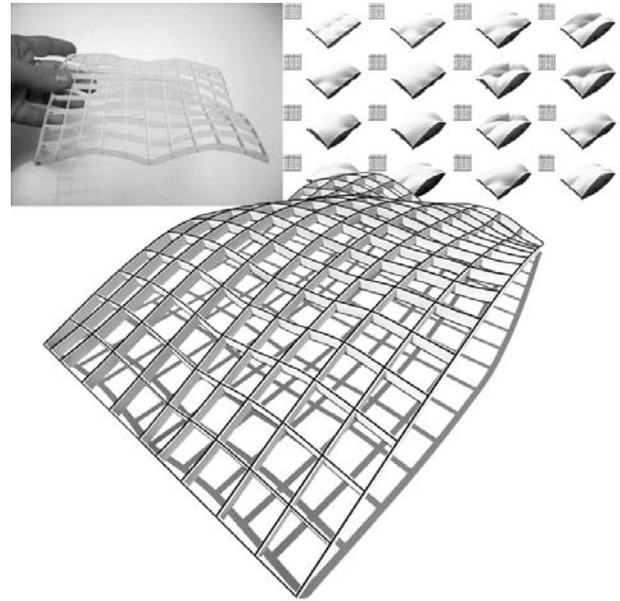


Figura 1. Modelo análogo-digital basado en catenaria.

El modelo estructural y constructivo de las embarcaciones Chilotas. “El diseño y la manufactura son estados separados, cada uno con su propio modo de representación. Para moverse de uno al otro se requieren múltiples procesos de conversión y transformación de la información, por el intercambio entre diferentes medios y técnicas, para dar continuidad al todo”. (Male, 2004).

Para que el proceso de diseño arquitectónico se pueda desarrollar de manera fluida, posibilitando reestructuraciones o variaciones formales, sin aumentar los costos del proyecto, se debe hablar de diseño orientado a la manufactura, el cual busca integrar en el proceso mismo del diseño los métodos de construcción, montaje y los modos de representación de los proyectos (Lyon, 2004).

Si en las etapas preliminares del diseño de una superficie de curvatura compleja, se integran los sistemas constructivos, las características de los materiales, la especificaciones de las maquinas de manufactura y los procedimientos de montaje, a las herramientas digitales



se puede modificar el diseño, alterando automáticamente la información para la manufactura y el montaje.

Arquitectura y embarcaciones. La arquitectura desde siglos ha estado ligada a las embarcaciones, ya sea como fuente de inspiración para el diseño arquitectónico o como solución constructiva para formas de curvas complejas, debido a la dificultad constructiva con los métodos tradicionales de manufactura. Andrea Palladio con la cubierta de la Basílica Piazza de Signori en Venecia de 1617, o Frank O. Gehry con el Museo Guggenheim de Bilbao de 1997, ambos requirieron de los procesos constructivos, las herramientas de manufactura y los especialistas en la construcción de embarcaciones (Kolarevic, 2003), para materializar sus proyectos en obras construidas.

Embarcaciones de Chiloé. En Chiloé, territorio insular ubicado al sur de la ciudad de Puerto Montt en la X Región de Chile, se ha desarrollado una cultura constructiva en relación a la madera, la cual se ha empleado en la construcción de todo tipo de infraestructura, destacándose sus embarcaciones, viviendas en palafitos y sus Iglesias que son Patrimonio de la humanidad. La condición de Isla con un mar interior, han hecho que las embarcaciones sean el principal medio de transporte de Chiloé, desarrollándose técnicas constructivas que han pasado de generación en generación, alcanzando altos grados de perfeccionamiento. El carpintero de ribera es un artesano experto y diestro, que ha desarrollado su oficio con herramientas simples y basándose en la experiencia de años. (Ivelic, 2005).

Diseño estructural y constructivo. El constructor comienza el proceso de diseño con un modelo de madera desarmable a escala, que cumple con los requerimientos de capacidad, velocidad, zona y tipo de oleajes, etc. Del modelo se extraen las curvas que representan la Quilla (corte longitudinal), las Cuadernas (cortes transversales) y otras partes de la estructura (Zegers, 2003).

Las embarcaciones Chilotas utilizan un sistema estructural de columna central y costillas (quilla y cuadernas), revestido con tabloncillos de madera doblados por medio de un proceso de ablandamiento

en base a vapor. Esto permite que se puedan adaptar a la forma curva de las cuadernas. Para su construcción se emplean maderas de diferentes tipos, según el requerimiento estructural y constructivo (dureza, liviandad, flexibilidad, etc.) de las diferentes partes de la embarcación.

Diseño digital orientado por las embarcaciones. El desafío de la investigación recae en la capacidad de asociar y orientar el diseño y la manufactura de superficies de doble curvatura en relación a los sistemas constructivos y de montaje de las embarcaciones Chilotas utilizando herramientas digitales de diseño. Los sistemas constructivos, los materiales y los métodos de montaje de las embarcaciones Chilotas se relacionan con los procesos de diseño, las estrategias de manufactura y los modos de representación de la información para el montaje.

Modelo análogo informado por embarcación Chilota. La superficie utilizada en el modelo anterior es analizada para determinar las zonas con mayor grado de variación de curvatura, con lo cual se definen las áreas de la estructura que requieren mayor cantidad de piezas (cuadernas), con el propósito de generar más puntos de apoyo para las maderas curvadas del forro. De la superficie se extraen por medio de secciones las curvas que definen el modelo estructural de las embarcaciones Chilotas, como son: La quilla (pieza central longitudinal), las cuadernas (costillas transversales), Los baos (piezas de borde), guarda playas y muelles (piezas de refuerzo y protección longitudinal). Se determina la escala, materialidad del modelo y herramientas de trabajo, para luego exportar las curvas al software CAD donde se diseñan las piezas, con sus dimensiones y las uniones por encajes.

Las piezas son numeradas y cortadas, para ser ensambladas; se agrupan las piezas que forma la columna central (quilla), se encajan las cuadernas de los extremos, para posteriormente se unirlas con los baos y así formar los perímetros. Se continúa con el resto de las cuadernas, para rematar con las piezas de refuerzo longitudinal.



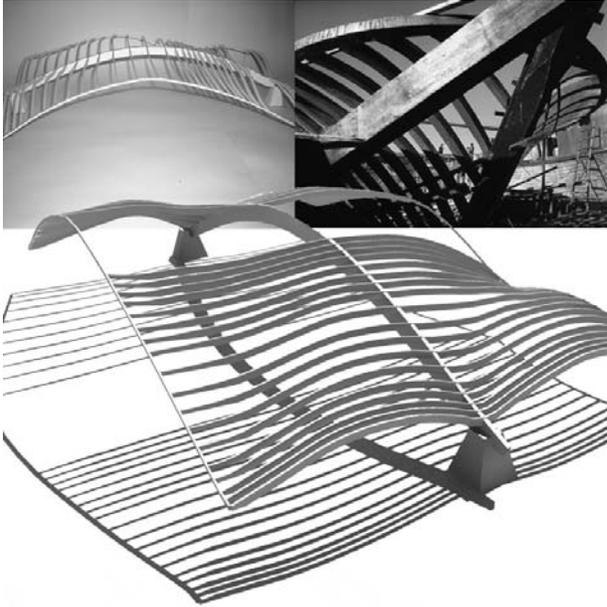


Figura 2. Modelo análogo informado por embarcación Chilota.

Diseño y manufactura digital de una cubierta de doble curvatura. La manufactura digital se puede clasificar según la operación que realizan, y la dimensión en que trabajan las máquinas CNC. La manufactura digital de partes o piezas tridimensionales, se puede realizar con un proceso formativo basado en la deformación de un material, uno aditivo que construye un modelo por la adición de capas y otro sustractivo, el cual extrae la cantidad precisa de un determinado material a través de técnicas de tallado y desgaste. (Kolarevic, 2001). Otro de los sistemas de manufactura digital, es la fabricación de piezas y partes planas o bidimensionales, donde un modelo tridimensional es transformado a piezas planas para ser cortadas en un plotter de corte. Este método a diferencia de los anteriores, requiere establecer una estrategia constructiva para su fabricación digital, lo que se resume en las siguientes; generación de secciones múltiples, el despiece y el anidado de sus partes.

El modelo digital orientado por la embarcación Chilota y las herramientas de manufactura digital. Para el desarrollo del modelo

manufacturado digitalmente, se empleó un plotter de corte de 21/2 ejes, una fresa de 2,8mm de diámetro y placa de madera aglomerada de densidad media (MDF) de 5,5mm de espesor, además de determinar la escala de 1:10. Estas condicionantes propias del proceso de manufactura se utilizan para informar el diseño digital, orientando el diseño estructural y constructivo de la embarcación Chilota.

La escala del modelo, las herramientas y los materiales guían el diseño de las piezas y las separaciones de los elementos estructurales. En este modelo se sigue la lógica de las áreas de mayor densidad de cuadernas, para trazar los ejes de corte. La superficie se secciona según los ejes. Las curvas son exportadas al programa CAD, donde se diseñan y dibujan las partes con sus uniones en el espacio tridimensional. Luego de comprobar la precisión de las uniones, se numeran las piezas y se anidan. Para realizar el proceso de anidado, a diferencia de los modelos análogos en este se utilizó un plugin de Rhino, con el cual se pudieron estudiar varias configuraciones en poco tiempo. Se determina un layout de las piezas para ser importado por el software de manufactura (VisualMill) con el cual se genera el código con la información de las dimensiones, los procesos y operaciones que realizara la máquina de corte. Las piezas son extraídas, se ordenan, se depuran sus cantos y las muecas de encaje, para el montaje.

Las 3 piezas que forman la Quilla se unen y se ubican en los apoyos. Se colocan las cuadernas principales encajadas sobre la quilla, siguiendo por los baos que unen los extremos de las cuadernas. Se continúa con el resto de las cuadernas menores, para finalizar con los refuerzos longitudinales, que amarran a las cuadernas entre sí. (Figura 3.)

Proyecciones Esta investigación se complementa con el desarrollo de una parte de la cubierta a escala 1:1 manufactura por CNC. La cubierta será analizada y calcula estructuralmente, para determinar las dimensiones y las tipologías de uniones.

El fragmento construido se utilizara para explorar las posibilidades de las pieles estructurales manufacturadas por CNC y basadas en las tipologías constructivas de los forros de las embarcaciones. Se buscara establecer las



relaciones entre los tipos de maderas y los requerimientos de cada parte de la estructura, según los parámetros que rigen las embarcaciones, como son: durabilidad, resistencia al clima, flexibilidad, etc.

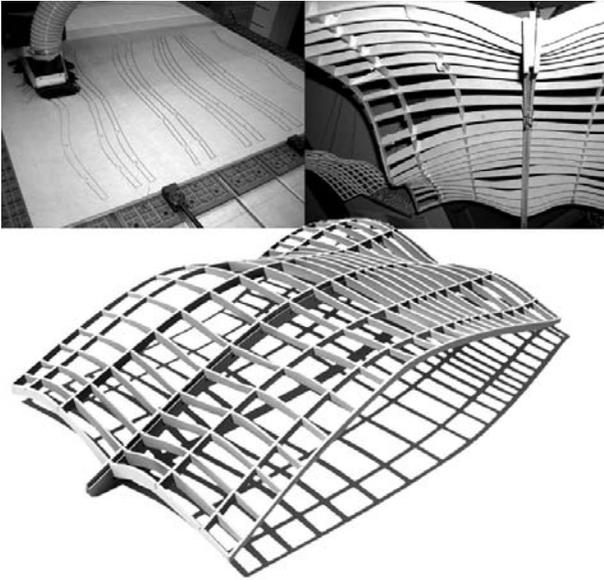


Figura 3. Modelo Manufacturado digitalmente.

Referencias

EEKOUT, M: 2004, *GRP Sanwich structures for "liquid design" architecture*. Artículo, montpellier, Francia, pp. 5-8. / IVELIC, B: 2005, *Embarcación Amereida y la épica de fundar el mar patagónico*, Ediciones Universitarias de Valparaíso, Chile, pp. 69 a 102. / KILIAN, A: 2005, *Linking Hanging Chain Models to Fabrication*, Acadia. En pagina <http://designexplorer.net/newsscreens/cadenarytool/cadenarytool.html> / KOLAREVIC, B: 2001, *Digital fabrication: Manufacturing architecture in the information age*. Publicación ACADIA. / LYON, E: 2004, *Diseño orientado a la manufactura en arquitectura: relaciones entre el diseño y la fabricación de superficies curvas*, Sigradi. / MALÉ, M: 2004, *Hyper [D-M] Process Emerging Conditions for Digital Design and Manufacturing in Architecture*, Proceedings of eCAADe21, pp 343 a 346. / MASSAD, F: 2003 *Arquitectura digital*, Revista Experimenta, 45. ed Experimenta S.L. Madrid, España, pp. 51. / ZEGERS, V: 2003, *Maestros de Ribera*, un oficio ancestral, Editorial Zig-Zag, Santiago, Chile.

Keywords: *Chiloean boats, Complex curved roof, digital design and manufacturing.*

