



ARQ

ISSN: 0716-0852

revista.arq@gmail.com

Pontificia Universidad Católica de Chile  
Chile

Ojeda, Juan Eduardo; Labarca, Claudio  
Proyecto de título: Arquitectura para armar  
ARQ, núm. 82, 2012, pp. 24-29  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37525388004>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# PROYECTO DE TÍTULO: ARQUITECTURA PARA ARMAR

Juan Eduardo Ojeda

Profesor, Pontificia Universidad Católica de Chile

Claudio Labarca

Profesor, Pontificia Universidad Católica de Chile

Esta es una exploración en torno a cómo los procesos de modelación y producción digital de componentes constructivos pueden generar una "línea de producción arquitectónica" que es, al mismo tiempo, personalizada y masiva.

Palabras clave: Prefabricación, arquitectura en madera, fabricación digital, autoconstrucción, CAD/CAM.

This is a research on digital design and manufacturing of building components, leading to an "architectural production line" that is both personalized and mass-oriented.

Keywords: Prefabrication, wooden architecture, digital manufacturing, self-build, CAD/CAM.

**L**a manufactura que se relaciona de forma directa con la arquitectura es la que se encarga de procesar materiales de construcción o "manufactura secundaria" (Groover, 1997) y desarrollar partes y componentes o "manufactura terciaria" (Groover, 1997). Estos procesos fueron los que vivieron un gran avance con la división del trabajo, principio atribuido a Adam Smith y la Revolución Industrial<sup>1</sup> durante los siglos XVIII y XIX. Luego, los avances en la manufactura de partes intercambiables<sup>2</sup> permitieron el desarrollo de partes fabricadas en serie, ensamblables unas con otras para formar un total en un sistema y aplicables a la manufactura de automóviles, muebles, e incluso viviendas. Ejemplo de cómo estos avances señalan el momento en que la industrialización comenzó a penetrar en la edificación es la masificación de sistemas de construcción como el *ballon frame* y los paneles contrachapados de madera, acusada en la revista *Zig-Zag* del 10 de octubre de 1943 (Mondragón, 2010). Estos sistemas, mediante la proliferación de las escuadrías y formatos, permitieron masificar una cultura constructiva basada en la estandarización de partes iguales unidas mediante sistemas de ensamblaje mecánicos como clavos y tornillos (fig. 1, 2).

Los muebles son un notable ejemplo de la empleabilidad de los sistemas de manufactura continua, que permitieron generar series de partes que se embalaban desarmadas para ensamblarse en el lugar de destino mediante sencillos sistemas de unión, como encajes y tornillos; esto dio lugar a la venta por catálogo de paquetes de piezas y listados con instrucciones paso a paso. Las viviendas también fueron parte de esta masificación de soluciones estandarizadas; personas comunes y corrientes, con herramientas tradicionales, pudieron construir pequeños edificios siguiendo instrucciones de armado gracias a la tecnología de estos sistemas de fabricación y armado. Contenidos de este tipo se convirtieron en la parte modular de revistas de circulación masiva, dedicadas a difundir el avance tecnológico a las manos de todos (fig. 3).

Esa relación entre avance tecnológico y soluciones masivas de construcción, que permitió experiencias *do it yourself*, se puso a prueba en la tesis proyectual ARQUITECTURA PARA ARMAR<sup>3</sup>, a partir de la siguiente hipótesis:

En primer lugar, los avances contemporáneos en tecnologías de diseño y manufactura Computer Aided Design CAD / Computer Aided Manufacturing CAM debieran tener una repercusión en los procesos de diseño y construcción, a través de los cuales se materializa una obra de arquitectura que refleja los adelantos de su época. Lo anterior en relación a que el diseño asistido por computador en tres dimensiones hoy nos permite representar elementos y sus relaciones

espaciales de modo tal de poder diseñar procesos constructivos.

La segunda hipótesis es que las tecnologías CAD / CAM presentan de forma inherente la transmisión de procesos de manufactura. La fabricación digital exige el diseño de partes identificables para un posterior ensamblaje, similar a las instrucciones de los muebles hágalo usted mismo. El diseño arquitectónico para la manufactura integra el diseño de procesos constructivos y tiene como resultado la representación de la fabricación y el ensamblaje de partes.

Lo anterior dio pie a otras hipótesis específicas, que señalan que el diseño arquitectónico que incorpora el diseño de procesos acorta la relación entre el diseño de la arquitectura y su manufactura, evita conflictos de interpretación de información y posibilita ejecuciones a través de la auto-construcción.

## DISEÑO DE PROCESOS A PARTIR DE LAS CAPACIDADES DE LA INDUSTRIA LOCAL

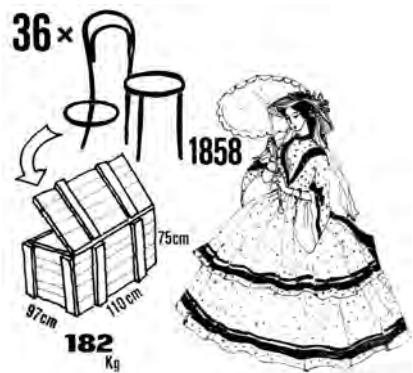
En Chile, las industrias de manufactura automatizada o con tecnología CAD / CAM que se puede tomar como referencia son las industrias del sector metalúrgico y metalmecánico<sup>4</sup>, que apuntan principalmente al abastecimiento de materias primas y soluciones al sector minero y pesquero, y en una menor medida a los sectores de infraestructura. Estas industrias están basadas en la fabricación continua de productos, lo que les permite obtener valores competitivos en sus respectivos mercados. Sin embargo, para que la arquitectura se desarrolle con esta tecnología de manufactura habría que competir con opciones tradicionales de construcción, que hoy son más asequibles que la producción en serie ya que trabajan con

<sup>1</sup> La Revolución Industrial marcó el cambio de una economía agrícola y artesana a una basada en la industria y la manufactura gracias a la invención de la máquina de vapor de Watt, el desarrollo de máquinas herramienta que se inició con la máquina de taladrar de John Wilkinson alrededor de 1775, la invención de la máquina de hilar, el telar a motor, y el sistema de fabricación basado en la división del trabajo. (Groover, 1997).

<sup>2</sup> En 1797, en Estados Unidos, Eli Whitney consigue fabricar 10.000 mosquetes para el gobierno de Estados Unidos mediante la fabricación de componentes de forma separada las que luego se ensamblaban sin necesidad de ajustes. (Groover, 1997).

<sup>3</sup> Este artículo es producto de la tesis desarrollada por el autor para optar al Título de Arquitecto y al grado de Magíster en Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Chile. La tesis, guiada por el profesor guía Claudio Labarca, fue defendida ante la comisión presidida por Juan Ignacio Baixas y los arquitectos Pedro Alonso y Arturo Lyon en el mes de noviembre del año 2011.

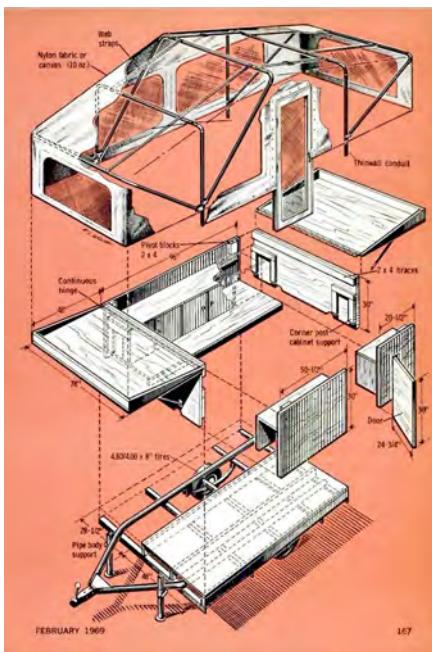
<sup>4</sup> El sector metalúrgico y metalmecánico abarca un conjunto de actividades y procesos productivos dentro de la industria manufacturera. Según la clasificación económica sectorial usada en Chile, basada en la clasificación internacional CIU Rev.2, el sector metalúrgico y metalmecánico incluye tradicionalmente a la industria básica del hierro y el acero, la industria básica de metales no ferrosos, la fabricación de productos metálicos, la fabricación de maquinaria y equipo no eléctrico, la fabricación de maquinaria y equipo eléctrico, la fabricación de equipo de transporte y, finalmente, la fabricación de equipo profesional y científico (AA.VV., 2004).



1. Sillas Thonet. La gran época de Michael Thonet, 1840 - 1870: Su historia y su obra. Fuente: *Muebles Thonet: Historia de los muebles de madera curvada*, Editorial Gustavo Gili.



2. Despiece de la silla 214 de Michael Thonet, la que se basa en la utilización de madera doblada con vapor y moldes metálicos. Fuente: Monografía de la silla 214 -<http://www.thonet.de>



sentación y transmisión de operaciones de manufactura se puso a prueba desde la pequeña escala, buscando hacer real el concepto *hágalo usted mismo* aplicado a una escala arquitectónica.

El proyecto consistió en el diseño de pequeños espacios habitables capaces de ser construidos con placas de madera aglomerada o contrachapada (fig. 6). El proyecto, desarrollado en clave de mobiliario, se pensó desde las posibilidades de producción masiva que existen en algunas fábricas de muebles nacionales.<sup>5</sup>

El ejercicio consistió en tomar las dimensiones de las placas de madera estándar (1220 x 2440 mm) y las medidas que surgen en función de tres posiciones del cuerpo (estar de pie, sentado y acostado). El espacio entre envolvente interior y exterior permitió generar la estructura, compuesta a partir de una grilla ortogonal de costillas o cuadernas. Estas costillas, al ser traspasadas a planos de fabricación, debían ser reducidas en secciones más pequeñas de modo tal de poder ser cortadas en placas de madera. El paso siguiente fue la fabricación de un prototipo en cartón a escala 1: 10, cortado con láser, en el cual se pudo verificar el funcionamiento de uniones y ensambles junto con la identificación de las partes. El prototipo 1: 10 permitió destacar que los procesos de fabricación y el material necesario para la transmisión de información desde el CAD a CAM son exactamente los mismos que se utilizarían en el prototipo a tamaño natural, puesto que aunque cambian los formatos de las máquinas y del material, la tecnología y la lógica de la máquina ejecutora se mantiene: se transmite una ruta y una velocidad de avance a un cabezal, el que en un caso guía un láser y en el otro, una fresa (fig. 7).

De este modo se generó una familia de refugios temporales con capacidad de albergar a dos personas recostadas, que permitió analizar las posibilidades del sistema constructivo y el proceso de diseño frente a modificaciones morfológicas del proyecto. El diseño digital se realizó mediante el uso del software Rhinoceros 4.0 y el desarrollo de una definición de Grasshopper que entrega una serie de costillas en dos sentidos al seccionar un sólido previamente modelado. La primera definición utilizada dio como resultado secciones que se obtienen al intersectar planos perpendiculares a un sólido, que en este caso es el modelo del refugio. Esta descripción subdivide el sólido en partes iguales, lo que no permite determinar un distanciamiento entre costillas de acuerdo a una medida específica. En estos ejercicios de diseño se determinaron costillas en una relación de 4 x 5, con un espesor de 45 mm, y se analizaron los cambios que se obtienen al rotar el sólido con respecto al plano horizontal de trabajo, lo cual daba como resultado costillas horizontales (fig. 9).

Este proceso de diseño permitió realizar una revisión de acuerdo a la optimización que se obtenía de las placas, al agrupar en ellas las costillas para el corte y mejor aprovechamiento del material. Se estudiaron posibilidades en relación a la disposición de las cuadernas en el proceso de montaje, de modo tal que se facilitaba el proceso según la disposición de las cuadernas en el total. Se procedió también a quitar material de algunas cuadernas de modo tal de obtener piezas más livianas que facilitaran el transporte. Al momento de armar los prototipos, apareció la necesidad de diseñar la estructura de forma tal que fuera auto portante en la medida en que se armaba y, de esta forma, facilitar la ejecución del ensamble por solo dos personas (fig. 10).

<sup>5</sup> Ejemplo de esto es PLACACENTRO de MASISA que se ubica en la comuna de Quilicura de Santiago, en donde se realizan procesos de fabricación en serie en gran medida automatizados con máquinas CNC HOMAG, las que son programadas con el software de traspaso CAD / CAM woodWOP. La planta tiene una organización lineal de producción y se enfoca en la fabricación de partes y piezas a partir de la utilización de tableros de madera aglomerada y MDF para el desarrollo de partes y piezas de muebles de placa.



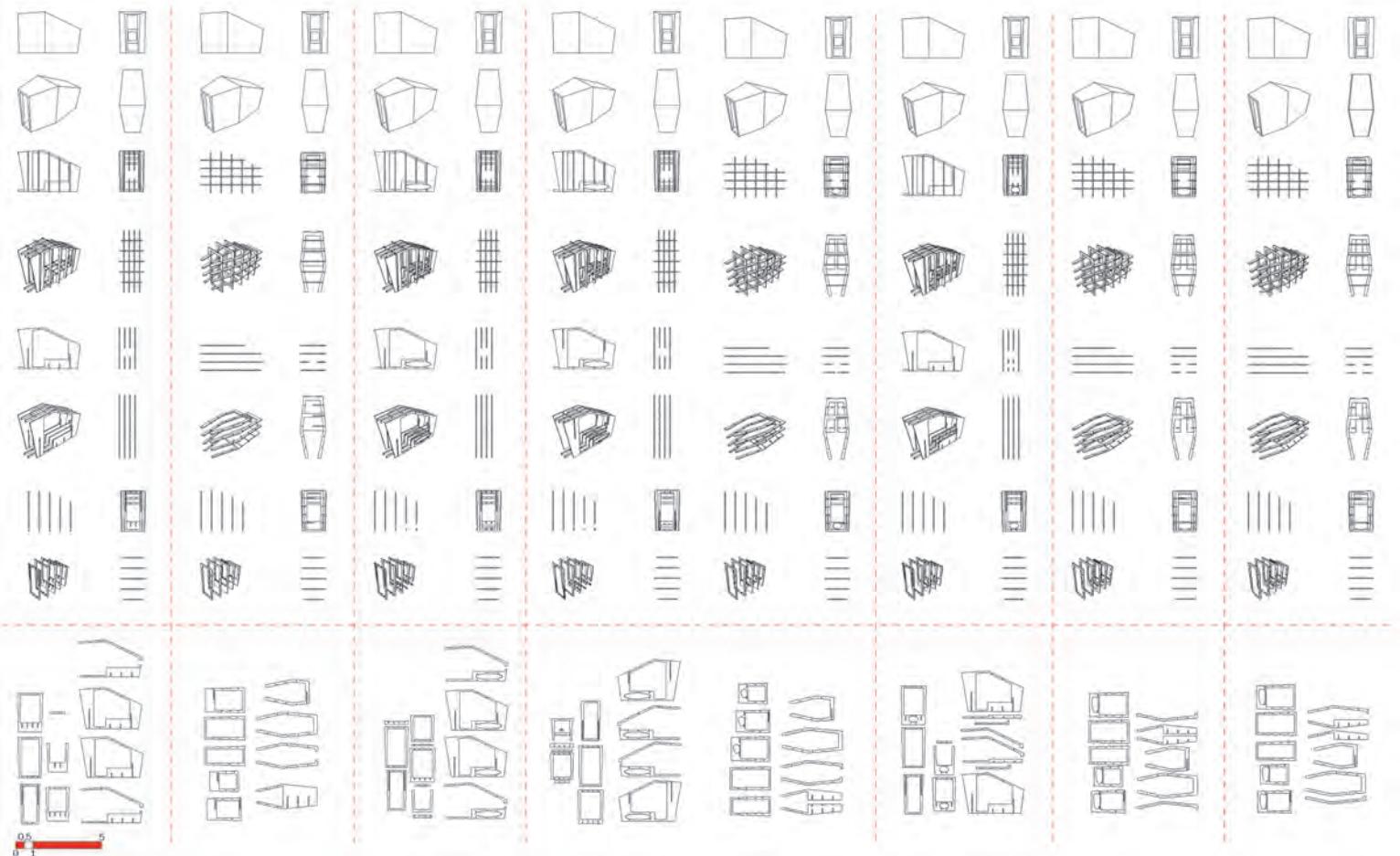
6. Modelos 3D realizados en Rhinoceros para la realización de los prototipos a escala 1:10. Fuente: archivo del autor.



7. Visualización del modelo digital de las partes del refugio, desarrollado en Rhinoceros.



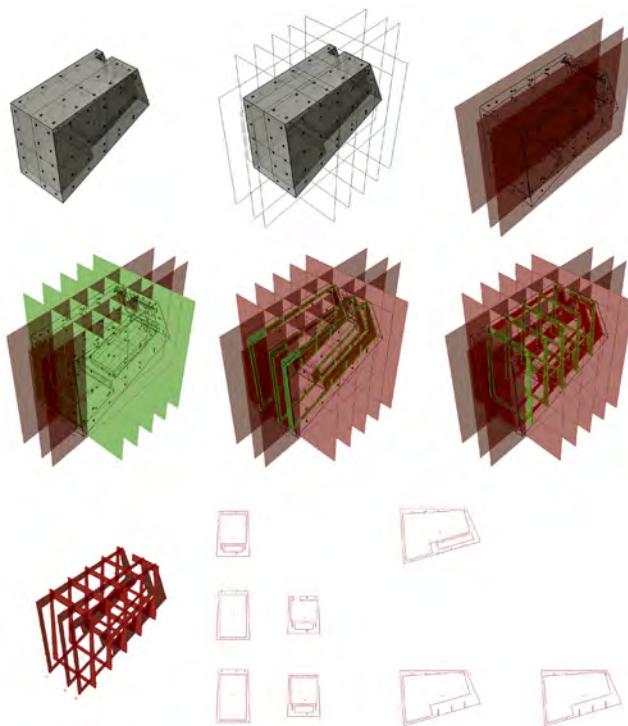
8. Maquetas en cartón 1:10. Con la realización de este prototipo 1:10 se detectaron fallas en el diseño en relación al proceso de armado.



9. Ejercicio desarrollado en Rhinoceros y Grasshopper para testear la distribución de las costillas estructurales.



10. Proceso de armado propuesto en el modelo digital.

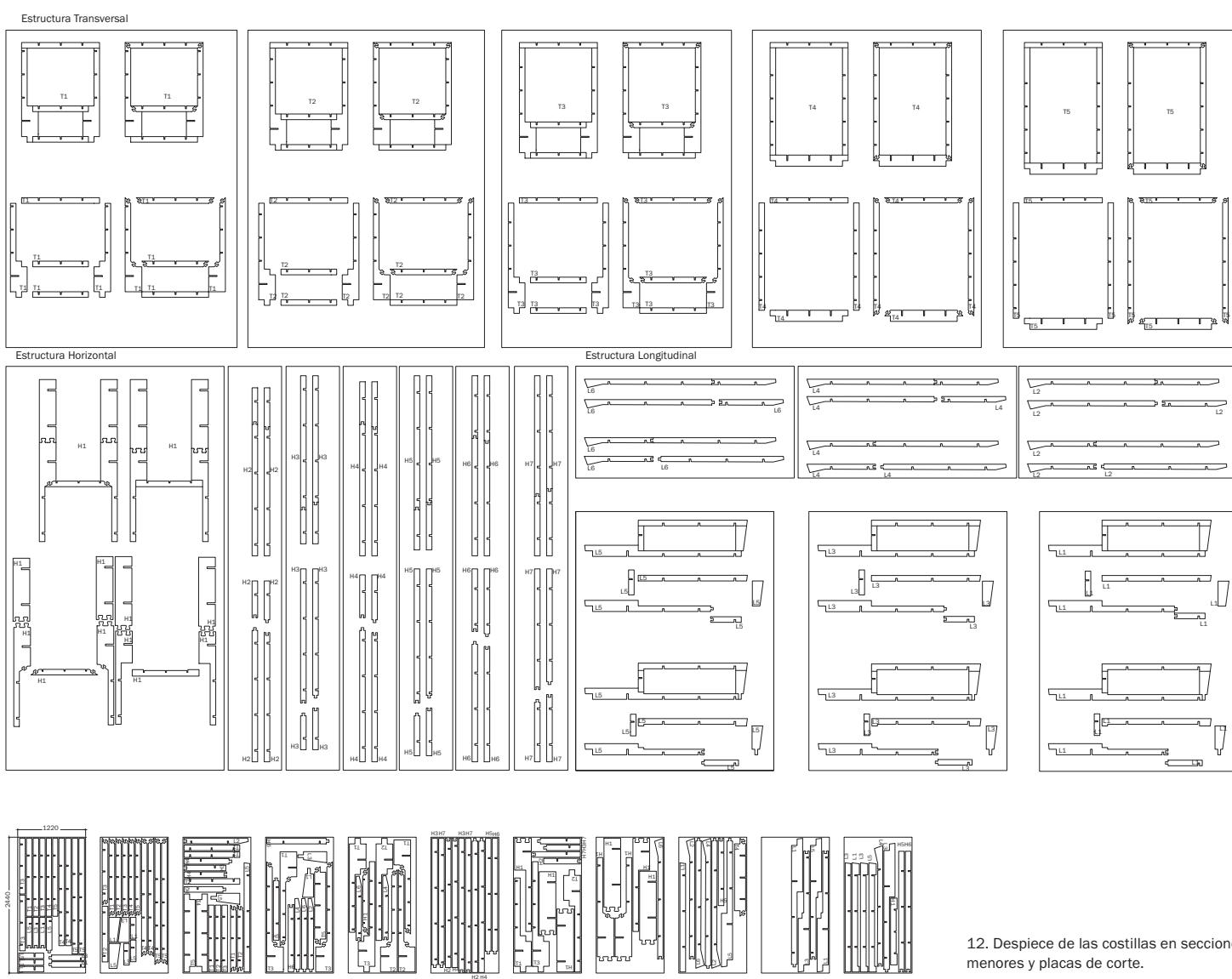


11. Proceso del desarrollo final realizado con la definición de despiece de Grasshopper para la obtención de las costillas estructurales.

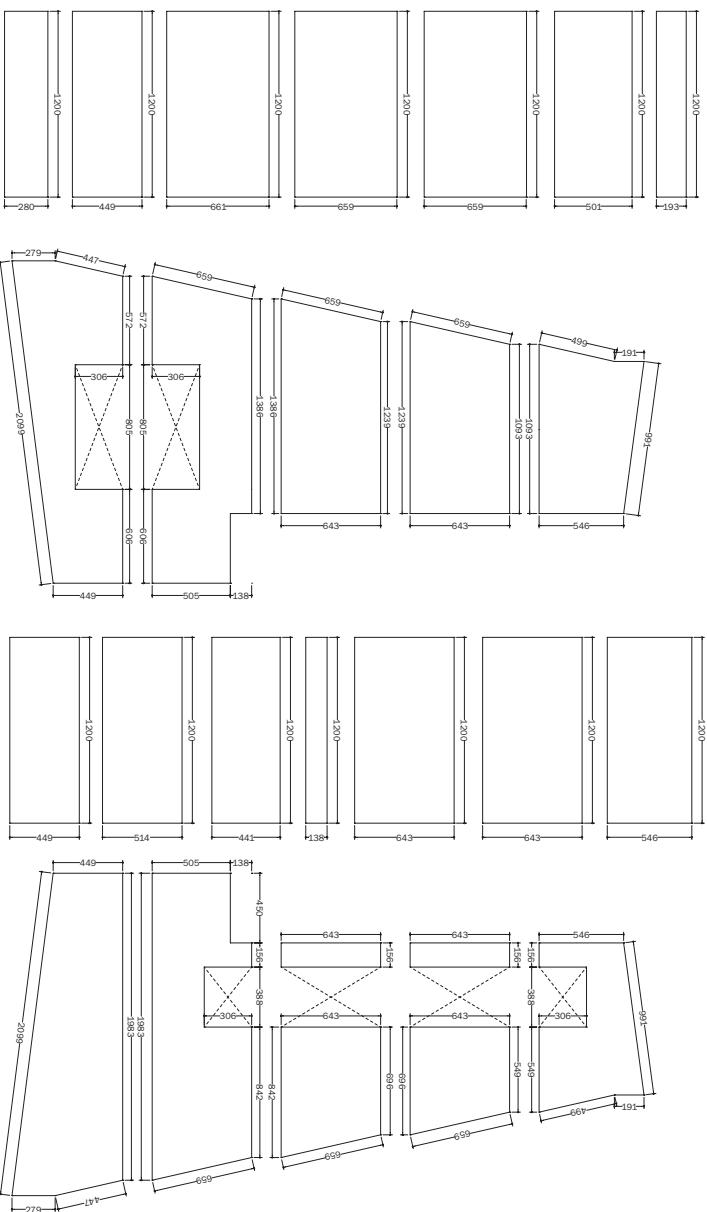
Después de realizar una segunda etapa de fabricación a escala, se ajustó nuevamente el proceso de diseño, que luego se desarrolló a escala 1: 1. A diferencia de la descripción anterior, se dibujó una grilla de planos ortogonales en tres dimensiones, lo que permitió obtener la intersección entre los planos y el sólido obtener siluetas de la estructura deseada a una distancia controlada; en este caso, se determinó a 600 mm. El segundo paso fue asignarle un espesor de 18 mm a estas costillas estructurales para luego generar las muescas de ensamblaje entre las costillas longitudinales y las transversales (muescas que son a media madera). El tercer paso fue la generación un código de identificación de cada parte de la estructura, a pesar que las piezas son únicas dentro del conjunto, lo que facilita una identificación formal además de la identificación por código. Finalmente, se realizó una re-orientación de las piezas a un plano horizontal en donde se obtuvieron las siluetas de corte para la manufactura en un *router* CNC o en una máquina de corte láser (fig. 11).



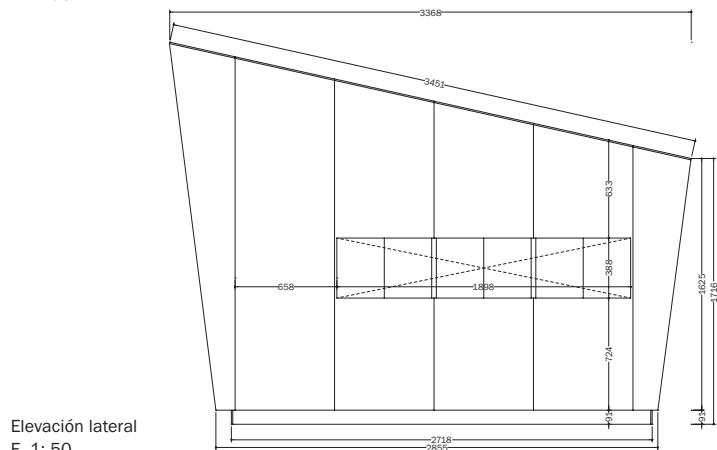
13. Proceso de fabricación del prototipo 1:1 en el Laboratorio FADEI-UC



12. Despiece de las costillas en secciones menores y placas de corte.



Despiece revestimiento interior, placas de 9 mm  
E. 1: 50



Elevación lateral  
E. 1: 50



16. Proceso de ensamblaje del prototípico 1: El revestimiento de este prototípico se realizó con planchas de policarbonato alveolar, lo que permitió exponer la estructura y el sistema de ensamblaje. El montaje fue realizado por dos personas con tan solo un mazo de goma para los ensamblajes de la estructura y tornillos soberbios para la unión del revestimiento interior y exterior, en un plazo de 8 horas aproximadamente. Con esta experiencia se confirmó la relación que existe entre la fabricación digital y el sistema *hágalo usted mismo*.

Tanto las costillas estructurales transversales como las longitudinales se diseñaron para formar una retícula estructural a partir de costillas de 18 mm de espesor, lo que se consigue al unir dos costillas de 9 mm cada una. Esto permitió que las costillas estén definidas por partes que están unidas mediante traslapas, obteniendo largos de hasta 3.400 mm en el prototipo desarrollado. Finalmente, se procedió a distribuir las piezas en 11 placas según un proceso de *nesting*, similar al utilizado en los centros de venta de madera dimensionada. Este proceso permite determinar también posibles sistemas de empaque y calcular el peso del prototipo (fig. 12, 13).

## CONCLUSIONES

Del trabajo proyectual realizado junto con la tesis, se desprende que la importancia del diseño de procesos para la manufactura radica en la capacidad de visualizar y poner a prueba un modelo de fabricación y montaje en una etapa de ensayo previa. Ella permite optimizar el diseño en función de la manufactura, considerando variables como la cantidad de material necesario para la construcción, la mayor o menor ligereza del paquete de envío y la maniobrabilidad de las partes.

Con la fabricación 1:1 se pone en evidencia que es posible llevar al ámbito de la arquitectura el desarrollo de elementos realizados en clave de mueble a partir de partes terminadas, utilizando los recursos disponibles en la industria nacional y potenciando sus posibilidades de producción.

En relación al material gráfico y de representación, es relevante mencionar la diferenciación que existe entre la forma tradicional de transmitir proyectos de arquitectura y el diseño de procesos para la manufactura. El segundo caso necesita documentos de una lógica similar a la de la fabricación, y compatibles con ella, a diferencia de los planos tradicionales de arquitectura que no contienen de forma explícita la información de procesos constructivos.

A partir de los ejercicios realizados, se vislumbra que la correlación que existe entre diseño arquitectónico y diseño de procesos permite, a través de formatos de representación y herramientas gráficas, transmitir información relativa al total por sobre la de las partes, posibilitando la comprensión de procesos de fabricación a partir de un golpe de vista y en simultáneo (fig. 16). **ARQ**

**Juan Eduardo Ojeda |** Arquitecto y Magíster en Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2011. A partir de 2007 colabora en distintas oficinas de arquitectura en Chile y desde 2008 participa como productor editorial del *Anuario de la Escuela de Arquitectura UC*. En 2012 participa como arquitecto junior del Campus Ultzama Internacional 2012, organizado por la Fundación Arquitectura y Sociedad en Pamplona. Actualmente es profesor Asistente Adjunto del área Materialidad y Sistemas de la Escuela de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Chile y es parte del equipo docente del Diplomado en Modelación y Desarrollo de Proyectos BIM.

**Claudio Labarca** | Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1995 y Máster en Arquitectura, University of California at Los Angeles, 1998. Su trabajo académico y profesional se ha centrado en el desarrollo e integración de tecnologías digitales a los procesos de diseño, simulación y construcción. Actualmente es profesor asistente adjunto y coordinador académico del Diplomado en Modelación y Desarrollo de Proyectos BIM de la Escuela de Arquitectura UC.

## Bibliografía

- AA.VV. *Evolución del sector Metalúrgico – Metalmecánico. Análisis del sector metalúrgico metal-mecánico*. Departamento de estudios ASIMET A.G., Santiago, octubre de 2004.

BERGDOLL, Barry y Peter CHRISTENSEN; BROADHURST, Ron (ed.). *Home delivery: fabricating the modern dwelling..* Museum of Modern Art, Nueva York, 2008.

CANDILIS, Georges. *Muebles Thonet: Historia de los muebles de madera curvada*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1981.

COLOMINA, Beatriz; BRENNAN, Ann Marie y Jeannie KIM. *Cold War Hothouses: Inventing postwar culture, from cockpit to playboy*. Princeton Architectural Press, Nueva York, 2004.

GOLDSTEIN, Carolyn M. *Do It Yourself. Home Improvement in 20th-Century America*. Princeton Architectural Press, Nueva York, 1998.

GROVER, Mikell P. *Fundamentos de Manufactura Moderna: materiales, procesos y sistemas*. Prentice-Hall Hispanoamericana, México, 1997.

MONDRAGÓN, Hugo. *El discurso de la Arquitectura Moderna. Chile 1930- 1950. Una construcción desde las publicaciones periódicas*. Tesis para postular al grado de Doctor en Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 2010.