

# Modelos Constructivos por Fabricación Digital

## Constructive Models by Digital Fabrication

Rodrigo García Alvarado

Universidad del Bio-Bio, Chile  
rgarcia@ubiobio.cl

**Abstract.** Digital manufacturing allows to elaborate constructive models to study material conditions and industrialization of building designs. This paper exposes strategies to develop models based on structural sections of 3D volumes, cutting profiles in BIM software, flexible manufacturing of building types and development of constructive systems. These procedures demonstrate combination of design and manufacturing technologies that encourages integrated building and new architectural possibilities.

**Keywords.** Digital Manufacturing, Building Industrialization, 3D-modeling, CAD/CAM, BIM.

La fabricación digital de modelos constructivos permite estudiar las condiciones materiales de los proyectos y la industrialización de sus componentes. Elaborando elementos soportantes o paramentos, para revisar sus aspectos técnicos y estéticos (Stacey, 2004; Gramazio y Kohler, 2008). Utilizando tecnologías que están siendo crecientemente integradas en la industria de la construcción para realizar piezas estructurales y revestimientos. Promoviendo de este modo un proceso de edificación más eficiente, integrado y variable.

Este trabajo presenta estrategias para definir componentes constructivos en diseños digitales con el fin de realizar su fabricación automatizada. Preferentemente con equipos de corte y montaje, debido a que estos sistemas están siendo implementados en las industrias y pueden ser experimentados con cortadores láser y brazos robóticos. Además que implican un reconocimiento de los elementos constructivos y de sus actividades de elaboración y conformación, fomentando una mayor comprensión material del diseño.

Se presentan estrategias para realizar secciones estructurales de volúmenes arquitectónicos, perfiles de corte en software BIM, montaje flexible de elementos constructivos y desarrollo de nuevos sistemas de edificación.

## 1. Seccionado estructural

Para definir elementos estructurales preliminares en volúmenes arquitectónicos se pueden realizar secciones planas en formas tridimensionales. Con el fin de apoyar este proceso dentro de un software de diseño digital (3Ds-Max) se realizó un programa interno que identifica un volumen unitario, que puede ser una forma simple, una agrupación o transformación orgánica, y luego realiza secciones repetidas en cualquiera de los tres ejes cartesianos, indicando la distancias o la cantidad requerida. De este modo se obtienen trazados de perfiles equivalentes a divisiones estructurales con una modulación tridimensional. En extensión pueden ser equivalentes a muros y en altura, a losas de entresijos, y si se realizan vacíos interiores, se pueden definir espesores de borde, generando marcos, pilares, vigas o lacios verticales. En formas complejas se genera una estructura regular resolviendo la diversidad de piezas requeridas para ejecutarlas, lo que facilita su construcción.

EL programa solicita además el tamaño de la placa de corte y distribuye los perfiles realizados dentro de rectángulos

equivalentes a las placas, calculando la cantidad requerida, preparando de este modo el trazado de ejecución. Las figuras se distribuyen linealmente según su área rectangular. Las figuras irregulares pueden entrelazarse manualmente para aprovechar mejor el material. También se pueden identificar las intersecciones de piezas, donde normalmente se disponen conectores o ranuras de ensamble. Se ha implementado adicionalmente la modelación volumétrica de las secciones, para visualizar el montaje, aunque esto se dificulta en algunas formas complejas.

El programa ha sido experimentado en una diversidad de modelos. En algunos volúmenes muy enrevesados se presentan conflictos geométricos (perfiles entrecruzados o incompletos), que impiden la culminación del proceso. Así mismo en formas muy irregulares o extendidas, la distribución de piezas es poco eficiente. Se presentan dificultades también en estimar las relaciones dimensionales, entre la magnitud del volumen diseñado, la modulación estructural y el tamaño del modelo a ejecutar, en relación a las placas o área de trabajo disponible de las máquinas. Lo que exige a veces ajustar medidas o convertir escalas.

Una derivación interesante de este programa ha sido la capacidad de generar diferentes alternativas de modulación estructural y ocupación de placas, para determinar por ejemplo el tamaño o

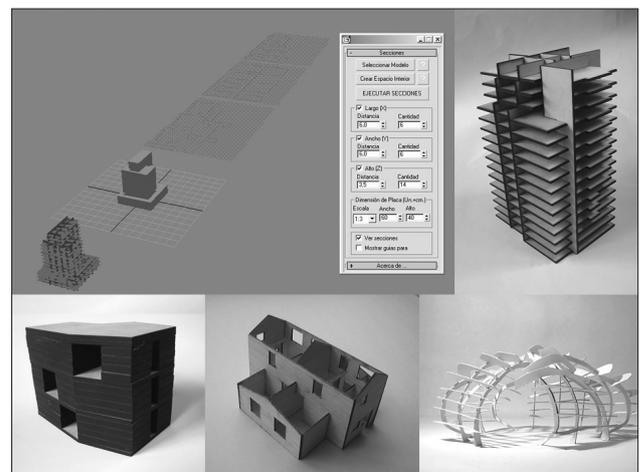


Figura 1. Programa para seccionado estructural y ejemplos.

# SIGraDi 2009 sp

escala del modelo que aprovecha mejor el material o genera menor cantidad de piezas. Por otro lado, también ha permitido estudiar alternativas de modulación según la forma volumétrica, en que se obtienen notables diferencias de ejecución. Revisando el trazado bidimensional de las piezas, se pueden analizar las magnitudes de material utilizado. Al contrario también se pueden generar o modificar volúmenes revisando su utilización de material o analizar una diversidad de volúmenes que cumplen un requerimiento determinado (por ejemplo superficie horizontal ocupable), identificado la forma que utiliza menos material o menos elementos constructivos. Entregando de este modo, además del estudio estructural y espacial, un análisis constructivo de los volúmenes arquitectónicos iniciales. Otorgando además una capacidad de estudio visual y material de las formas y disposiciones estructurales mas eficientes en términos numéricos, revelando una interesante relación entre aspectos perceptuales y materiales.

## 2. Corte de Elementos BIM

Los software de modelación constructiva (BIM) permiten una descripción completa del proyecto y una especificación de los componentes, colaborando en el desarrollo y administración de la obra. Sin embargo no consideran mayormente la relación con sistemas automatizados de ejecución. Con el fin de facilitar la realización de representaciones constructivas a partir de la modelación general del diseño en BIM se estableció un procedimiento de trazados de elementos para corte, que también podría ser aplicado para la ejecución industrial.

El procedimiento consiste primero en simplificar las condiciones de visualización para dejar exclusivamente los perfiles de las figuras, luego generar vistas ortogonales que expongan los elementos definidos y posteriormente elaborar una lamina con los elementos expuestos, excluyendo anotaciones adicionales. Este procedimiento se establece en una rutina interna que se esta experimentando en un sistema constructivo de paneles de ferrocemento para vivienda económica.

Este sistema constructivo fue desarrollado en una colaboración tecnológica (Soto, 2002) y actualmente es utilizado por una gran cantidad de empresas constructoras en el país. Aunque la elaboración de los paneles no esta automatizada, su implementación en un sistema BIM permite disponer de los elementos especificados para estudiar diferentes alternativas de diseño y contar con la cuantificación directa de los elementos. Se esta aplicando el procedimiento para efectuar modelos constructivos, con agrupaciones de paneles de muro y losas, además de elementos adicionales. Con el fin de elaborar diseños que aseguren una utilización del sistema industrializado con variedad de disposiciones arquitectónicas.

## 3. Automatización de Montaje Flexible

La producción industrializada de edificaciones permite realizar muchas unidades en breves plazos, pero de características similares, efectuando construcciones sencillas y monótonas. Los sistemas de manufactura flexible (SFM), basado en equipos roboticos, cintas de transporte y una gestión centralizada permiten realizar productos masivos con variaciones particulares. Estos sistemas están siendo aplicados en industrias automotrices o de electrodomésticos, pero escasamente en elementos constructivos. Por esta razón se experimenta una celda de manufactura flexible, asociada a cortadoras laser, con el fin de promover variaciones de diseño para una industria nacional que produce industrialmente pabellones residenciales para todo el continente.

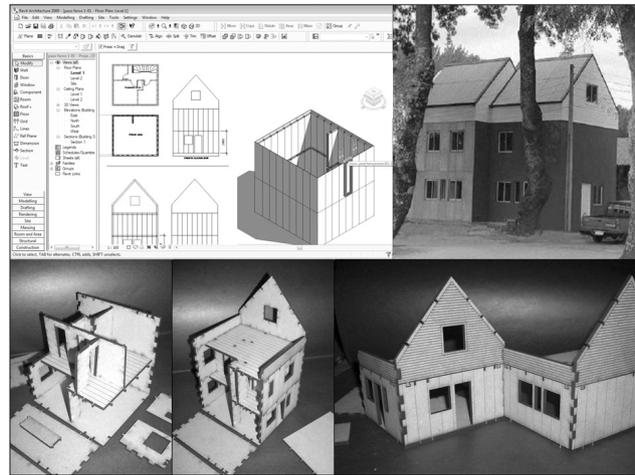


Figura 2. Modelación y Corte de Viviendas en Ferrocemento.

Para esto se definieron los componentes principales (muros, pisos, techos) dentro de una estructura general que permitiera una variedad de recintos y pudiera ser montado por brazos roboticos. Considerando además que los componentes pudieran tener diversas composiciones de vanos o terminaciones. Desarrollando los componentes en cortadora laser y utilizando un programa de gestión central que reciba las distintas ordenes de diseño y pueda ejecutar la selección de componentes almacenados y luego efectuar el montaje correspondiente con diversos brazos roboticos en la cinta de producción.

Esta implementación permite mantener vastas producciones, con diseños diferentes y ejecutándolas en breves plazos de construcción. Considerando soluciones arquitectónicas variadas, pero dentro de ciertas condiciones formales y constructivas, lo que requiere definir una gramática espacial y de especificación técnica.

## 4. Desarrollo de Paramento Flexible.

Las tecnologías de fabricación digital permiten también concebir nuevos productos, en que las posibilidades de diseño y manufactura generan alternativas constructivas. Para ejemplificar esta potencialidad se explora la ejecución de un paramento basado en placas de madera reconstituida dentro del area máxima de trabajo de una cortadora laser. Utilizando un material de bajo costo y buenas condiciones estructurales y aislantes, cuya composición permite tener ordenaciones variadas auto-soportantes. Destinada tanto a divisiones internas decorativas o funcionales, como también para cubiertas o fachadas ventiladas (considerando revestimientos o variedades de material durable a la intemperie).

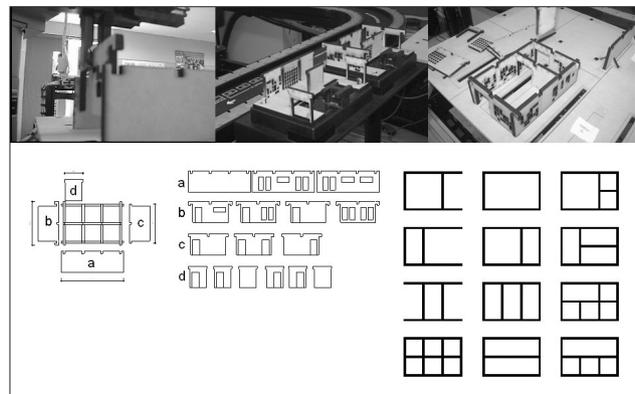


Figura 3. Sistema automatizado de paneles.

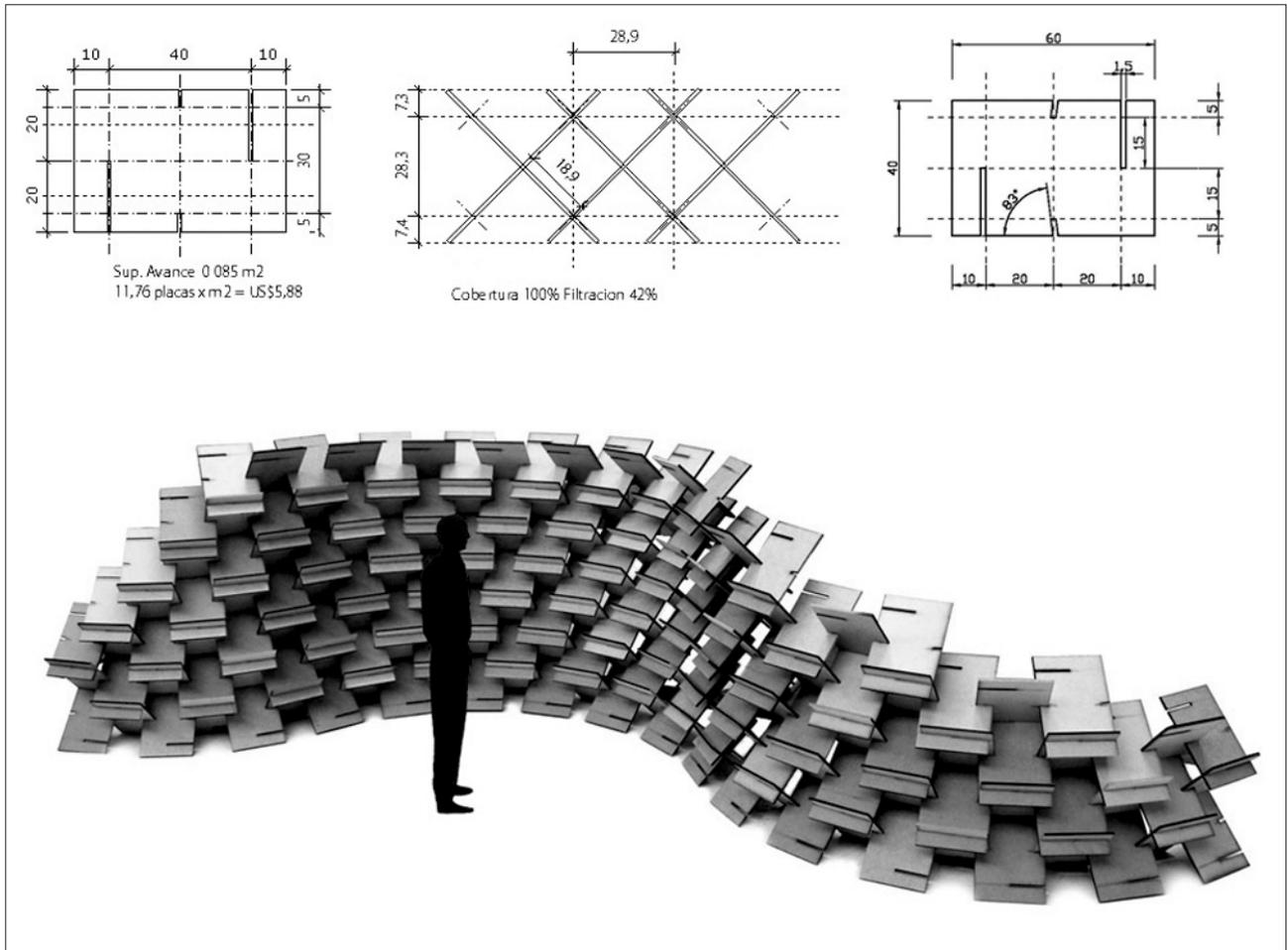


Figura 4. Diseño de piezas y modelo de paramento.

Las placas pueden establecer ensambles de conexión que aseguran las capacidades soportantes y regulan las capacidades de ventilación, transparencia y terminaciones del paramento. A la vez, pequeñas variaciones de orientación o distanciamientos de las conexiones permiten rotaciones generales para desarrollar diversas ordenaciones. Considerando también un sistema de montaje rápido reutilizable. Desarrollando de este modo sistemas constructivos cada vez más intensivos en diseño y ejecución automatizada, con menor trabajo en terreno, precisión y variedad.

## Conclusiones

Estos procedimientos demuestran la combinación de tecnologías de diseño y manufactura digital para el desarrollo del proyecto y gestión de la construcción. Revelando un traslado de las tareas de diseño, normalmente concentradas en las fases iniciales del proceso, hacia la ejecución de los componentes para obtener nuevas posibilidades arquitectónicas y una edificación más eficiente.

## Agradecimientos

El desarrollo de estas actividades forma parte de la investigación FONDECYT 1080328 y han contado con la colaboración de Jorge Delgado, Gonzalo Iturra, Gerth Wandersleben, Eric Avendaño, Carolina Salinas, Claudio Aravena, Mario Ramos, Susana Carrasco, Oscar Otarola y Underlea Bruscatto.

## References

- Gramazio F. y Kohler M.: 2008, Digital Materiality in Architecture, Muller Publishers, Baden Switzerland.
- Soto R.: 2002, Desarrollo de un sistema constructivo para edificar viviendas en ferrocemento, U. del Bio-Bio y Cementos Bio-Bio.
- Stacey, M.: 2004, Digital Fabricators, University of Waterloo School of Architecture Press, Canada.