

Influencia de la Fabricación Digital en la Arquitectura. Procesos Constructivos en Entornos Colaborativos

Influence of Digital Manufacturing in Architecture. Constructive Processes in Collaborative Environments

Influência da Manufatura Digital na Arquitetura. Processos construtivos em ambientes colaborativos

Daniel Marín Parra

Arquitecto. M.Sc. en Proyecto Avanzado de Arquitectura y Medio Ambiente

Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

daniel.marinpa@cecar.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-8601-386X>

Jonathan Steven Sarmiento Rojas

Arquitecto. M.Sc en Proyecto Avanzado de Arquitectura y Medio Ambiente

Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

jonathan.sarmientor@cecar.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-9433-3708>

Recibido: mayo 5 de 2019

Aceptado: junio 19 de 2020

Publicado: Julio 15 de 2020

RESUMEN

Los métodos de fabricación digital han abierto una nueva rama de reflexión y creación para la Arquitectura del siglo XXI, Hoy en día es posible abordar procesos constructivos simples, sin la necesidad de conocimientos avanzados o mano de obra especializada, pues las herramientas digitales así lo permiten. Este texto busca reflexionar sobre el impacto que han generado en la Arquitectura los métodos de fabricación digital y el diseño de Código Abierto, a través de la construcción de una estructura autoportante en Madrid, reconociendo nuevas tendencias y evaluando las posibles características de una nueva Arquitectura enfocada a resolver problemas locales.

Palabras clave: Autonomía; Diseño Arquitectónico; Fabricación asistida por Ordenador; Software de Código Abierto.

ABSTRACT

Digital manufacturing methods have opened a new branch of reflection and creation for the Architecture of the XXI century. Today it is possible to tackle simple construction processes, without the need for advanced knowledge or specialized labor, as digital tools allow it. This text seeks to reflect on the impact that digital manufacturing methods and open source design have generated on Architecture, through the construction of a self-supporting structure in Madrid, recognizing new trends and valuating the possible characteristics of a new Architecture focused on solve local problems.

Keywords: Autonomy; Architectural Design; Computer Aided Manufacturing; Open Source Software

Cómo citar (APA)

Marín-Parra, D., Sarmiento-Rojas, J.S. (2020). Influencia de la Fabricación Digital en la Arquitectura. Procesos Constructivos en Entornos Colaborativos. *Procesos Urbanos*. 7(2):e495. <https://doi.org/10.21892/2422085X.495>



©2020 Los Autor(es). Publicado por [CECAR](https://cecar.edu.co)

Revista Procesos Urbanos está distribuido bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) Internacional.

RESUMO

Os métodos de manufatura digital abriam um novo ramo de reflexão e criação para a Arquitetura do século XXI, hoje é possível enfrentar processos construtivos simples, sem a necessidade de conhecimentos avançados ou de mão de obra especializada, como permitem as ferramentas digitais. Este texto procura refletir sobre o impacto que os métodos de manufatura digital e o design open source têm gerado na Arquitetura, através da construção de uma estrutura autossuficiente em Madrid, reconhecendo novas tendências e avaliando as possíveis características de uma nova Arquitetura focada resolver problemas locais.

Palavras-chave: Autonomia; Projeto de Arquitetura; Fabricação Assistida por Computador; Software de Código Aberto.

INTRODUCCIÓN

El diseño computacional y la fabricación digital han permitido que la fabricación personal esté al alcance de cualquier persona. Los nuevos modelos de fabricación y comercialización están contruidos a partir de métodos alternativos que buscan solucionar problemas con iniciativas locales, rechazando la producción en serie y la masificación.

Los métodos de diseño y fabricación digital han evolucionado junto a la filosofía del Código Abierto. Esta se centra en la premisa de la libre distribución del conocimiento digital. El Código Abierto se focaliza en el desarrollo de software y el acceso libre a su código fuente. Sin embargo, el concepto ha evolucionado hasta afectar directamente diversos campos y oficios que hacen uso de las herramientas digitales para generar contenido o fabricar objetos de manera gratuita y con métodos modificables.

Los proyectos de Código Abierto ofrecen grandes oportunidades para que los desarrolladores compartan y aprendan a través de la colaboración. Los archivos, documentos y registros quedan abiertos en la web para que los proyectos puedan ser replicados, evolucionados y nutridos por diferentes habilidades.

La Arquitectura no es ajena a este entorno del Código Abierto: cada vez es más común que diferentes personas y entidades utilicen licencias sin ánimo de lucro para promover el acceso y el intercambio a planos y metodologías de sus proyectos, todo esto en entornos digitales.

Consecuentemente, cualquier persona puede desarrollar procesos arquitectónicos simples,

alcanzando autonomía en los procesos y logrando maneras de vida más sostenibles, entornos donde se es independiente, pero, al mismo tiempo, se pertenece a un contexto global y virtualizado.

Así, pues, se propone la construcción de un *zome*, una estructura modular y autoportante, que se fabricará completamente con métodos digitales y ubicada en un entorno público y de fácil acceso; todo esto para evaluar el impacto preciso que puede generar la fabricación digital y el Código Abierto en las edificaciones.

METODOLOGÍA

El presente artículo busca determinar los métodos de fabricación digital que tienen impacto directo en la Arquitectura, estudiando las posibilidades de que una persona sin experiencia alguna construya una estructura habitable fabricada completamente con métodos digitales.

En primer lugar, se realizó una revisión documental con el fin de entender la tecnología, conocer las diversas herramientas, repasar experiencias similares y analizar antecedentes. Altamente influyentes fueron los estudios de José Pérez de Lama, doctor en Arquitectura y fundador del Fab Lab de la Universidad de Sevilla, quien ha llevado a cabo exitosos proyectos relacionados con tecnologías de Código Abierto y Territorios Urbanos.

Posteriormente, se trabaja bajo método *design thinking*, un concepto orientado al diseño de productos que, a través del trabajo en equipo y de la interacción con una población específica, se ofrecen soluciones creativas a problemas y necesidades de usuarios reales.

Fue fundamental el sólido apoyo del Fab Lab del Medialab Prado, un laboratorio ciudadano de la ciudad de Madrid, cuyo objetivo es la producción de proyectos culturales abiertos y participativos. Esta institución realizó numerosos aportes, entre ellos, los materiales, las herramientas y un equipo de talentosas personas sin los cuales no hubiera sido posible construir el prototipo final.

RESULTADOS

El Software Libre y la Propiedad Simbólica.

El software, entendido como el conjunto de componentes informáticos programados para realizar tareas en un ordenador, ha estado asociado a una tradición de conocimientos compartidos, donde la idea de la autoría estaba más ligada al bien común que a la propiedad privada. La finalidad, en el entorno de aquellos que programaban, no era especialmente económica, era una práctica cultural relacionada con lo que ha sido llamado *gift economy* o economía del don (Hyde, 1983), que se basa en el dar, aceptar y ser recíproco. Esto, aplicado en ámbitos económicos, jurídicos, morales, estéticos y mitológicos. Sin embargo, en la década de los 70, surgen diversas iniciativas que legislaron y mercantizaron el software, que, hasta entonces, no se había considerado como algo comercializable.

Mientras se producía la privatización de diferentes sistemas operativos y surgían entidades como Windows y Microsoft, Richard Stallman, entonces investigador en el MIT, empezó a desarrollar nuevas maneras de programar garantizando que el código de un software podría ser reescrito y compartido, como se había hecho hasta entonces. Según José Pérez de Lama (2011), el concepto del Software Libre fue inventado por Richard Stallman, quien, creando la licencia GPL y estableciendo la fundación Free Software, dio paso a una revolucionaria forma de producción basada en las redes virtuales y el Internet, donde lo digital se reproducía sin costo y donde la idea de la autoría se aleja del concepto de la propiedad privada y se acerca a la idea tradicional de los bienes comunes compartidos (Lama, 2009, p. 3).

Así, inicia una cooperación multitudinaria de colaboradores que apoyaron la idea y que hicieron y siguen haciendo posible que el Software Libre se mantenga en pie, como sistema operativo y como filosofía sociocultural.

El portal web del sistema operativo GNU-Linux (patrocinado por la *Free Software Foundation*) define el Software Libre como un sistema informático en el cual los usuarios tienen absoluta libertad para “ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software” (GNU Operating System, 2020). Al mismo tiempo, especifica cuatro libertades que deben tener los usuarios para ejercer su voluntad sobre el software e identificar la libertad del mismo:

La libertad de ejecutar el Programa como se desea, con cualquier propósito.

La libertad de estudiar cómo funciona el Programa, y cambiarlo para que haga lo que usted quiera.

La libertad de redistribuir copias para ayudar a su prójimo.

La libertad de distribuir copias de sus versiones modificadas a terceros (GNU Operating System, 2020).

De este modo, el Software Libre genera una nueva forma de producción que se basa en los servicios y en la colaboración, respaldado por la gran cantidad de bienes digitales que se encuentran hoy en Internet y que pueden ser usados, estudiados, reproducidos y mejorados libremente o a un costo mínimo.

El rotundo éxito del Software Libre hizo que, en poco tiempo, esta nueva forma de producción proliferara hacia diferentes oficios que no necesariamente estaban directamente implicados en el desarrollo de software, especialmente en entornos culturales.

Las licencias *Creative Commons* (2020) surgen en este contexto, otorgando permisos legales a entes públicos o privados sobre sus obras creativas, las cuales son completamente inmateriales o poseen un fuerte contenido digital. Con estas licencias, los usuarios que crean imágenes, música, diseño industrial o textos obtienen con estas licencias diferentes alternativas para limitar o condicionar la copia, la distribución, la edición o el desarrollo de sus realizaciones, pero, al mismo tiempo, permiten a otros hacer usos de sus producciones sin finalidades comerciales, todo ello dentro de los límites actuales de la ley de propiedad intelectual.

Esta idea de instrumentos jurídicos libres convierte la legislación de derechos de autor en una

representación simbólica, donde la autoría deja de estar fuertemente ligada a la propiedad privada y se convierte en conocimiento que puede ser compartido según los términos y condiciones que se elijan. Las creaciones culturales, tecnológicas o científicas dejan de ser acciones particulares y pasan a ser creaciones comunitarias que se desarrollan gracias a las prácticas y los medios actuales que permiten su producción, situación que se multiplica con la sociedad conectada globalmente. La tendencia hacia el software y la cultura libre propone, por ende, la construcción de nuevas formas de producción y fabricación, y otra manera de establecer relaciones sociales.

La Fabricación Digital. A principios de los años 70, los ordenadores eran máquinas complejas y costosas que generalmente pertenecían a grandes corporaciones o instituciones gubernamentales. Comúnmente, las tareas se preparaban con anterioridad, se insertaban en la máquina y los resultados se recogían luego de horas o días, según la dificultad del trabajo y la calidad de este.

No fue hasta 1977, con la introducción al mercado masivo de las microcomputadoras, que el uso de estas máquinas dejó de ser exclusivo de grandes establecimientos y se volvió personal. Lo que antes eran voluminosas placas de circuitos, fue posible reducirlo a un solo circuito integrado, disminuyendo el tamaño y el costo de los ordenadores.

El IBM 360 fue el primer ordenador que usó circuitos integrados en un solo chip, incorporando una tecnología que permitió el desarrollo de minúsculos transistores que podían posicionarse por centenas en un solo chip de silicón (Lama, 2009, p. 9). De esta manera las computadoras se popularizaron y dejaron de ser costosas herramientas con un mercado limitado que solo eran utilizadas por trabajadores industriales. El componente informático se hizo accesible al público general en forma de computadoras personales, y el resultado fue una arrolladora ola de nuevas maneras de trabajar, estudiar o jugar.

Similar ocurre hoy con las máquinas y herramientas cuyas tareas se ejecutan desde un ordenador y que son programadas para fabricar cosas. Según Neil Gershenfeld, Director del Centro para Bits y Átomos del MIT, esto ha significado una nueva revolución que va más allá de lo meramente digital, es mucho más fundamental y se encuentra en la fabricación. La

verdadera revolución está trayendo la Programación al mundo físico, la fabricación de objetos por medios digitales (Gershenfeld, 2005, p.3).

El modelado y la fabricación digital son procesos virtuales que unen el diseño con la producción por medio del uso de software de modelado 3D. Esta tecnología agrupa todas aquellas máquinas que, a través de órdenes generadas desde un computador, logran convertir modelos digitales en objetos sólidos. Estas herramientas han llegado acompañadas de softwares amigables que utilizan Programación de Código Abierto y permiten descargar y compartir archivos por Internet. Todo esto, además de facilitar el proceso de aprendizaje, posibilita que un objeto pueda replicarse en cualquier parte del mundo (Fressoli y Smith, 2015).

La creciente disponibilidad de estas máquinas-herramientas de fabricación digital es exponencial; tecnologías como la impresión 3D, el corte láser o las fresadoras CNC son cada vez más poderosas, adaptables y fáciles de manipular. Consiguientemente, estas tecnologías han diversificado sus aplicaciones, tanto así que hoy en día se puede producir casi cualquier cosa. Actualmente, la fabricación digital está fuertemente consolidada en la producción de joyas, indumentaria, herramientas y prótesis, pero también se están desarrollando prometedoras investigaciones que abordan la construcción edificaciones o la creación de tejidos biológicos.

Además de lo accesible de estas, las herramientas de fabricación digital han logrado posicionarse en el mercado con costos cada vez más bajos. Según el portal web 3D Natives, la venta de impresoras 3D en el 2016 se ha duplicado con respecto al año anterior. "El 2016 cerró con la venta de 455.772 unidades en comparación con las 219.168 impresoras vendidas en 2015. Lo cual supone un aumento de casi un 50% dirigido principalmente por el campo educativo y militar" (Contreras, 2016).

Debido a la pluralidad de campos de aplicación, el rápido desarrollo tecnológico y su prometedora aceptación en el mercado, la fabricación digital representa una nueva revolución digital, que esta vez va de la mano de la manufactura, trazando un camino similar al de la virtualización de las comunicaciones o de la computación, pero ahora el que se está digitalizando es el mundo tangible.

La Arquitectura y la Fabricación Digital en Entornos Abiertos. La revolución en la fabricación, acompañada de la virtualidad y del trabajo colaborativo, ha actuado fuertemente en diferentes terrenos mostrando resultados definitivos. En la Arquitectura se ha manifestado de manera gradual, y, a pesar de prometer grandes cambios, la aplicación de estas ideas en la Arquitectura es compleja y sugiere diversos escenarios.

Se podría decir que el primer acercamiento que tienen las prácticas digitales con el ejercicio arquitectónico sucede con la aparición de la tecnología CAD (Diseño Asistido por Computadora) y la tecnología CAM (Manufactura Asistida por Computadora). En principio ambas tecnologías trabajaban de manera separada; no obstante, las dos disciplinas se han ido matizando paulatinamente hasta ser considerada una sola tecnología, CAD/CAM.

El origen del CAD se sitúa en 1961 con "sketchpad". Ideado por Ivan Sutherland, "sketchpad" era un programa informático que, por medio de un lápiz, permitía la manipulación de objetos gráficos digitalizando los dibujos hechos en la pantalla. Por otro lado, la tecnología CAM se consolida luego de la Segunda Guerra Mundial, cuando John Parson, con la colaboración de instituciones estadounidenses, desarrolla la primera máquina controlada numéricamente por ordenador dedicada a fabricar repetitivamente piezas para armamento.

La aparición de los microprocesadores y las computadoras personales en los años 1970 permitieron agrupar ambas tecnologías y aplicarlas como una sola en diferentes disciplinas, entre ellas la Arquitectura.

Según José Pérez de Lama (2009), las tecnologías digitales se han aplicado a la Arquitectura en cuatro generaciones: la primera, a principios de los años 1980, está asociada al uso de Programas CAD para un dibujo más eficiente de planos y detalles arquitectónicos; la segunda, a finales de los años 1980, corresponde al uso de programas de modelado tridimensional para generar vistas de los proyectos; la tercera, a mediados de los años 90, con el uso de tecnologías digitales para el diseño de formas complejas, imposibles de pensar y proyectar con los medios precedentes; finalmente, la cuarta, a finales de los años 1990 y principios del presente siglo, atañe a la fabricación digital, la fabricación de formas diseñadas digitalmente mediante el uso

de maquinaria controlada por ordenador, capaz de interpretar directamente los archivos digitales para luego cortar o moldear elementos materiales.

Los laboratorios de fabricación digital, o Fab Labs, cumplen un papel primordial en esta cuarta generación, pues no solo pertenecen a ella, sino que la constituyen. Estos laboratorios nacen por iniciativa del profesor Neil Gershenfeld, Director del Centro para Bits y Átomos del MIT, quien, replicando un esquema de aprendizaje, logro que los Fab Labs conformaran una red de más de 1750 laboratorios en diferentes partes del planeta, generando espacios permanentes donde cualquier persona puede diseñar, producir y usar artefactos de ingeniería y fabricación digital.

A pesar de que los Fab Labs pueden albergar cualquier tipo de creación, algunos de ellos dirigen sus procesos de diseño y fabricación digital hacia lo habitable, situando el proyecto arquitectónico como materia principal de sus desarrollos.

Es posible identificar tres modelos de laboratorios de fabricación digital que hacen énfasis en la Arquitectura, cada uno con una escala de impacto distinta, pero igual de válidos y significativos. El primero es aquel que centra su búsqueda en nuevas formas habitables, nuevos materiales e innovadores procesos constructivos que obtienen el máximo provecho de las herramientas para erigir formas complejas. En esta línea se encuentran trabajando grandes instituciones educativas o empresas globales de Arquitectura, tales como Zaha Hadid Architects, Gerhy Partnes o el Institute for Computational Design and Construction (ICD) de la universidad de Stuttgart.

Otro modelo es el de los laboratorios participativos, representados principalmente por la red Fab Labs, cuyo enfoque se encuentra en el potencial de Innovación social que aportan las tecnologías y la fabricación. Este modelo centra su desarrollo investigativo en la solución de necesidades cotidianas de una comunidad urbana o barrial, socializando la tecnología y promoviendo la Innovación por medio de la fabricación de elementos de mediana escala.

El tercer modelo también incluye a los Fab Labs como agentes importantes, pero se diferencia en que su desarrollo está orientado a resolver necesidades en el ámbito doméstico, promoviendo el uso de herramientas digitales para la fabricación personal de objetos en un entorno hogareño.

Si existiera un código digital que permitiera reproducir materiales u objetos de forma precisa por medio de una máquina, la Arquitectura podría alcanzar el nivel de producción y distribución que poseen otros bienes y creaciones que admitieron digital como una condición propia, como la música, las fotografías o los textos (Lama, 2009, p. 13). Al pensar la Arquitectura como un conjunto de archivos digitales que se organizan para su ejecución física, se esclarece una alternativa en la cual se podrían distribuir libremente diseños y sistemas constructivos, de manera que la misma colaboración profesional permitiría alcanzar la eficiencia en el diseño y la construcción.

La fabricación digital aplicada al diseño y la construcción supone la necesidad de replantear estrategias de proyectación, explorar nuevos materiales y desarrollar técnicas constructivas, procesos que deben adaptarse a la programación digital, la cual, según la maquinaria y los materiales disponibles, podría reproducir un edificio y adaptarlo al contexto con absoluta precisión.

El Zome: Un Proyecto Público y Colectivo. Para comprobar y concluir este estudio se propone un proceso de construcción colectiva de un elemento arquitectónico simple que permita corroborar lo que supone el uso de herramientas de fabricación digital aplicadas a la construcción y visibilizar el impacto que estas metodologías podrían tener en contextos de autoconstrucción.

Se elige la cúpula llamada *zome* como elemento arquitectónico adecuado para llevar a cabo, pues es un módulo autoportante cuya conformación geométrica hace posible generar un espacio habitable en corto tiempo y con relativamente poco material; además, posee la complejidad suficiente para que signifique un reto de fabricación.

Un *zome* es una cúpula que posee como base un polígono regular; a partir de esta base se desenvuelve y conforma un volumen geométrico que se apoya en sí mismo para mantenerse en pie sin la necesidad de usar pilares internos.

El término "Zome" nace de combinar la palabra *zonoedro* (poliedro) y *dome* (termino en inglés para cúpula o domo). El término es acuñado por el ingeniero estadounidense Steve Baer, el cual, basado en la Figura geométrica Zonoedro, generó una familia de cúpulas que utilizan conformaciones inusuales pero autoportantes.

El zome proviene del zonágono, un tipo de polígono convexo que puede ser estirado en diferentes direcciones sin modificar la longitud de sus aristas, solo cambiando la distancia entre los vértices. Posee 4 segmentos y sus lados están paralelos y enfrentados entre sí.

El zonoedro es el poliedro convexo que resulta al agrupar zonágonos. Mantienen propiedades similares y pueden ser extendidos y comprimidos solo con cambiar la longitud que existe entre sus bordes.

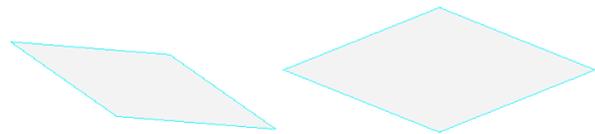


Figura 1. Zonágonos.
Fuente: Elaboración propia



Figura 2. Zonoedros
Fuente: Elaboración propia

El Zome es un espacio habitable constituido por la totalidad o una parte del zonoedro, es una variación de este y se construye luego de tomar una fracción repararlo con triángulos o paredes verticales sobre el suelo.

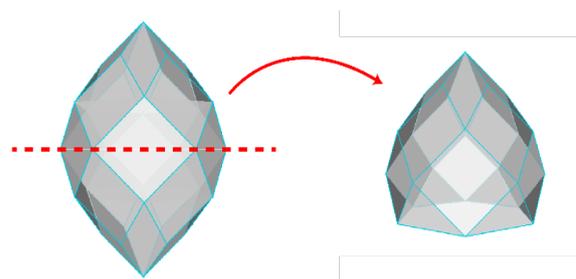


Figura 3. De Zonoedro a Zome.
Fuente: Elaboración propia.

Hay dos valores importantes que determinarán las dimensiones y características de un zome: el número de frecuencia y el número de orden.

El zome está conformado por una sucesión de anillos de rombos iguales, la cantidad de anillos que posee el volumen determinará el número de frecuencia. En el caso del zome de la Figura 4, su número de frecuencia es #4, pues posee 4 anillos sucesivos.

Cada anillo que conforma el zome está constituido por un conjunto de zonágonos, pero diferentes con respecto al anillo antecesor o sucesor. El número de orden está determinado por la cantidad de zonágonos que posee cada anillo. Este número debe ser igual en todos los conjuntos. En el zome de la Figura 4, el número de orden es #6, pues cada anillo posee 6 rombos iguales.

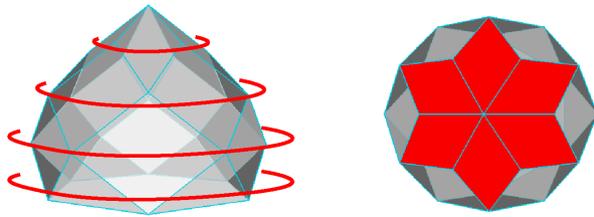


Figura 4. Número de frecuencia y número de orden.
Fuente: Elaboración propia.

Mientras se elegía y se estudiaba el módulo autoportante, se realizó la búsqueda de un lugar adecuado para posar la estructura, procurando que su uso final estuviera determinado por el lugar que lo recogiera.

Este proyecto se realizó partiendo de un nuevo entendimiento de la autoría y de la propiedad intelectual, siguiendo un modelo que es respaldado por la cultura libre del Código Abierto, la cual está basada en la colaboración. Por esta razón, el lugar elegido debería permitir que su construcción fuera colectiva, un lugar público y accesible al cual pudieran asistir un gran número de personas para ayudar, construir, habitar y generar nuevas redes de conocimiento, no solamente en el momento de la construcción, sino durante el tiempo en el cual el zome se mantenga en pie.

Se eligió La Cabaña del Retiro, un aula medio ambiental, como el lugar propicio para ubicar la estructura. Este es un espacio que se encuentra ubicado en el interior del parque del Buen Retiro de Madrid, España. Ejerce funciones de divulgación y educación ambiental a través de diversas actividades tales como huerto ciudadano o rutas interpretativas del paisaje. Una vez socializado el proyecto con sus gestores, de inmediato entendieron sus objetivos, mostraron compromiso frente a la atención que el proyecto supone y le asignaron un uso, un espacio para trabajar bajo la sombra.

Zome el Prado: desarrollo

El proyecto "Zome El Prado" se llevó a cabo en el laboratorio de fabricación digital de MediaLab-Prado, una institución soportada por el Área de Gobierno de Cultura y Deportes del ayuntamiento de Madrid. este lugar enfoca su trabajo a la experimentación a través del uso de máquinas y



Figura 5. La Cabaña del Retiro.
Fuente: Imagen propia.

de talleres de prototipado colaborativo. El Fablab da soporte a los diferentes proyectos y líneas de trabajo e investigación de Medialab-Prado. En su ubicación actual, en el sótano de la antigua Serrería Belga, cuenta con un espacio específicamente equipado y dedicado a este fin, con diversa maquinaria de control numérico (cortadora laser, cortadora de vinilo, impresoras 3D y fresadoras de pequeño y gran formato).

Una determinante indiscutible del proyecto fue que el elemento arquitectónico estuviera constituido exclusivamente por piezas elaboradas con fabricación digital, esto enseguida excluye cualquier método artesanal o de carpintería tradicional, tales como cortes con sierras y caladoras o anclajes con tornillos.

El zome es un volumen tridimensional que está constituido por figuras bidimensionales; cada uno de sus lados es un rombo plano. Estos rombos no poseen ángulos en el eje z, lo cual determina la favorabilidad de que su fabricación sea realizada por una fresadora CNC, una máquina de control numérico que efectúa tareas de corte a través de la programación de sus procesos, logrando movimientos imposibles de efectuar manualmente, como curvas, líneas diagonales o figuras complejas. Se realizó modelo virtual que permitió determinar la configuración de la forma, las dimensiones de la estructura, los ángulos, la cantidad de piezas y un primer acercamiento a la cantidad de material necesario para la construcción. Por sus medidas apropiadas para la escala humana y su efectividad respecto al consumo de material, se opta por desarrollar un zome de 4 frecuencias cuyo número de orden es 7.

Soportado por el modelo tridimensional, se desarrolló un método de unión que mantuviera las piezas en su lugar. Cada unión comprime los rombos unos con otros para que mantenga su posición y modelan el ángulo adecuado para que las piezas se apoyen con la inclinación apropiada. Se diseñan 5 uniones diferentes:

Por medio de un proceso de modelado tridimensional digital se bocetó el zome pieza a pieza, con dimensiones y espesores precisos, con el fin de obtener una imagen previa. Luego de tener una geometría definida se esbozaron vanos en los rombos para ventilar e iluminar la estructura, además se abrió una abertura de gran tamaño

que permitiera el ingreso al interior del zome sin afectar sus propiedades constructivas. Se trazaron oquedades que jugarían con la luz y la sombra para otorgarle calidad espacial al volumen.

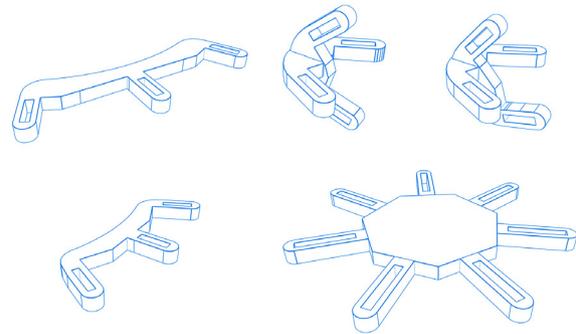


Figura 6. Tipos de Uniones.
Fuente: Elaboración propia.

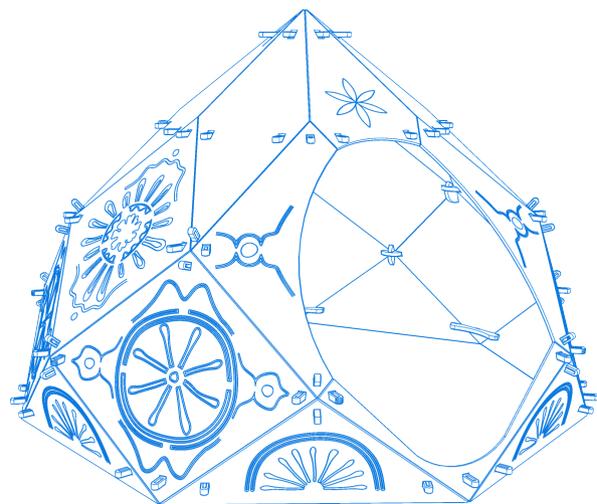


Figura 7. Modelo Virtual Definitivo.
Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron modelos a escala y fragmentos de detalles constructivos para visualizar el proceso de construcción y prever los comportamientos estructurales del zome. Se construyeron los fragmentos específicos donde la unión interactúa con la pieza rómbica, esto con el objetivo de evaluar la resistencia de las uniones y el comportamiento de los rombos al acoplarse entre sí. Estas pruebas permitieron calcular los esfuerzos a los cuales se vería sometida la estructura para determinar el material de construcción adecuado para evitar que las piezas cedieran o se fracturaran.



Figura 8. Maqueta Escala 1:5
Fuente: Elaboración propia

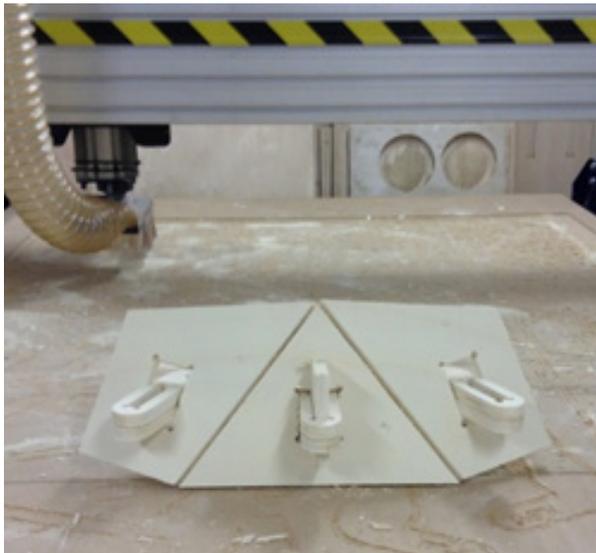


Figura 9. Detalle de Unión Escala 1:1
Fuente: Elaboración propia

Después de las verificaciones en diferentes escalas, se procedió a cortar las piezas definitivas en madera contrachapada. La posibilidad de abrir estas aberturas en las piezas significó una apropiada oportunidad para comprobar las capacidades de la máquina fresadora CNC. Estas grietas complejas e irregulares, difíciles de elaborar con las manos humanas, fueron un proceso sencillo para la máquina controlada desde un computador, la cual replicó la complicada forma tantas veces fue necesario con minuciosa precisión y sin inconveniente alguno.



Figura 10. Fresadora CNC cortando las piezas.
Fuente: Imagen propia.

Zome El Prado: Una Experiencia Colectiva. Una vez completado el corte y la preparación de las piezas, se realizó una convocatoria pública que invitaba a la construcción colectiva del zome en la Cabaña del Retiro. La convocatoria fue abierta, sin ningún tipo de condición o restricción. A este evento podría asistir quien lo deseara, pues no se requerían conocimientos previos ni habilidades especiales para participar.

Esta convocatoria se realizó a través de un afiche el cual fue difundido por Internet haciendo uso de redes sociales y correo electrónico, eligiendo a los contactos que tuvieran una alta probabilidad de asistir. Los datos y correos electrónicos fueron aportados por el Medialab-Prado y por La Cabaña del Retiro.

El 29 de junio del 2017 a las 9:00 a.m. se encontraban todas las piezas del zome reunidas en la Cabaña del Retiro. La convocatoria citaba a las 11:00 a.m., hora en la que empezaron a acudir quienes estaban interesados en participar. Durante 30 minutos llegaron todo tipo de personas, niños y ancianos, hombres y mujeres de diferentes nacionalidades. Algunos convocados por La Cabaña o el Medialab, y otros más que aleatoriamente se enteraron y se interesaron en asistir.

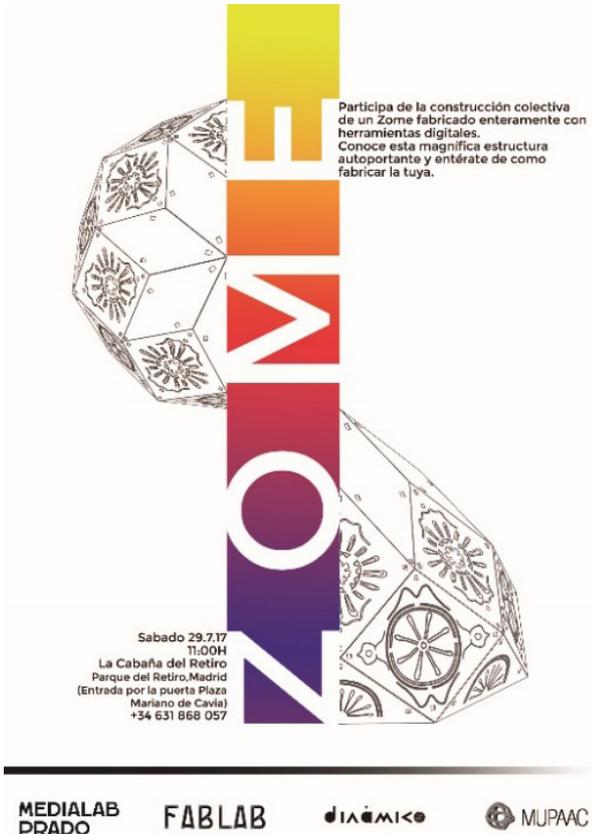


Figura 11. Afiche de invitación a la construcción colectiva del Zome el Prado.
Fuente: Elaboración propia.

De las 25 personas que asistieron, solo 3 personas estaban parcialmente capacitados para algún tipo de proceso constructivo, para las otras 23 personas esta experiencia significó un primer acercamiento a un procedimiento arquitectónico. Esto supuso una riqueza

para el proyecto y la investigación, pues la intención del proceso fue acercar los desarrollos constructivos a las manos de cualquier persona, confiando en que la fabricación digital y el Código Abierto facilitarían el procedimiento. Sorprendentemente, los participantes se familiarizaron rápidamente con el trabajo, desenvolviéndose con fluidez en el proceso constructivo, demostrando innata capacidad de trabajar en equipo en desarrollos arquitectónicos simples.

La estructura empezó a cerrarse y a hacerse rígida, lo cual significó menor flexibilidad para el ensamblaje de las piezas. A medida que el zome obtenía mayor altura el armado se hacía más complejo, sin embargo, las manos, ansiosas por ayudar, siempre estuvieron presentes para facilitar los procesos.

Todas las personas que asistieron participaron directa o indirectamente en el proceso constructivo. Mientras unos identificaban y separaban las piezas otros las ponían en el lugar correspondiente, algunos sellaban las piezas que ya estaban fijadas y otros se encargaban de realizar registro fotográfico. Cada persona desempeñó una tarea primordial, trabajos de diversa complejidad, pero de igual importancia.

Es así como se construyó el Zome el Prado, una estructura compuesta por 28 rombos y 28 uniones, con una altura total de 2,60 metros y un diámetro de 3,60 metros. Una Figura geométrica tridimensional que se basa en el soporte integral de todos sus elementos conformando un circuito cerrado dentro de un solo sistema, donde todas las partes poseen igual jerarquía, todas las piezas se soportan entre sí.



Figura 12. Construcción.
Fuente: Imagen propia.

Con el apoyo incondicional de más de 25 personas que colaboraron voluntariamente, se creó un espacio contenedor de formas, texturas y colores, por ende, generador de sensaciones y emociones, convirtiéndose en un gran estímulo para el

desarrollo personal y la sensibilidad frente a lo creado. El conocimiento fue entregado libremente y queda en las manos de quienes deseen seguir con este proceso para que hacerlo evolucionar en comunidad.



Figura 13. Zome El Prado.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

La tendencia hacia el software y la cultura libre, además de proponer una nueva forma de producción, propone también otra manera de establecer relaciones sociales basadas en la colaboración, donde el diseño y la fabricación de objetos se convierten en procesos que pueden ser replicados, evolucionados y nutridos por diferentes habilidades.

El diseño computacional y la fabricación digital están teniendo una influencia importante en la forma de pensar, diseñar y producir Arquitectura, dando como resultado cambios sustanciales dentro en el ámbito académico y profesional. Dichas transformaciones han traído consigo una nueva manera de reflexionar la Arquitectura, pues esta ahora debe contemplar las herramientas digitales y el desarrollo de la tecnología computacional enfocada al diseño y la construcción de refugios y espacios habitables.

Es posible que personas provenientes de diversos entornos se desenvuelvan con soltura en el desarrollo de procesos arquitectónicos simples.

Esto no sustituye la necesidad de contar con arquitectos o ingenieros en caso de abordar construcciones más complejas, sin embargo, la labor de estos es una más dentro de un conjunto de habilidades necesarias. Queda claro que, gracias a la amplia red de laboratorios de fabricación digital que se extiende por todo el globo, las herramientas y el espacio necesario para aprender y construir están disponibles y abiertas a la experimentación. El mundo virtual significa, ahora más que nunca, una provechosa ventaja para conectarse con otros, intercambiar información, conocimiento y distribuir las creaciones.

A pesar de que la experiencia colectiva del Zome el Prado comprobó que no se necesitan conocimientos especializados para participar en una construcción simple, todo el proceso estuvo soportada por todo un arduo trabajo anterior que incluyó el diseño y modelado tridimensional y el análisis estructural del elemento autoportante, trabajo que estuvo asesorado por expertos en diferentes ámbitos. Por ende, si es necesario un entendimiento espacial y geométrico y ciertos conocimientos sobre estructuras para plantear y diseñar una forma y asegurar su estabilidad y firmeza.

Aunque no se utilizó esta técnica en el proceso de diseño del Zome el Prado, Es importante señalar los alcances a los que se está llegando con el diseño paramétrico, proceso por el cual se abstrae una idea y se relaciona con procedimientos geométricos y matemáticos, haciendo posible el planteamiento y la alteración de un diseño a partir de suposiciones o probabilidades. Este método admite la realización de modelos tridimensionales a partir de variables

y parámetros que permiten manipular el resultado final de un sistema, que luego podría ser fabricado digitalmente según los requerimientos singulares. Esta forma de diseño permite que los proyectos se adapten fácilmente a particularidades no estandarizadas, como las dimensiones corporales o las condiciones ambientales. Queda abierta la puerta para incluir el diseño paramétrico en futuros proyectos e investigaciones.

REFERENCIAS

Contreras, L. (2016). La venta de impresoras 3D se ha duplicado en 2016. 3Dnatives.

Creative Commons. (2 de 07 de 2020). Obtenido de Creative Commons: https://creativecommons.org/licenses/?lang=es_ES

Fressoli, M., y Smith, A. (2015). Impresión 3D y fabricación digital. ¿una nueva revolución tecnológica? Integración y Comercio, 114-125.

Gershenfeld, N. (2005). Fab: The Coming Revolution on Your Desktop-from Personal Computers to Personal Fabrication. New York: Basic Books.

GNU Operating System. (2 de 07 de 2020). Obtenido de <http://www.gnu.org/>

Hyde, L. (1983). The Gift: How the Creative Spirit Transforms the World. United States: Random House.

Lama, J. P. (2009). Arquitectura FLOS. Del DIY [Do It Yourself] al DIWO [Do It With Others]. Sevilla: Alejandro Gonzales.

Pérez de Lama Halcón, J. O.-L. (2011). Incorporación del diseño y fabricación digital a la Arquitectura: docencia y práctica profesional. 4IAU 4ª Jornadas Internacionales sobre Investigación en Arquitectura y Urbanismo. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.