



Transferencia de tecnología para la producción de componentes constructivos de viviendas chilenas

*ESPACIO DESTINADO A LOS NOMBRES Y AFILIACION DE LOS AUTORES
LOS NOMBRES SE HAN OMITIDO INTENCIONALMENTE PARA LA REVISION*

Resumen. El presente artículo se posiciona en la brecha existente entre una múltiple proliferación de métodos de diseño asistido por computador, y una prácticamente nula innovación en los procesos constructivos que los materializan. Se desarrolla una estrategia sistemática para la adopción de tecnologías maduras en la construcción de viviendas chilenas, usando un conjunto heterogéneo de actividades productivas para apoyar procesos de construcción, ampliación o acondicionamiento de éstas.

El modelo propuesto se aplica sobre 2 casos de estudio, y ha sido formulado de acuerdo a los métodos de diseño de prototipos y método de desarrollo de sistemas basado en su ciclo de vida. Finalmente, mediante el uso de un lenguaje de programación visual, el modelo es aplicado en la formulación de un problema de diseño de un componente constructivo personalizable. La propuesta incluye una interfaz computador-usuario experimental, en donde cada cliente configura el componente constructivo según sus propios requerimientos.

Tentativamente, el primer campo de aplicación es la vivienda masiva, el cual mediante el uso de métodos de planificación participativa intenta elevar el nivel de personalización del usuario en el producto-vivienda. Un caso ejemplar de ello es el programa de vivienda social chileno “Fondo Solidario de Vivienda I”.

Palabras Claves. Fabricación de componentes constructivos, Método de desarrollo de prototipos, Personalización masiva de productos, Planificación participativa de viviendas.

I. INTRODUCCIÓN

El arquitecto moderno Walter Gropius [1] estimó en 25 años el lapso de tiempo que tardan en masificarse los avances

tecnológicos en el rubro de la construcción. Actualmente este lapso se estima en 17 años [2], a pesar del desarrollo exponencial de nuevas tecnologías y materiales. Un teléfono móvil posee un mayor avance tecnológico que cualquier vivienda nueva y no sólo en sus componentes físicos, sino que también en sus procesos de diseño, armado y distribución – componentes lógicos-. Un caso chileno que ilustra este déficit es la cantidad de proyectos presentados en la página de “innovación tecnológica” del sitio del programa de vivienda social “Fondo Solidario de Vivienda”: 0 [3].

Según la cantidad de viviendas subsidiadas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo [4] y las estimaciones del Colegio de Ingenieros de Chile [5], la demanda en Chile para el año 2010 será de 900.000 unidades en caso de mantenerse los procesos constructivos y de gestión actuales. Para suplir una creciente demanda de vivienda, países desarrollados han optado por la producción industrializada: el 90% de las viviendas escandinavas son producidas en una fábrica [6], y en Japón la compañía TOYOTA® mediante su división Toyota Housing Corp.®, produce componentes de viviendas en líneas de montaje automatizadas.

La automatización de procesos productivos bajo un modelo de personalización masiva se ha implementado con éxito en productos de pequeño formato. Éste consiste en la producción industrializada de un producto genérico el cual varía según los requerimientos particulares de cada cliente. Ejemplos de ello: Levi's® jeans, Nike®, Adidas®, o Toyota®. En el caso particular de Toyota, si una persona encarga un automóvil

personalizado en Japón, tarda una semana en manejarlo [6]. En muchos casos, se han debido importar tecnologías desde rubros ajenos al proceso productivo tradicional para implementar una personalización masiva de productos. Una transferencia de tecnología culmina exitosamente cuando la nueva tecnología se utiliza de forma rutinaria para realizar actividades propias del rubro receptor. En este caso, la “unidad receptora” está conformada por un conjunto de empresas que producen elementos constructivos para viviendas de bajo costo.

A. La vivienda como caso de estudio

La baja innovación técnica en la construcción de viviendas impide una optimización de su proceso constructivo. Generalmente el uso de tecnología se asocia a edificios únicos y de alto costo, así como el rol del arquitecto se asocia a obras particulares y exclusivas. A pesar de ello, a causa del desarrollo tecnológico en los rubros industriales, los clientes exigen cada vez más y mejores productos, y a un costo menor [7].

La vivienda es el producto arquitectónico por excelencia. Su alta demanda y alcance socio-económico la hacen un caso apto para implementar procesos de planificación participativa junto al usuario final. Dado que cada usuario tiene requerimientos particulares, se crea un escenario óptimo para la personalización masiva de componentes constructivos industrializados, al integrar a la función del diseñador la programación de problemas de diseño de elementos configurables por el usuario.

Un problema de diseño puede ser completamente descrito por las restricciones de diseño que lo definen [8]. Literatura consultada afirma que cuando personas no-especialistas en diseño afrontan problemas, la única información confiable que administran, y la única con la que toman decisiones hasta ese momento, es la derivada de un conjunto de restricciones de diseño (costos, tiempos, marco normativo, entre otras) [9]. Por ello es útil proponer una clasificación de restricciones, y su implementación en un sistema de información (en este caso con la ayuda de un lenguaje de programación visual) evitando información redundante y colaborando en el proceso de toma de decisiones del usuario, evitando la interpretación subjetiva de información por parte del diseñador.

Según Niemeijer [10], es completamente factible la implementación de un modelo de productos personalizables en la industria de la construcción al no haber condiciones adversas para su desarrollo, pero éste debe cumplir con 2 requerimientos básicos: diseño de un sistema constructivo con elementos intercambiables y mantener la consistencia entre los elementos constructivos y el modelo diseñado.

El presente desarrollo propone la programación del problema de diseño de un componente constructivo personalizable para la ejecución de viviendas económicas chilenas, a partir de una búsqueda de los rubros manufactureros disponibles en el mercado nacional.

B. El escenario de la vivienda en Chile

Una de las principales aproximaciones a un modelo productivo de personalización masiva está dada por el diseño de familias de componentes y productos. Este modelo se puede definir como un modelo rutinario, que compone el espacio de soluciones como respuestas a requerimientos explícitos [11]. A pesar de su alta demanda, la vivienda no se ha consolidado en Chile como un producto industrializado debido a que la industrialización se asocia comúnmente a una pérdida de exclusividad del producto, el que tradicionalmente asigna una solución de diseño única para un conjunto variado de requerimientos.

Un análisis cuantitativo del mercado de la vivienda desde el año 2000 al presente refleja un aumento sostenido en la venta de unidades nuevas. Según Larrañaga [12], el 2004 se produjo un aumento del 12,5% con respecto al 2003, siendo el mayor crecimiento hasta la fecha luego del período de crisis económica asiática. Lo anterior, sin considerar las viviendas de interés social otorgadas por el Estado.

Hace 20 años, la segunda vivienda era un lujo al cual pocos podían acceder. Actualmente, la reactivación económica y bajas tasas de interés han establecido un crecimiento sostenido de este sector económico en los balnearios de la zona central chilena.

En cuanto a la vivienda de interés social, en los últimos 5 años ha habido un descenso continuo en el otorgamiento de subsidios en todos los programas del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), excepto el “Fondo Solidario de Vivienda I”, el cual ha absorbido este descenso manteniendo la cantidad de unidades otorgadas constante en el tiempo [4]. El Fondo Solidario de Vivienda I (FSVI) es un programa de ayuda social destinado a prestar soluciones habitacionales a familias en condiciones de pobreza o indigencia. En este programa, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo chileno participa mediante la asignación de subsidios para su financiamiento e inspección técnica de las obras. El monto máximo del subsidio es de aproximadamente USD\$14.300, para un máximo de 37,5 m² de vivienda construida. El año 2001 financió 2.225 viviendas nuevas, y mediante un sostenido crecimiento llegó a 33.611 viviendas el año 2005.

Los proyectos habitacionales que postulan a FSVI deben presentar dentro de sus antecedentes un Plan de Habilitación Social, el cual posee un potencial área de desarrollo de estrategias de diseño participativo, al requerir explícitamente [13] una integralidad en el método de trabajo, destinada a “articular un conjunto de acciones planificadas para las distintas etapas de intervención en el transcurso de la ejecución del proyecto, que dan respuesta de manera eficaz a la compleja gama de necesidades del grupo”. Hasta ahora se utilizan metodologías básicas para la recolección de requerimientos de las familias: focus groups, encuestas y juegos didácticos. Todos pasan por una interpretación subjetiva de los requerimientos del usuario por parte del proyectista, restándole rigurosidad al proceso de diseño (fig. 01).

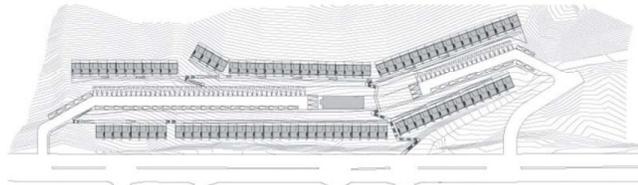


Figura 1. Superior. Ejercicio de participación del usuario a través de maquetas para el diseño del conjunto ELEMENTAL Antofagasta. Inferior. Planta resultante del conjunto; todas las viviendas son idénticas.

II. METODOLOGÍA

El sistema de información planteado tiene como finalidad la evaluación y ponderación de elementos constructivos para proponer una optimización de la construcción de la vivienda mediante una transferencia tecnológica. Para ello, se recurre a un método de descomposición, clasificación, evaluación y prototipado elaborado según 2 métodos de desarrollo de sistemas propuestos por Senn [14]: el método de desarrollo de sistemas por su ciclo de vida (SDLC) y el método de desarrollo de prototipos.

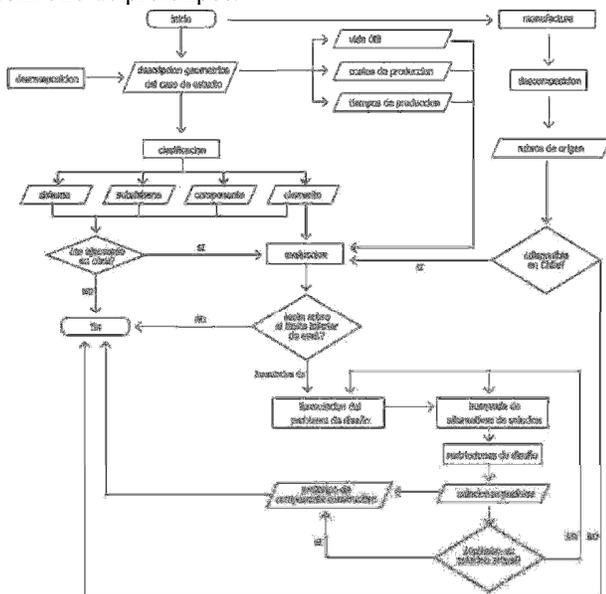


Figura 2. Mapa del desarrollo del sistema de información propuesto. Elaboración propia.

A. Descomposición, evaluación y resultados preliminares

Se evaluaron los elementos constructivos de 2 casos de estudio: una vivienda de alto estándar ubicada en la comuna de Peñalolén, Santiago, con un costo de construcción aproximado

de USD\$89.000, y una vivienda subsidiada por el Fondo Solidario de Vivienda ubicada en Alto Hospicio, Iquique, con un costo aproximado de construcción de USD12.750. La información recopilada de cada caso de estudio consta de su representación geométrica, su presupuesto de construcción y su carta Gantt. Cada caso de estudio se entiende como un sistema, con elementos que lo componen y relaciones entre ellos. Estas partes se clasificaron en Subsistemas [15], Componentes constructivos y Elementos constructivos. El modelo de clasificación utilizado es el modelo GARM [16]: *General Architecture, Engineering and Construction Reference Model*. Los elementos constructivos fueron evaluados según criterios de costo de construcción, tiempo de ejecución y vida útil para determinar las mayores optimizaciones en caso de una transferencia tecnológica. Como herramienta de cálculo se realizó una planilla simple.

En paralelo al procedimiento anterior, se hizo un estudio de factibilidad de manufactura para componentes de vivienda, según los métodos de fabricación enumerados por Kolarevic [17] contrastados con el listado de actividades industriales realizadas en Chile publicados en el Directorio Nacional de la Industria. Los rubros que conforman el universo de búsqueda son los 171, 201, 252, 280, 290, 341 y 351 según el sistema de clasificación internacional de las Naciones Unidas [18]:

171	Hiladura, tejeduría y acabado de productos textiles
201	Aserrado y acepilladura de madera
252	Fabricación de productos de plástico
280	Servicio de fabricación de productos elaborados de metal
290	Servicio de fabricación de maquinarias y equipo
341	Fabricación de vehículos automotores
351	Construcción y reparación de buques y otras embarcaciones

Según la búsqueda efectuada en el índice de la Federación Gremial de la Industria (online, www.sofofa.cl), los métodos de fabricación más utilizados en el medio productivo chileno son: Contouring (fabricación bidimensional), Fabricación por capas sucesivas, sustracción superficial y procesos productivos por deformación del material. A su vez, los rubros en los cuales estos procesos se presentan con mayor frecuencia son: Aserrado y acepilladura de madera, Fabricación de productos de plástico y Fabricación de productos elaborados en metal.

B. Problema de diseño del componente constructivo

Con los resultados preliminares de la evaluación de las partes de la vivienda (fig. 03, izq), se busca diseñar un componente constructivo que agrupe la mayor cantidad de elementos factibles de ser manufacturados, con el fin de optimizar en cuanto a costos y tiempos de construcción el proceso constructivo de una vivienda económica. A partir del diagnóstico de patologías de viviendas básicas realizado por el MINVU se propone el diseño de un "pack" de instalaciones sanitarias. Según el estudio citado, a nivel nacional un 16,46% de las viviendas básicas presenta patologías en sus muros interiores y terminaciones, mientras que un 6,77% en su sistema de agua potable y gas. Estos porcentajes en la región

de Valparaíso aumentan a un 22,41% y 19,50% respectivamente. Una vez establecido el problema de diseño, se definen los componentes del “pack”, sus atributos y las relaciones topológicas entre ellos. Este tipo de relaciones definen la relación física de adyacencia de cada parte con respecto a otra. Son 8 distintas, y se listan en el protocolo

RCC8 Region Connection Calculus [19]. Este ejercicio permite determinar los requerimientos geométricos para cada una de las partes, lo que finalmente genera la estructura de datos cuantitativos del problema de diseño (fig. 3, der.).

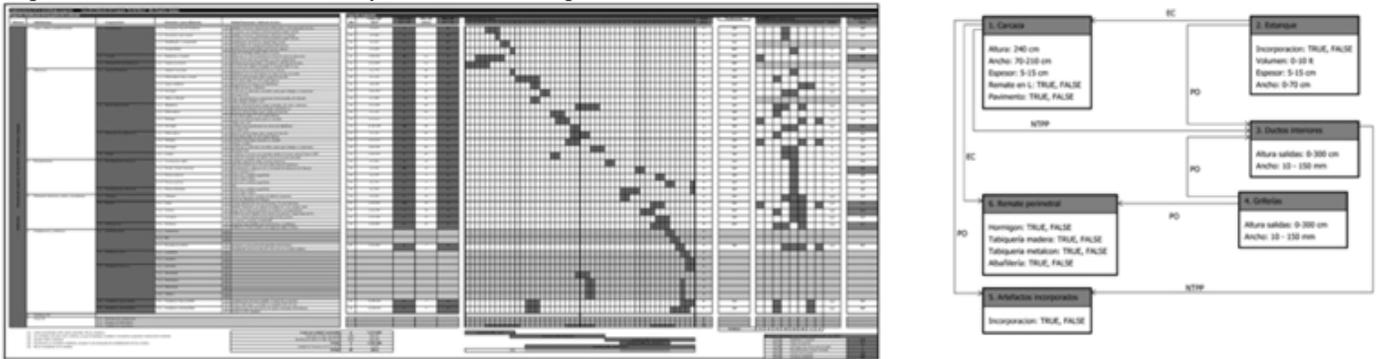


Figura 3. izq. Planilla de descomposición y evaluación para el caso 01. der.: diagrama de agrupamiento topológico entre los componentes del problema de diseño, según el protocolo RCC8.

Se trabajó con el rubro 252 [18] “Fabricación de productos en plástico”, dada la madurez que posee ese rubro en el mercado de obras hidráulicas en pequeña escala (ductos, estanques, fosas). El material utilizado es Polietileno de Alta Densidad (HDPE), y los procesos productivos utilizados son el rotomoldeado y el termoformado. A través de una comprensión cabal de los procesos productivos se logra un control preciso sobre las variables que intervienen en el diseño del prototipo. Mediante el rotomoldeado, el HDPE a alta temperatura se reparte uniformemente por la superficie de una matriz tridimensional, generando volúmenes huecos y estancos. Por otro lado, en el termoformado se generan

superficies a partir de la adhesión de una capa plástica sobre una matriz con la ayuda de calor y bombas de vacío.

Con la información recopilada, se programó la estructura de datos del problema de diseño. Este procedimiento consiste en explicitar las relaciones geométricas entre los componentes, estableciendo relaciones de dependencia a partir de una serie de variables cuantitativas (fig. 04). La estructura del problema incluye implícitamente todas las soluciones posibles, siempre y cuando se haya establecido un correcto diagnóstico de éste y una serie coherente de relaciones entre las partes.

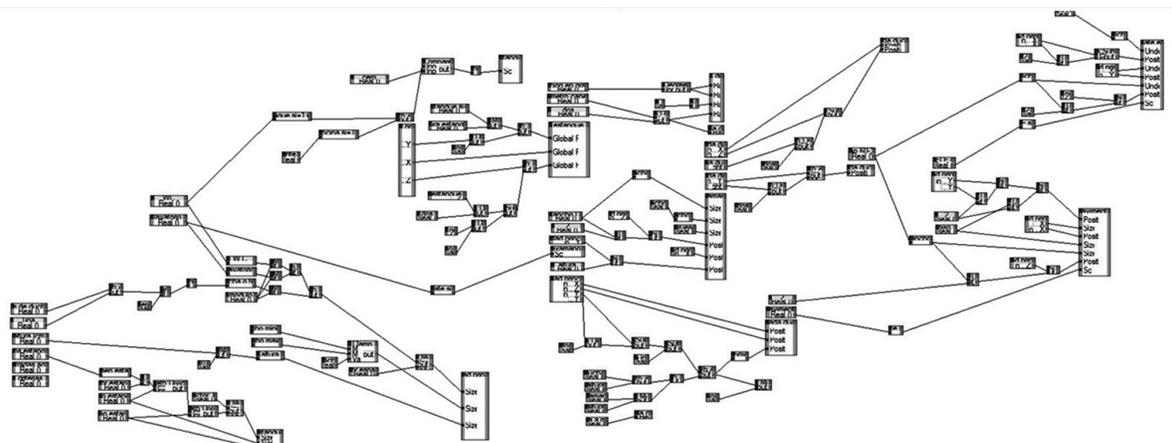


Figura 4. izq. Estructura de datos del problema de diseño. Elaboración propia.

C. Búsqueda de soluciones al problema de diseño

La estructura de datos se implementó en la interfaz de programación visual (VPL, Visual Programming Language) Xpresso® del software Cinema4D de MAXON®. Mediante el cambio de variables del diseño, se exploraron diversas alternativas de solución para el problema expuesto.

Finalmente, mediante un árbol de decisiones que incluye o excluye componentes del diseño, se explicitaron alternativas de solución para ambos procesos productivos. En total, se exponen 8 alternativas termoformadas, y 16 alternativas rotomoldeadas (fig. 05):

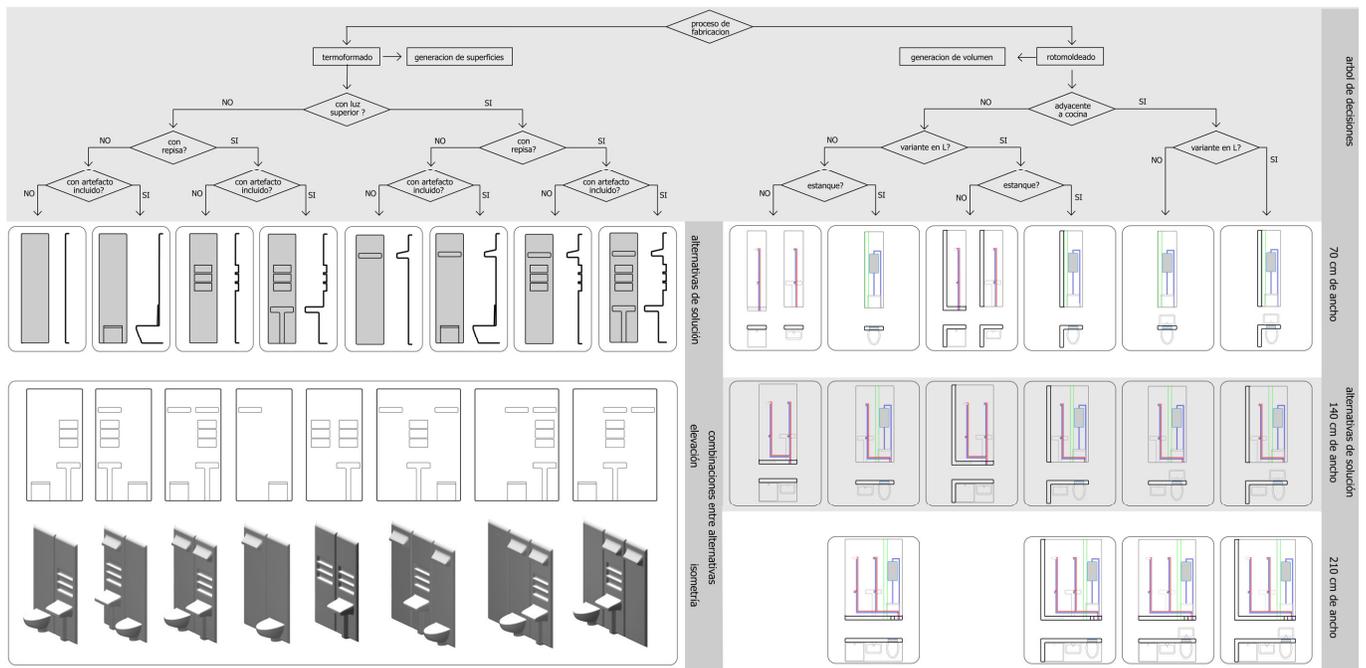


Figura 5. Arbol de decisiones de diseño y alternativas de solución para el problema planteado. Cada alternativa responde a decisiones particulares, manteniendo el proceso de manufactura. Elaboración propia.

III. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El desarrollo de la investigación implementa una metodología propuesta para el desarrollo de componentes personalizados para viviendas en el mercado chileno. Este proceso se lleva a cabo gracias a una transferencia de tecnología desde el rubro de la manufactura de productos hacia el rubro de la construcción.

El principal impacto esperado es la diversificación de alternativas de componentes para la planificación participativa de viviendas, las que pueden ser aplicadas en la ejecución de viviendas sociales, viviendas nuevas o venta de departamentos “en verde” (venta previa al término de la obra, en la que el cliente puede realizar cambios al diseño original). Si bien aún no existe una restricción normativa que favorezca la planificación participativa en estos dos últimos casos, el aumento sostenido de la demanda lo convierte en un potencial campo de aplicación.

La investigación posiciona al arquitecto como un controlador de la obra, no sólo al nivel de inspección técnica, sino que también con un conocimiento riguroso de los componentes lógicos: proceso de diseño, procesos productivos y procesos logísticos de transporte y montaje de elementos. Queda en evidencia la relación inequívoca entre los procesos de diseño y los procesos cognitivos de solución de problemas, enfrentando el problema de diseño con una estrategia de solución, dividiéndolo en partes y estableciendo las relaciones entre ellas para formular soluciones satisfactorias. Cabe mencionar que el método utilizado es una de muchas alternativas, como el diseño basado en componentes o el diseño basado en casos, estrategia ampliamente utilizada en ejercicios académicos de búsqueda de referentes y que ha sentado las bases para el desarrollo de tecnologías como la

inteligencia artificial. Se presenta un enfoque sistémico y verificable para el proceso de diseño, generando información transmisible, discutible y verificable.

En ningún caso se pretende revalidar la visión renacentista del arquitecto-constructor. Actualmente la complejidad del proceso constructivo de cualquier obra es tal que se torna inabordable por una persona. A partir de ello han surgido tecnologías asociadas al manejo de información que optimizan dichos procesos. A pesar de lo aparentemente simple del proceso constructivo de una vivienda, se ha dejado en evidencia su potencial para el desarrollo y experimentación de innovaciones tecnológicas, a través del mejoramiento de los métodos de producción de sus partes individuales.

Finalmente, se valida el modelo explorado llegando a un conjunto de soluciones satisfactorias al problema impuesto, dejando en claro que ellas responden a los requerimientos de la estructura de datos modelada. Si bien es un modelo simple, la adición de componentes y relaciones hacen crecer exponencialmente la complejidad del modelo y por ende, las variables que intervienen en el proceso de búsqueda de soluciones.

Como valor agregado, se propone un uso masivo de la tecnología a través de componentes constructivos en pequeña escala para un mercado masivo, desmintiendo el prejuicio de un uso de la tecnología asociado a altos costos y en edificios exclusivos.

RECONOCIMIENTOS

La presente investigación ha sido financiada por la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción a través de su programa de Becas para Tesis de Pregrado, y patrocinada por los Departamentos de Obras Civiles y Arquitectura de la Universidad Técnica

Federico Santa María. Se le agradece también al profesor Sr. Luis Felipe González Böhme el apoyo continuo brindado durante el desarrollo y publicación de la presente investigación.

REFERENCES

- [1] W. Gropius, *Scope of Total Architecture*, G. Allen & Unwin, **1956**.
- [2] K. Larson, *Architecture+ Urbanism: A+ U* **2000**.
- [3] MINVU, www.fsv.cl, Santiago de Chile **2007**.
- [4] MINVU, Estadísticas. **2007**.
- [5] CICH, *Plan Estratégico País 2004-2010*, Colegio de Ingenieros de Chile **2004**.
- [6] S. Kieran, J. Timberlake, *Refabricating ARCHITECTURE: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction*, McGraw-Hill Professional, **2004**.
- [7] C. Berger, F. Piller, in *IEE Manufacturing Engineering*, **2003**, 42.
- [8] M. Gross, in *Department of Architecture*, Vol. Doctor of Philosophy in Design Theory and Methods, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts **1978**, 163.
- [9] D. Donath, L. F. González, *International Journal of Architectural Computing* **2008**, 6, 97.
- [10] R. A. Niemeijer, "A feasibility study for a mass-customization system", presented at *Proceedings Workshop on Design for Variety in Construction (por publicar)*, **2007**.
- [11] J. S. Gero, *AI Magazine* **1990**, 11, 26.
- [12] J. Larrañaga, (Ed: O. c. d. l. e. v. e. Chile), **2004**, 42.
- [13] Chile, Vol. D.S. 174 (Ed: M. d. V. y. Urbanismo), Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago de Chile **2005**, 58.
- [14] J. A. Senn, Analisis y Diseño de sistemas de informacion. *McGraw Hill* **1992**.
- [15] S. Brand, *How buildings learn: what happens after they're built*, Penguin Books, **1995**.
- [16] W. Gielingh, *ISO, Delft, Netherlands, ISO TC184/SC4 Document* **1987**, 2.3.
- [17] B. Kolarevic, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, Spon Pr, **2003**.
- [18] U.N., Statistics Division, **2007**.
- [19] D. A. Randell, Z. Cui, A. Cohn, *KR'92. Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Third International Conference* **1992**, 165.