

Uso de sistemas robóticos en la producción de componentes constructivos con complejidad geométrica

Use of robotic systems in the production of geometrically complex building components.

Mauricio Loyola Vergara

Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Chile
mloyola@uchile.cl

Jeremy Keagy

Harvard School of Design, Cambridge, USA
jkeagy@post.harvard.edu

ABSTRACT

This study examines the role and potential of robotic and automated systems in the production of geometrically complex building components. The article discusses the development of a design experiment considering the intensive use of advanced techniques of parametric design and automated manufacturing.

KEYWORDS: CAD/CAM; Robótica; Automatización;

Introducción

La introducción de sistemas de CAD/CAM en el diseño arquitectónico ha expandido sustancialmente el abanico de posibilidades de diseño y fabricación de productos y edificios. Típicamente, las tecnologías de diseño paramétrico se utilizan para generar propuestas geoméricamente complejas y los sistemas de manufactura asistida por computador se utilizan para fabricar partes y piezas con altas tasas de variabilidad (Kolarevic 2003, 2008). La creciente accesibilidad técnica y económica a esos sistemas ha motivado que en todas partes del globo tanto escuelas de arquitectura como oficinas de arquitectos estén haciendo uso de estas tecnologías para fabricar prototipos escala real (1:1) basados en la fabricación de decenas o cientos de componentes diferentes (Agkathidis 2011; Iwamoto 2009). Sin embargo, a pesar de la enorme contribución de los sistemas CAM, este tipo de propuestas todavía se fundamenta en una considerable cantidad de trabajo manual, tales como la preparación de material, terminaciones, manipulación, armado y montaje. Este modo de hacer que combina el uso de tecnologías digitales con trabajo manual es lo que ha venido a denominarse "Digital Craft". Si bien es una

aproximación proyectual tremendamente interesante, la necesidad de cantidades intensas de trabajo manual representa un problema al momento de escalar estas propuestas de diseño hacia un nivel industrial, donde la intervención artesanal implica un enorme costo económico, de tiempo y, muchas veces, de calidad. En este contexto, este estudio se propuso investigar el uso y potencial de sistemas robóticos y de automatización industrial en la producción de componentes constructivos de geometrías complejas con alta tasa de variabilidad. El eje conductor del estudio fue el desarrollo de un experimento proyectual de diseño y fabricación de un componente constructivo geoméricamente variable fabricado con procedimientos automatizados que incluyeran el uso de sistemas robóticos.

Definición del experimento proyectual

El problema de estudio consistió en modificar o reformular el sistema tradicional de producción de cerámicos para revestimiento de muros de manera de generar componentes variables y no seriados con diversidad geométrica. Se definió como contexto de trabajo la elaboración de un revestimiento de fachada tipo *rainscreen* que permitiera la generación de

vanos irregulares, de diferente tamaño y posición. El material cerámico del producto final (terracota) estuvo determinado de antemano como un pie forzado del experimento.

Diseño del componente

La primera fase de la investigación consistió en estudiar los sistemas tradicionales de producción de cerámicos para muros y analizar las posibilidades de incorporar procesos automatizados en ellos. Típicamente, un revestimiento cerámico para *rainscreen* se fabrica por extrusión y corte: una columna de pasta en estado plástico pasa a presión a través de una matriz de sección constante y luego una cuchilla corta verticalmente la masa dando forma a la pieza final. Las opciones para introducir variabilidad en este sistema pasan, por lo tanto, por la modificación de alguna de las dos etapas que componen el proceso: extrusión o corte. La literatura muestra que existen numerosos esfuerzos para producir extrusiones variables, pero que, en general, resultan en procedimientos técnicamente complejos y costosos de implementar. Por lo tanto, se decidió trabajar modificando el sistema de corte para introducir variabilidad. Ordinariamente, esto se haría modificando la forma de la cuchilla o utilizando múltiples cuchillas, de un modo similar a cuando una niña utiliza diferentes formas de cortadores para fabricar galletas con formas variadas. La utilización de distintas cuchillas para la fabricación de cientos de piezas cerámicas diferentes se hacía imposible en el contexto del experimento, por lo que se definió como estrategia de fabricación la utilización de una misma cuchilla, pero que pudiera realizar el corte en posiciones y ángulos variables. A fin de limitar la complejidad del experimento proyectual, se definió una cuchilla angular de 90° de largo de 30cms. que sólo pudiera realizar cortes verticales (normales al plano). Sorprendentemente, esta simple cuchilla angular permite generar una enorme gama de formas de cerámicas.

Una vez definida la estrategia general de fabricación, y teniendo ya establecidas las condicionantes geométricas que esta impone (sólo cortes angulares en 90°), la siguiente fase en la investigación fue el diseño del prototipo de estudio. Para lograr un componente que permitiera generar vanos en la fachada (condición inicial del experimento) se definió que la topología de la unidad correspondiera a una cruz. El ensamble de múltiples unidades en cruz permite generar una trama con vanos. Si la sección y dimensiones de los brazos son variables, los vanos resultantes también lo son. Y si todos los encuentros angulares entre brazos son de 90° , entonces el componente se puede fabricar con la cuchilla angular definida, lo que da cumplimiento a las condiciones geométricas establecidas.

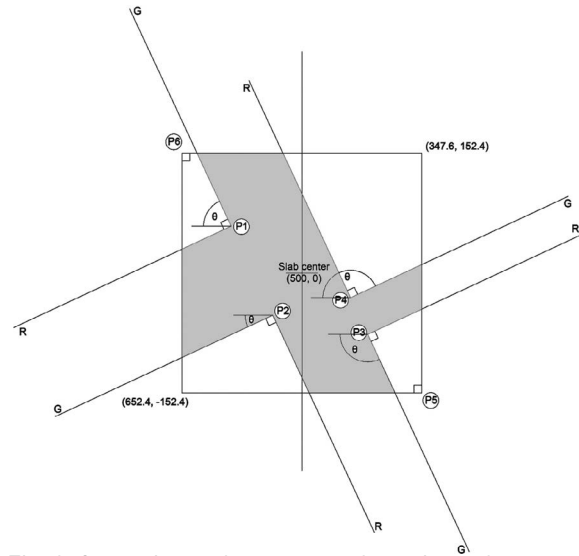


Fig. 1. Operaciones de corte que dan origen al componente.

Para modelar la trama y mantener control total sobre la geometría se utilizaron técnicas de diseño paramétrico por restricciones (*constraint-based parametric design*). El modelo se realizó usando la herramienta Sketch2D del software Digital Project V1,R4 de Gehry Technologies. El modelo se compone de una grilla de 4×4 módulos cuadrulares, adyacentes y perpendiculares. Dentro de cada cuadrado se definieron 4 pares de líneas angulares en 90° , paralelas entre sí pero a distanciamientos variables. Estos 4 ángulos, más los 2 ángulos que conforman el cuadrado inicial de la grilla representan los 6 cortes de la cuchilla angular que permiten fabricar el componente. Para el modelamiento de la geometría se utilizaron sólo líneas con restricciones de perpendicularidad (conformando el ángulo), paralelismo (entre ángulos) y coincidencia (entre puntos de contacto de ángulos diferentes de componentes diferentes). El distanciamiento entre ángulos se definió matemáticamente a través de una progresión aritmética que permitió que cada componente tuviera sus brazos ligeramente más anchos que el anterior. Esto originó un prototipo de 16 componentes de brazos con anchos crecientes. El ángulo de cada componente, y que da dinamismo a la propuesta, se definió arbitrariamente.

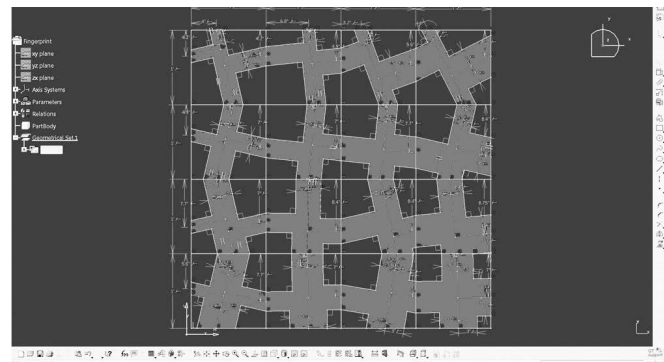


Fig. 2: Modelo por restricciones en Digital Project

Fabricación y prueba de concepto

Para la fabricación industrial se propuso un sistema de corte basado en un pistón neumático o hidráulico instalado sobre un puente CNC con motores que le otorguen control sobre dos direcciones. El sistema debe estar montado en una cinta sinfín, que comienza en el punto de salida de la extrusión recta. Un número definido de sucesivos puentes con la cuchilla angular y con un punzón para identificar las piezas permite realizar todos los cortes necesarios manteniendo una velocidad constante en la cinta. Manipuladores hidráulicos permiten retirar los retazos de pasta para ser reutilizados. Finalmente, las piezas descansan sobre bandejas que permiten el apilamiento y manipulación hasta el horno y desde el horno hasta el embajale.

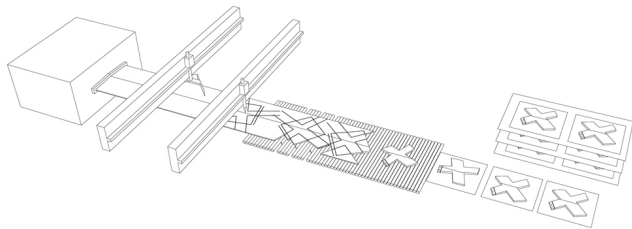


Fig. 3. Propuesta de fabricación industrial

La prueba de concepto se realizó a través de prototipado automatizado usando un brazo robótico de 6 ejes ABB IRB-140 con un efector especialmente fabricado para estos efectos.

Para generar el código de programación del brazo robótico se utilizó el software RobotMaster en combinación directa con el modelo realizado en Digital Project. Usando las coordenadas de los puntos que definen el diseño del prototipo, el software generó el código G (*G-code*) y luego el código en lenguaje RAPID, usado por los brazos robóticos de ABB. Si bien el programa generó la mayoría del código, algunas intervenciones manuales fueron necesarias, tales como el ajuste del punto de referencia de la herramienta (*tooltip*), debido a su confección artesanal para el prototipo. En términos sencillos, el código consistió en una serie de movimientos lineales verticales entre los puntos de corte y sus equivalentes sobre el plano de seguridad (*clearance plane*) y ángulos de rotación de la cuchilla. Cada componente queda así determinado por las coordenadas de posición de cada uno de los 6 puntos y un ángulo de rotación.

El prototipo se realizó en terracota. La sección extruida se realizó en los talleres del Harvard Ceramics Program, embalados al vacío para preservar la humedad y luego trasladados al Fabrication Lab del Harvard School of Design, donde se encuentra instalado el brazo robótico utilizado en este estudio. Una vez cortadas las piezas robóticamente, fueron trasladadas nuevamente al

Ceramics Lab donde fueron cocidas en un horno industrial. El montaje del prototipo se realizó usando clips metálicos y pegamento industrial.

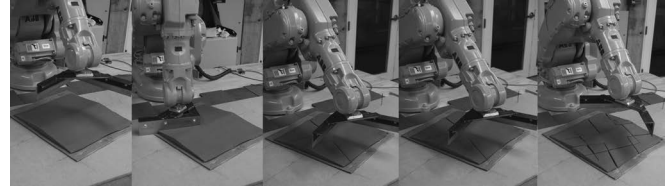


Fig. 4. Proceso de corte con brazo robot.

En la propuesta industrial, evidentemente este traslado de las piezas desde un lugar a otro es innecesario. La línea continua de permite generar la extrusión, corte, y apilamiento para la cocción. El sistema de montaje de los componentes es dependiente del diseño real de la aplicación industrial, pero el pegado de clips metálicos no representa un gran desafío en este contexto de producción automatizada.

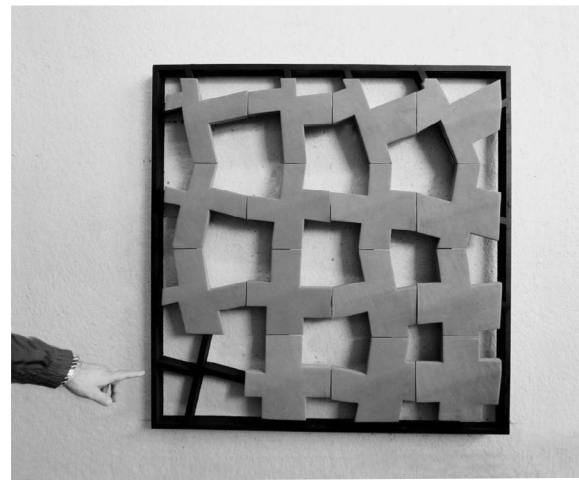


Fig. 5. Prototipo final

Agradecimientos

Agradecemos al Martin Bechthold, director del Harvard Design Robotics Group y guía de esta investigación. Igualmente, agradecemos a los equipos del Harvard GSD Fabrication Lab y del Harvard Ceramics Program.

Referencias

- Agkathidis, A. 2011. *Digital Manufacturing: In Design and Architecture*. BIS Publishers
- Iwamoto, L. 2009. *Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques*. Princeton Architectural Press
- Kolarevic, B. 2003. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. Taylor & Francis.
- Kolarevic, B. 2008. *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture*. Routledge
- Schodek, D., Bechthold, M; Kimo, J. y Kao, K. 2004. *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*. John Wiley and Sons.