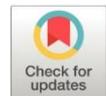


Práctica académica como abordaje proyectual a las estructuras paramétricas modulares, caso de estudio: Muro Pixel

Academic Practice as a Projectual Approach to Modular Parametric Structures: Case Study of the Pixel Wall.

- ¹ Fausto Andrés Lara Orellana  <https://orcid.org/0009-0006-4409-8638>
Facultad de Diseño y Arquitectura, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador
fa.lara@uta.edu.ec
- ² Jhonny Javier Zhigüe Álvarez  <https://orcid.org/0009-0001-9013-1850>
Investigador Independiente, Loja, Ecuador.
jhonny.jza92@gmail.com
- ³ José Remigio Gavidia Mejía  <https://orcid.org/0009-0002-0042-3276>
Carrera de Arquitectura, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
jose.gavidia@unach.edu.ec
- ⁴ Ariana Paola Arregui Paredes  <https://orcid.org/0009-0004-1824-7607>
Facultad de Diseño y Arquitectura, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador
ap.arregui@uta.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 14/11/2024

Revisado: 18/12/2024

Aceptado: 15/01/2025

Publicado: 17/02/2025

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v7i1.1.579>

Cítese:

Lara Orellana, F. A., Zhigüe Álvarez, J. J., Gavidia Mejía, J. R., & Arregui Paredes, A. P. (2025). Práctica académica como abordaje proyectual a las estructuras paramétricas modulares, caso de estudio: Muro Pixel . AlfaPublicaciones, 7(1.1), 6–29. <https://doi.org/10.33262/ap.v7i1.1.579>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Palabras claves:

paramétrico
fabricación digital
estructura modular
grasshopper

Resumen:

Introducción. La arquitectura contemporánea enfrenta desafíos derivados de contextos urbanos dinámicos y restricciones ambientales. El diseño paramétrico y la fabricación digital han emergido como herramientas clave para crear estructuras modulares flexibles, eficientes y sostenibles. Este artículo explora su aplicación en la creación del "muro pixel", una estructura modular auto-soportante. **Objetivo.** El estudio busca evaluar la viabilidad del diseño paramétrico y la fabricación digital en la creación de estructuras modulares adaptables, utilizando el "muro pixel" como caso de estudio, y contribuir a la formación académica en arquitectura. **Metodología.** Se empleó un enfoque mixto, combinando revisión documental, desarrollo de algoritmos en Grasshopper y experimentación práctica. Se fabricaron prototipos a escala en un laboratorio de fabricación digital, utilizando materiales como cartón y MDF. **Resultados.** Los resultados demostraron que el diseño paramétrico optimiza el uso de materiales y permite la creación de estructuras adaptables. Los prototipos en MDF mostraron mayor estabilidad, validando la importancia de la selección de materiales y la configuración de ranuras. **Conclusión.** El parametricismo es ideal para proyectos que requieren flexibilidad y optimización, mientras que el método geométrico es útil para diseños simples. El "muro pixel" se posiciona como una solución versátil para espacios públicos, con potencial para aplicaciones urbanas y académicas. **Área de estudio general:** Arquitectura paramétrica. **Área de estudio específica:** Parametricismo y fabricación digital. **Tipo de estudio:** Artículo de investigación original y revisión bibliográfica.

Keywords:

Parametric
Digital fabrication
Modular structure
Grasshopper

Abstract

Introduction. Contemporary architecture faces challenges arising from dynamic urban contexts and environmental constraints. Parametric design and digital fabrication have emerged as key tools for creating flexible, efficient, and sustainable modular structures. This article explores their application in the development of the "pixel wall," a self-supporting modular structure. **Objective.** The study aims to evaluate the feasibility of parametric design and digital fabrication in creating adaptable modular structures, using the

"pixel wall" as a case study, and to contribute to academic training in architecture. **Methodology.** A mixed-method approach was employed, combining literature review, algorithm development in Grasshopper, and practical experimentation. Scale prototypes were fabricated in a digital fabrication laboratory using materials such as cardboard and MDF. **Results.** The results demonstrated that parametric design optimizes material usage and enables the creation of adaptable structures. Prototypes made from MDF showed greater stability, validating the importance of material selection and slot configuration. **Conclusion.** Parametricism is ideal for projects requiring flexibility and optimization, while the geometric method is suitable for simpler designs. The "pixel wall" positions itself as a versatile solution for public spaces, with potential for urban and academic applications. **General Area of Study:** Parametric Architecture. **Specific area of study:** Parametricism and digital fabrication. **Type of study:** Original research article and literature review.

1. Introducción

La arquitectura contemporánea enfrenta desafíos sin precedentes, derivados de la necesidad de adaptarse a contextos urbanos dinámicos, demandas sociales cambiantes y restricciones ambientales crecientes. En este escenario, el diseño paramétrico y la fabricación digital han emergido como herramientas transformadoras, permitiendo la creación de estructuras modulares que combinan flexibilidad, eficiencia y sostenibilidad. Estas tecnologías no solo optimizan los procesos de diseño y construcción, sino que también abren nuevas posibilidades para la creación de espacios públicos interactivos y adaptables (Lara & Zhiguo, 2016).

El diseño paramétrico, definido como un enfoque que utiliza algoritmos para generar formas arquitectónicas a partir de parámetros específicos, ha revolucionado la manera en que los arquitectos conciben y materializan sus proyectos. Según Guilar (2009), "nuevas estructuras del pensamiento conllevan nuevos modos de proyectación, lo cual deriva en nuevos modos de representación o de no-representación" (p. 45). Este enfoque permite explorar múltiples soluciones arquitectónicas a partir de un conjunto de variables, facilitando la optimización de recursos y la adaptabilidad a diferentes contextos, Caetano, Santos y Leitão (2020) discuten el diseño computacional y

proponen una taxonomía mejorada para términos clave como el diseño paramétrico, generativo y algorítmico.

En la actualidad, el diseño paramétrico ha experimentado un avance significativo en el ámbito de la proyección arquitectónica, particularmente en los procesos constructivos, con un notable impacto en países desarrollados. Este enfoque también ha influenciado considerablemente el ámbito académico (Valdivieso, 2014). La arquitectura paramétrica representa una transformación en la concepción del proyecto arquitectónico, aprovechando las innovaciones tecnológicas y las posibilidades de fabricación digital. La integración de scripts en herramientas como Grasshopper, junto con la fabricación industrial digital, ha facilitado la transición de un modelo de producción estandarizado hacia uno más participativo y personalizado (Lara & Zhigüe, 2016).

Además, como destacan LaMetro (2023), estas tecnologías de parametrización proporcionan al diseñador herramientas avanzadas que facilitan el desarrollo de formas complejas. Los algoritmos, como motores de cálculo centrales en el software paramétrico, permiten generar geometrías altamente precisas y eficientes, adaptadas a parámetros de confort y cumplimiento normativo actualizados. Este enfoque no solo optimiza el proceso de diseño, sino que también asegura que las soluciones arquitectónicas respondan a los estándares y demandas contemporáneas.

A partir de este punto, concebimos una estructura modular paramétrica como el resultado o disposición de módulos repetidos en base a parámetros de diseño a través de una superficie. La estructura se genera a partir del resultado de colocar un módulo básico con una misma forma en común, incrustarlo y repetirlo en una misma superficie para modificarlo y definirlo a través de sistemas de algoritmos o códigos de parámetros que se pueden desarrollar, probar y modificar con facilidad a través de los softwares de diseño paramétrico. Por lo general, relacionamos estas estructuras con construcciones provisionarias o soluciones de emergencia; no se produce una sola solución de la estructura modular, sino que al ser paramétrica nos brinda una familia de “n” soluciones.

En el ámbito académico, posterior a una extensa búsqueda bibliográfica se estudió los sistemas constructivos modulares, como el "muro pixel", desarrollado por Underléa Miotto Bruscato y Rodrigo García Alvarado de la Universidad del Bío-Bío, Chile, el cual ha demostrado ser un caso paradigmático de la aplicación del diseño paramétrico y la fabricación digital en la arquitectura. Este sistema, basado en la interconexión de placas entrelazables, permite la creación de estructuras auto-soportantes que pueden ser utilizadas en espacios públicos para actividades expositivas, culturales y sociales (Miotto & García Alvarado, 2010).

El "muro pixel" no solo representa una solución técnica innovadora, ofrece también un marco metodológico para la enseñanza y la investigación en arquitectura. Su desarrollo

desde cero, tanto en términos de algoritmo como de piezas, permite a los estudiantes y profesionales comprender los principios fundamentales del diseño paramétrico y la fabricación digital, así como su aplicación en proyectos reales Pastorelli, G. (2010).

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo explorar las metodologías de diseño paramétrico y fabricación digital aplicadas a la creación de estructuras paramétricas modulares, utilizando el "muro pixel" como caso de estudio. A través de un enfoque académico que combina revisión documental, desarrollo de algoritmos y experimentación práctica, se busca evaluar la viabilidad de estas tecnologías en la producción de estructuras flexibles y adaptables.

Actualidad y necesidad.

El diseño paramétrico y la fabricación digital han demostrado ser herramientas eficaces para la creación de estructuras modulares que responden a las demandas contemporáneas de flexibilidad, eficiencia y sostenibilidad. Estas tecnologías han sido ampliamente estudiadas y aplicadas en contextos académicos y profesionales, especialmente en países desarrollados. Sin embargo, su adopción en regiones como América Latina aún presenta desafíos significativos, tanto en términos de acceso a tecnologías como de formación académica.

Esta investigación no pretende resolver las lagunas existentes en la literatura, sino más bien experimentar a través de un marco metodológico la aplicación del diseño paramétrico y la fabricación digital en contextos específicos de la práctica académica, además, busca contribuir a la formación académica y profesional en arquitectura, proporcionando herramientas y procesos que permitan a los estudiantes y profesionales comprender y aplicar estas tecnologías en proyectos reales.

Implicaciones prácticas.

Esta investigación contribuye a la literatura al proporcionar un estudio detallado de la aplicación del diseño paramétrico y la fabricación digital en la creación de estructuras modulares, utilizando el "muro pixel" como caso de estudio. Además, ofrece un marco metodológico para la enseñanza y la investigación en arquitectura, que puede ser replicado en otros contextos académicos y profesionales (García & Lyon 2013).

Las principales implicaciones prácticas de este trabajo incluyen la posibilidad de crear estructuras modulares flexibles y adaptables que respondan a las demandas contemporáneas de sostenibilidad, reciclaje y eficiencia partiendo desde la práctica académica. Además, proporcionar herramientas y metodologías que pueden ser utilizadas por estudiantes y profesionales en la creación de elementos explorativos para el desarrollo de la práctica arquitectónica.

2. Metodología

La estructura se forma a partir de la disposición de un módulo básico con una forma común, el cual se inserta y repite sobre una superficie específica para luego ser modificado y definido mediante algoritmos o códigos de parámetros. Estos sistemas pueden ser desarrollados, probados y ajustados fácilmente utilizando software de diseño paramétrico, lo que permite asociar estas estructuras con construcciones provisionales o soluciones de emergencia en el marco de esta investigación, como se reflexiona en la figura 1. Cabe destacar que, al emplear un enfoque paramétrico, no se obtiene una única solución, sino una familia de “n” posibles soluciones, lo que brinda mayor versatilidad y adaptabilidad al diseño (Miotto & García Alvarado, 2010).

Figura 1

Relación muro pixel como estructura modular paramétrica.



Enfoque metodológico.

Se enmarca dentro de un diseño de tipo mixto, que combina enfoques cualitativos y cuantitativos para abordar el problema de estudio desde una perspectiva integral. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), los diseños mixtos permiten complementar las fortalezas de ambos enfoques, lo que resulta especialmente útil en estudios que buscan explorar y validar resultados de manera simultánea. El nivel de investigación es descriptivo-explicativo, ya que no solo se busca describir las características de las estructuras paramétricas modulares, sino también explicar los procesos y metodologías que permiten su desarrollo y aplicación. La modalidad de investigación es aplicada, dado que se enfoca en la resolución de un problema específico: la creación de estructuras modulares adaptables mediante diseño paramétrico y fabricación digital.

El método de investigación se basa en un enfoque sistemático que integra la revisión documental, el desarrollo de algoritmos paramétricos y la experimentación práctica. Primero, se realiza una revisión de la literatura especializada para identificar los fundamentos teóricos y las mejores prácticas en diseño paramétrico y fabricación digital. Luego, se desarrolla un algoritmo paramétrico utilizando software especializado (como Grasshopper) para generar una familia de soluciones modulares. Finalmente, se procede a la fabricación y ensamblaje de prototipos físicos, los cuales son evaluados en términos de viabilidad técnica y adaptabilidad a diferentes contextos. Las técnicas de

investigación incluyen el análisis de casos de estudio, la simulación digital y la validación práctica mediante pruebas de ensamblaje y funcionalidad (Sampieri, 2018).

El estudio se basó en un enfoque académico que combina métodos cualitativos y cuantitativos para abordar los objetivos de investigación. La metodología se dividió en tres fases principales: revisión documental, desarrollo de algoritmos y experimentación práctica.

Fase 1: Revisión Documental y Marco Teórico

La investigación partió de un análisis bibliográfico exhaustivo, centrado en el sistema constructivo denominado "muro pixel", desarrollado por Underléa Miotto Bruscato y Rodrigo García Alvarado de la Universidad del Bío-Bío, Chile. Este sistema, basado en la fabricación digital y el diseño paramétrico, utiliza placas entrelazables para crear estructuras modulares auto-soportantes. La revisión incluyó artículos científicos, libros y tesis que abordan el diseño paramétrico, la fabricación digital y las estructuras modulares, con el fin de establecer un marco teórico sólido para la investigación.

Fase 2: Desarrollo del Algoritmo Paramétrico y la Pieza Específica

A partir del análisis detallado y deducciones gráficas del "muro pixel", se desarrolló un algoritmo paramétrico desde cero utilizando el software Rhinoceros y su complemento Grasshopper. Este algoritmo permitió definir las dimensiones, curvaturas y materialidad de las piezas modulares, así como su disposición en estructuras más complejas. El proceso incluyó: la definición de parámetros y se establecieron variables como el tamaño de las placas, la profundidad de las ranuras y el ángulo de inclinación, posterior a ellos se generación de geometrías: A través de operaciones matemáticas y geométricas, se crearon las formas base de las piezas modulares y finalmente se optimizó del diseño: Se ajustaron los parámetros para garantizar la estabilidad estructural y la eficiencia en la fabricación.

Fase 3: Fabricación y Ensamblaje de Prototipos

Una vez desarrollado el algoritmo, se procedió a la fabricación de prototipos a escala en un laboratorio de fabricación digital (Fab Lab de la UTPL), en el cual se utilizaron materiales como cartón, MDF y cartón prensado para evaluar la viabilidad de las estructuras modulares en diferentes contextos. El proceso incluyó la implementación de corte láser: Las piezas fueron cortadas con precisión utilizando una cortadora láser, siguiendo las especificaciones del algoritmo. Las piezas se ensamblaron manualmente, a través un patrón predeterminado para garantizar la estabilidad de la estructura.

Proceso de diseño, fabricación digital y materialidad.

El diseño paramétrico, implementado a través de software especializado, permite la creación de algoritmos que determinan la geometría, cantidad de piezas, curvaturas, secuencias de ensamblaje y materiales necesarios para la fabricación de sistemas constructivos. Este enfoque facilita la optimización de la estructura, asegurando su capacidad de auto-soportarse y ofrecer soluciones funcionales en términos de ventilación y acústica (Hurtado, 2009). Una vez definido el diseño, las piezas son fabricadas mediante cortadora láser y montadas sobre una estructura temporal, siguiendo una secuencia preestablecida que garantiza la estabilidad y funcionalidad.

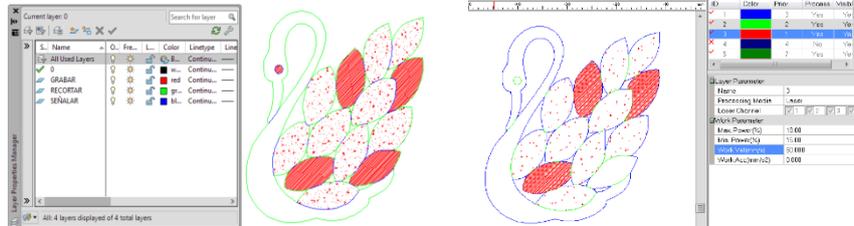
Las aperturas y la disposición de los elementos estructurales se estudian digitalmente mediante secuencias de entrelazamiento ortogonal, generando paramentos continuos con grados variables de apertura. Los prototipos resultantes se someten a pruebas para evaluar propiedades físicas como estabilidad, iluminación y tratamiento acústico. Las curvaturas de las superficies se resuelven mediante la configuración de ranuras curvas, que proporcionan mayor soporte estructural y diversidad formal (LaMetro, 2023).

La selección de materiales para el muro pixel está condicionada por el desempeño requerido y las superficies que este debe cubrir. Entre los materiales más utilizados se encuentran la madera reconstituida, paneles de MDF, melamina, fibrocemento, plástico, cartón y metal. Sin embargo, dada la naturaleza efímera de este tipo de estructuras, se prefieren planchas reconstituidas de residuos de madera debido a su capacidad estructural, versatilidad formal, rapidez de montaje, costos reducidos y bajo impacto ambiental (Cuaresma, 2010).

El proceso de diseño y fabricación de un módulo requiere una cadena de procedimientos técnicos que incluyen la preparación de herramientas, maquinaria y materiales. Este enfoque sistemático permite optimizar tiempo y recursos, minimizando errores y desperdicios. La configuración del dibujo en el software SmartCarve 4.3 es fundamental para garantizar una correcta interpretación por parte de la cortadora láser. Los elementos del dibujo deben organizarse en capas según su función (corte, señalización o grabado), asignando valores específicos de intensidad y velocidad para cada operación, verificar en figura 2. Posterior a ellos el archivo, como se muestra en la figura 2, debe guardarse en formato DXF para asegurar su compatibilidad con el software (Caparo, M. 2020).

Figura 2

Dibujo previo al corte de una artesanía digital.

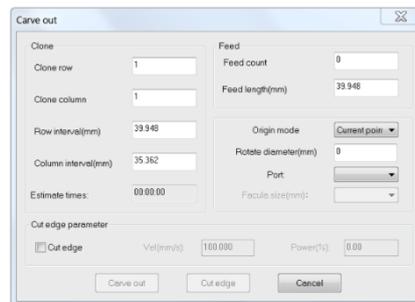


Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigüe, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

El proceso de corte comienza con el encendido secuencial del regulador de voltaje, la cortadora láser y el panel de control. Una vez posicionado el material, se utiliza la función "Cut Edge" para verificar que el área disponible sea suficiente para el corte. Tras confirmar las dimensiones, se fija el origen del corte y se procede a la ejecución del proceso, activando el supresor de humo y ajustando la intensidad del láser, como se muestra en la figura 3. Finalizado el corte, las piezas se retiran y clasifican para su uso o reciclaje, mientras que los residuos se desechan de manera responsable.

Figura 3

Programación y Datos en el Corte Laser.



Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigüe, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

3. Resultados

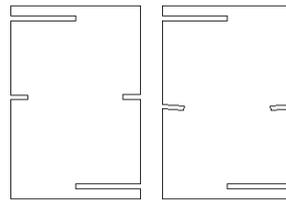
A través de la práctica académica como abordaje proyectual se presenta avances significativos en el diseño y optimización de estructuras modulares paramétricas diseñadas para espacios públicos, cuidando el énfasis en la eficiencia material y la adaptabilidad geométrica.

Análisis ergonómico y material previo al dimensionamiento modular.

El estudio partió del análisis de referentes materiales y geométricos, identificando la necesidad de un módulo base variable que pudiera adaptarse a diferentes dimensiones según el material utilizado. Esta condición de diseño permitió establecer un rectángulo divisor como dimensión mínima, optimizando el uso de recursos y garantizando flexibilidad en la configuración modular. Para su aplicación en espacios expositivos, se fijó una altura mínima de 2.20 m, dimensionando así los objetos principales que delimitarían un pabellón de exposiciones.

Figura 4

Piezas digitales para la generación del muro pixel lineal y curvo.

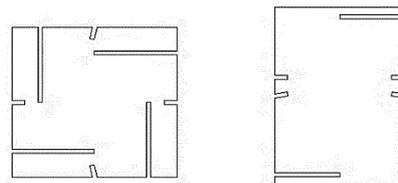


Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigüe, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

La geometría base del proyecto se inspiró en el Muro Pixel tradicional, compuesto por módulos rectangulares con ranuras en posiciones variables, que permiten su adaptación a formas rectas o curvas. A partir de la configuración del referente, se mejoró el diseño mediante técnicas de prototipado rápido, generando piezas únicas con códigos de ubicación en dos o tres ejes dimensionales. Este enfoque, aunque implicó un trabajo adicional de re-enumeración y ordenamiento, aseguró que cada pieza cumpliera con su objetivo formal y estructural, como se lo muestra en la Figura 4. La simplificación del diseño se logró al concebir una forma regular para el pabellón, lo que permitió utilizar módulos iguales en toda su extensión, revisar figura 5, con ranuras rectas para configuraciones lineales e inclinadas para formas curvas.

Figura 5

Piezas digitales para muro pixel con ranuras combinadas.

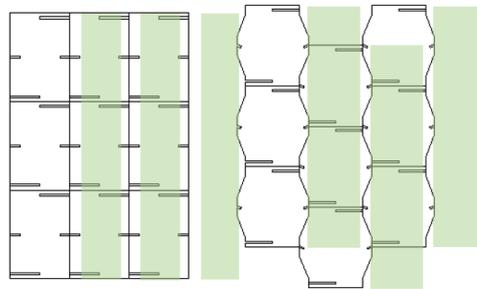


Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigüe, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

Se exploraron dos configuraciones principales de ranuras: una con cuatro ranuras mayores y cuatro menores (dos inclinadas y dos rectas), y otra con una ranura angular en la parte intermedia y una recta en la superior. Tras ensayos en prototipos a escala y simulaciones virtuales, se seleccionó la segunda configuración por su mayor simplicidad y eficiencia estructural, ya que reduce el número de ranuras y facilita el proceso de armado, obteniendo la primera aproximación final dibujada en la Figura 6. Esta solución no solo optimiza el soporte estructural, sino que también minimiza la complejidad en la fabricación y montaje.

Figura 6

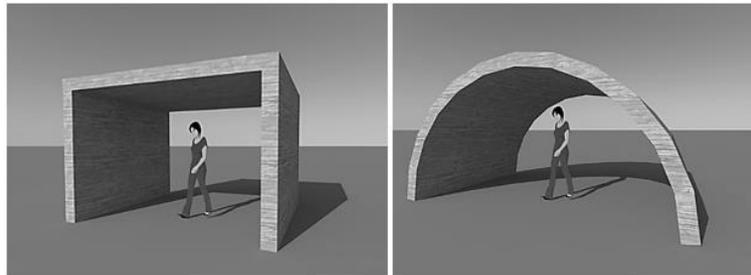
Piezas digitales para muro pixel con ranuras combinadas.



Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigüe, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

Configurando la estructura.

En la segunda fase del estudio, se definió la configuración estructural del módulo, optando por una variación de la forma rectangular convencional del Muro Pixel. Para ello, se incorporaron "aletas" intermedias en la forma base, lo que permitió ampliar el área de cobertura y mejorar la estética orgánica del diseño. Estas modificaciones no solo incrementaron la funcionalidad del módulo, sino que también aportaron una mayor versatilidad en su aplicación para espacios expositivos. La forma final del prototipo se justifica por la necesidad de crear un elemento de cobertura espacial autosostenible, capaz de soportar cargas estructurales mientras cumple con su función expositiva.

Figura 7*Pórtico base para pabellón de exposiciones*

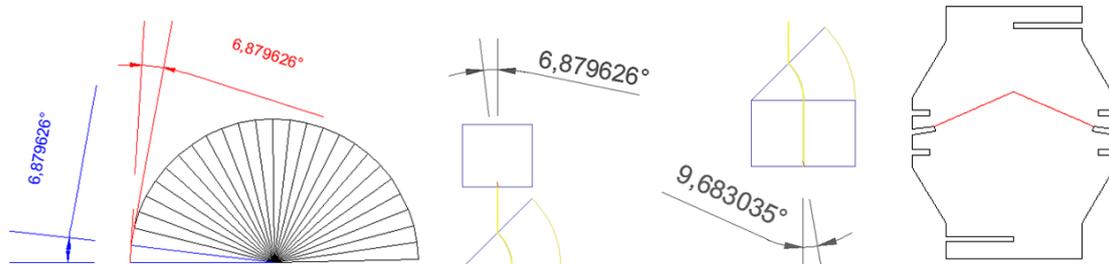
Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigüe, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

Se exploraron dos configuraciones principales para la estructura del pabellón: un pórtico recto y una bóveda curva. El pórtico, compuesto por columnas y una cubierta superior, se diseñó con dos muros portantes laterales que permiten un ensamble modular eficiente y estable, como se observa en la Figura 7. Por otro lado, la bóveda, use concibió como una estructura autoportante que distribuye las cargas desde su punto más alto hacia los laterales, garantizando estabilidad y funcionalidad en espacios cubiertos. Ambas configuraciones se desarrollaron con un radio base de 2.20 m, asegurando su adaptabilidad a diferentes necesidades espaciales.

Para garantizar la precisión en el diseño de las ranuras en estructuras curvas, como la bóveda, se realizaron cálculos geométricos detallados. Partiendo de una semicircunferencia de 2.5 m de radio, se determinó el ancho útil de los módulos (0.30 m) descontando el espacio ocupado por las ranuras laterales (0.03 m cada una). Sin embargo, la inclinación de las ranuras variaba según el radio de la bóveda, lo que requirió un análisis geométrico más profundo. Utilizando geometría descriptiva, se calcularon los ángulos reales de las ranuras, ajustando las proyecciones para garantizar su correcta implementación en la estructura, como se lo muestra en la Figura 8. Este proceso aseguró que las ranuras cumplieran con su función estructural y formal, incluso en configuraciones curvas.

Figura 8

Cálculos geométricos para obtención de ranuras en los módulos.



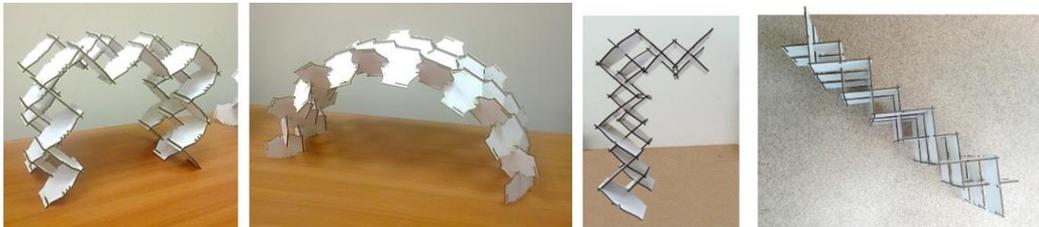
Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigüe, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

Fabricación: prototipos y ensayos.

Una vez definidos los elementos esenciales para la fabricación del módulo (geometría, dimensiones y configuración de ranuras), se procedió a la preparación del prototipo en el laboratorio de fabricación digital. Este proceso incluyó la optimización del diseño para garantizar la eficiencia en el uso de materiales y la precisión en la fabricación. La combinación de las ranuras en el módulo se implementó mediante la modificación del dibujo digital, asegurando que la disposición de las piezas maximizara el aprovechamiento del material. y reduciendo el tiempo de fabricación y minimizar el desperdicio de material.

Tras configurar la intensidad y velocidad adecuadas para el corte láser, se procedió a la preparación de la máquina y el material. Este proceso garantizó la precisión en la fabricación y facilitó el ensamblaje posterior. Las piezas se dividieron en dos grupos principales. El primer grupo consistió en piezas similares sin un orden específico, destinadas a la construcción del pabellón en forma de pórtico utilizando ranuras rectas. El segundo grupo requirió una organización más detallada, ya que las ranuras debían intercalarse para garantizar el correcto ensamblaje del módulo curvo. En este caso, la orientación de las ranuras siguió un patrón en forma de "^", con la parte inferior apuntando siempre hacia el centro de la semicircunferencia.

Para el pabellón recto, el ensamblaje consistió en alinear las piezas según la dirección de las ranuras, asegurando que estas coincidieran correctamente. Se construyó una primera fila, seguida de filas adicionales, respetando la orientación de las ranuras en cada paso. En el caso del pabellón curvo, el proceso fue similar, pero con una atención especial a la dirección de las ranuras, que debían apuntar hacia el centro de la semicircunferencia. Las piezas se ensamblaron en filas, respetando la orientación de las ranuras para garantizar la estabilidad estructural.

Figura 9*Ensayos del pabellón, pórtico y bóveda.*

Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigue, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

Los ensayos iniciales se realizaron en cartón maqueta, material que demostró una excelente relación entre el tamaño de la pieza y su espesor, proporcionando una alta inercia y resistencia como se lo demuestra en el Figura 9. Tanto el pabellón recto como el curvo mostraron un desempeño satisfactorio, validando la viabilidad del diseño.

El primer ensayo a tamaño real se realizó en cartón, material con baja inercia en relación al tamaño de las piezas. Mientras que el pabellón recto funcionó correctamente, transfiriendo las cargas verticalmente sin problemas, el pabellón curvo presentó dificultades. La falta de resistencia del material provocó que las ranuras laterales se doblaran, requiriendo soportes adicionales para mantener la estructura.

Figura 10*Ensayos del pabellón curvo en MDF.*

Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigue, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

El uso de cartón prensado, material con mayor resistencia e inercia, confirmó la hipótesis de que la estabilidad del pabellón curvo depende del material utilizado. Aunque el pabellón recto funcionó sin problemas, el curvo requirió soportes adicionales, lo que indicó que el diseño no era el problema, sino las propiedades del material. Finalmente, se realizaron ensayos en MDF, material con una relación óptima entre espesor y resistencia. Ambos pabellones, recto y curvo, mostraron un desempeño satisfactorio, validando la viabilidad del diseño y la importancia de seleccionar materiales adecuados para cada aplicación, como se demuestra en la figura 10.

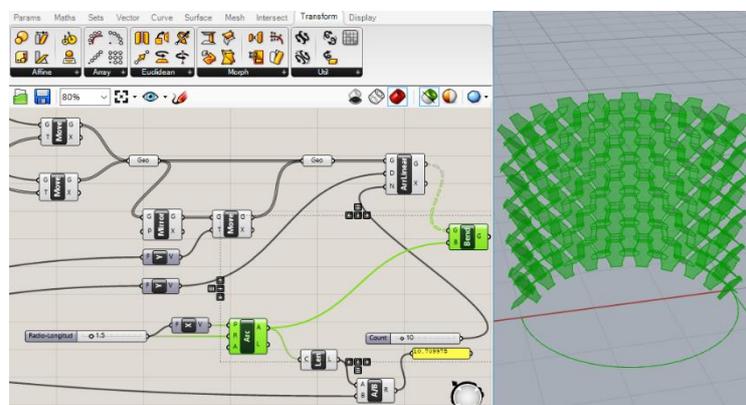
Prototipo Final

En esta fase del proyecto de investigación, se implementó un cambio en la metodología de diseño, transitando desde enfoques geométricos tradicionales (CAD) hacia un enfoque evolutivo basado en procesos paramétricos. Este cambio permitió la generación de un módulo paramétrico mediante una cadena de procesos interconectados, donde la modificación de parámetros iniciales (altura, ancho, profundidad, radio) generaba resultados en tiempo real. Este enfoque no solo optimizó el diseño, sino que también facilitó la adaptabilidad del módulo a diferentes condiciones y requerimientos.

Tras un análisis comparativo de diversas herramientas, se identificó que estas ofrecían soluciones limitadas en términos de flexibilidad y modelado paramétrico. Por ello, se optó por Rhinoceros 5, un software que combina la libertad de dibujo de CAD con las capacidades de modelado 3D, complementado con el plu-in Grasshopper, que permite la creación de algoritmos paramétricos. Juntos permiten la manipulación dinámica de valores dentro de una secuencia lógica como se aprecia en la figura 11, lo que resulta ideal para la configuración de módulos adaptables.

Figura 11

Grasshopper, configuración de algoritmos.

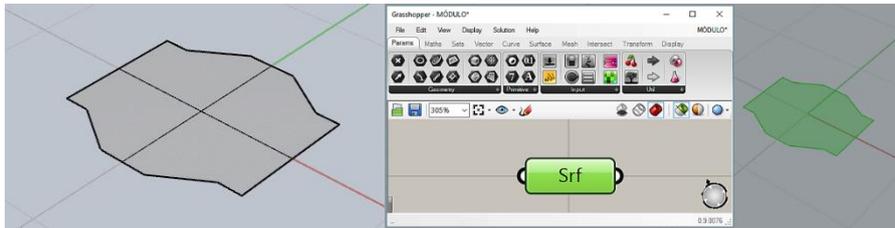


Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigue, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

El proceso parte de la definición del módulo base en Rhinoceros, dibujado dentro de un rectángulo de 1m x 1m (escala 1:1). Este módulo fue importado a Grasshopper, donde se configuró como una superficie (SFR) para su manipulación paramétrica, como se muestra en la figura 12. Para optimizar el proceso, se ocultó el módulo en Grasshopper, evitando interferencias visuales durante la configuración del algoritmo. Adicionalmente, se incorporaron RhinoScripts para facilitar la materialización del diseño. Estos scripts permitieron asignar espesores a las intersecciones generadas en Grasshopper y optimizar la disposición de las piezas en el plano de corte, minimizando el desperdicio de material.

Figura 12

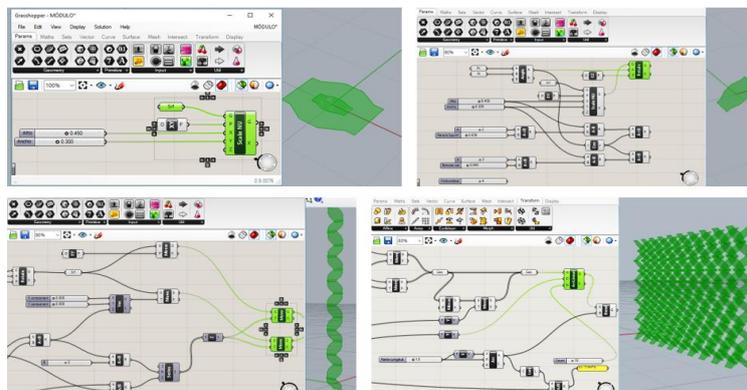
Módulo insertado como valor en Grasshopper.



El algoritmo en Grasshopper se estructuró en tres etapas principales: pre-dimensionamiento paramétrico, seriado de módulos y configuración final para la fabricación. En la primera etapa, se definieron los parámetros básicos del módulo, como altura, ancho, profundidad y radio. Estos valores se ajustaron mediante operaciones matemáticas (senos, cosenos, multiplicaciones y divisiones) para garantizar la precisión en las dimensiones y la disposición de las ranuras.

Figura 13

Escala del módulo en Grasshopper.



Nota: Primeros valores y operaciones matemáticas en Grasshopper, seriado de los módulos en columna y Seriado horizontal de las columnas.

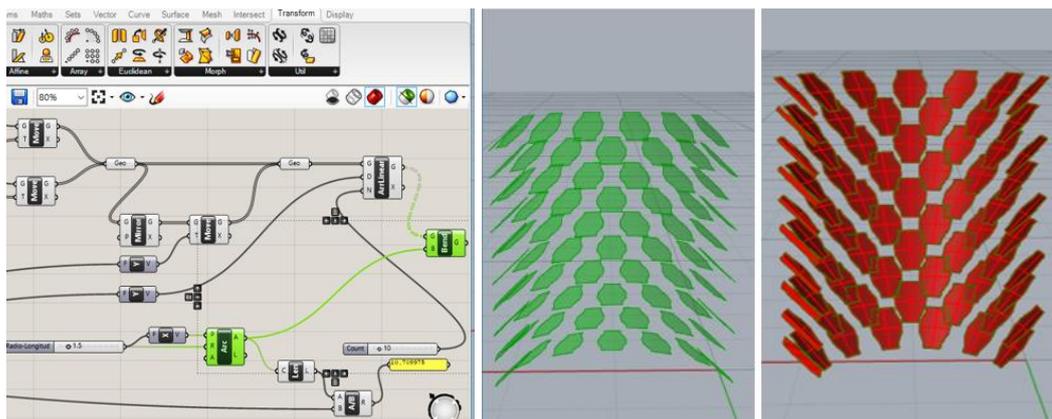
En cuanto al proceso de seriado, el módulo único se serió en el eje Z para formar columnas, las cuales se replicaron en el eje X para generar el muro completo, revisar figura 13. Este proceso incluyó la creación de una matriz lineal que permitió la disposición de las columnas según el ancho útil del módulo, optimizando la distribución espacial, en este contexto, Khan y Awan (2018) desarrollaron una técnica innovadora llamada Space-filling-GDT (Sf-GDT), que permite explorar variantes óptimas de diseño para modelos CAD variantes que podría ser ensayada como alternativa de modelado.

Para el muro curvo, se añadió un parámetro adicional mediante la herramienta Bend, que deformó la estructura recta en un arco de radio definido. Este proceso requirió el cálculo del perímetro de la semicircunferencia y su división entre el ancho útil del módulo, asegurando una distribución uniforme de las piezas.

Una vez configurado el algoritmo, se procedió a la materialización del diseño en Rhinoceros. Las piezas paramétricas generadas en Grasshopper se convirtieron en objetos sólidos mediante el comando Bake, asignándolas a capas específicas para facilitar su manipulación. Las ranuras se generaron utilizando el script RhinoRibs, que permitió definir su espesor según el material seleccionado. Finalmente, las piezas se ordenaron en el plano de corte mediante el script RhinoNest, optimizando el uso del material.

Figura 14

Seriado radial

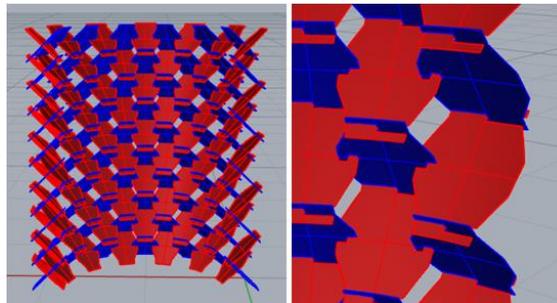


Nota: Piezas virtuales editables en Grasshopper (izq.) y solidificadas en Rhinoceros (der.).

El ensamblaje del muro recto consistió en la disposición secuencial de las piezas, respetando la orientación de las ranuras. Para el muro curvo como se aprecia en la figura 15, las piezas se organizaron en parejas, alternando la dirección de las ranuras para garantizar la estabilidad estructural.

Figura 15

Ensamble virtual del muro curvo.

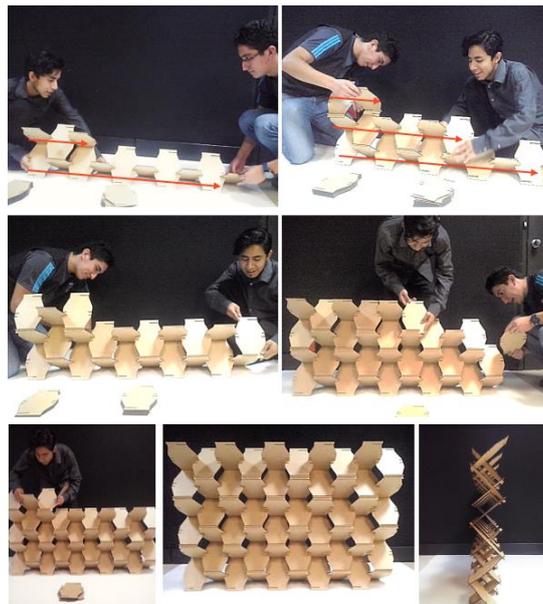


Evaluación del Prototipo Final

La evaluación del prototipo final del muro pixel se centró en tres aspectos clave: el diagnóstico arquitectónico (modelado, estructura y materialidad), la viabilidad estructural según el material y la forma, y su potencial de implantación como elemento urbano arquitectónico. Como lo señalan Martins y Sousa (2014), la fabricación digital en el concreto ofrece oportunidades únicas para la innovación en la arquitectura, aunque también presenta dificultades técnicas que deben superarse. A continuación, se presentan los hallazgos más relevantes.

Figura 16

Ensamble virtual del muro curvo.



Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigie, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

Diagnóstico de Modelado

El muro pixel demostró una libertad de diseño significativa, permitiendo la generación de múltiples configuraciones a partir de un módulo base. La adaptabilidad del diseño a diferentes formas, desde muros rectos hasta estructuras curvas, evidenció su potencial para crear superficies dinámicas y funcionales, como se observa en el ensamblaje de la figura 16. Los patrones generados por la disposición de los módulos no solo cumplieron con los requisitos estructurales, sino que también aportaron un valor estético al objeto, integrando forma y función de manera coherente.

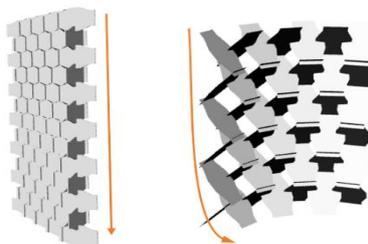
La sinuosidad de las formas fue directamente influenciada por la resistencia del material utilizado. Los ensayos demostraron que materiales con mayor rigidez permiten una mayor flexibilidad en el diseño, mientras que materiales más flexibles limitan las posibilidades formales. La resistencia estructural del muro pixel dependió en gran medida del espesor del material en relación con el tamaño del módulo. Los ensayos realizados en el Fab Lab permitieron identificar que, a mayor escala del módulo, mayor debe ser el espesor del material para garantizar la estabilidad estructural. Esto se debe a que las cargas se distribuyen de manera angular (45°), requiriendo una rigidez óptima para contrarrestar las fuerzas internas.

Según la Forma y el Ensamblado

La disposición de los módulos en zigzag horizontal demostró ser eficiente para muros rectos, ya que las cargas se distribuyen de manera uniforme, minimizando la necesidad de materiales de alta resistencia. Sin embargo, en configuraciones curvas, la disposición en zigzag vertical requirió materiales con mayor inercia para soportar las cargas transmitidas de manera angular, como se explica en la figura 17. Además, la longitud de las ranuras influyó directamente en la resistencia estructural. Ranuras más largas permitieron una mayor trabazón entre módulos, aumentando la firmeza de la estructura, especialmente en configuraciones curvas.

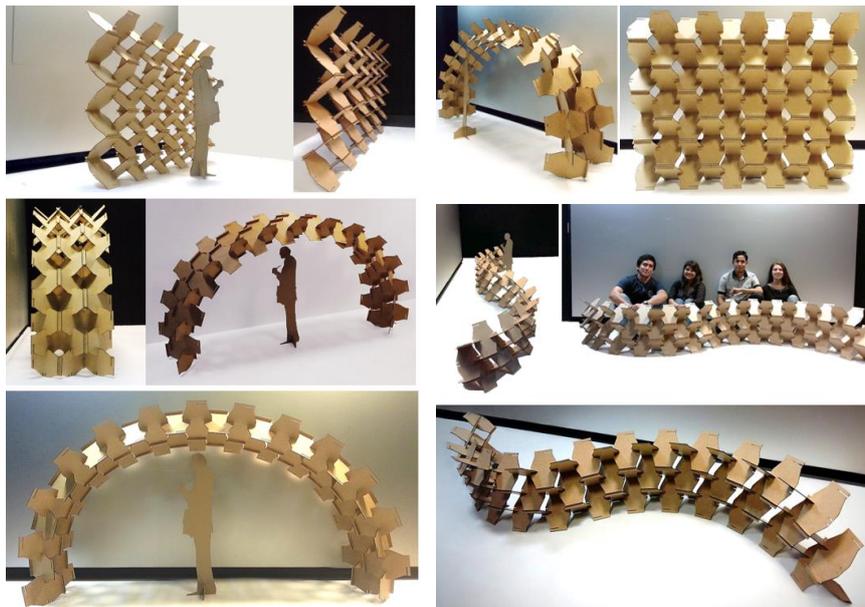
Figura 17

Comparación entre zigzag horizontal (rigidez) y zigzag vertical (flexibilidad).



Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhiguo, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

El muro pixel se propone como una estructura formal y espacial adaptable a diferentes contextos efímeros urbanos. Su capacidad para delimitar espacios y generar ambientes expositivos lo convierte en una solución versátil para actividades culturales, sociales y comerciales en el espacio público. La estructura puede funcionar como un elemento de emergencia o como una cobertura temporal, adaptándose a las necesidades específicas de cada entorno. La implantación del muro pixel, como se observa en la figura 18, en espacios provisionales no solo responde a una necesidad funcional, sino que también aporta un valor estético y simbólico. Su diseño modular y adaptable permite generar estructuras con un fuerte carácter sugestivo, capaces de representar ideas y conceptos a través de su forma y disposición.

Figura 18*Prototipo Final*

Nota. Adaptada de Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición (Lara & Zhigue, 2016). Copyright 2025 por F. A. Lara.

4. Conclusiones

- La comparación entre el método geométrico y el digital revela que el método digital paramétrico es más adecuado para proyectos que requieren flexibilidad, optimización de materiales y adaptabilidad a cambios frecuentes. Por otro lado, el método geométrico resulta útil en contextos donde la simplicidad y la rapidez son prioritarias, especialmente en diseños regulares y de baja complejidad. La elección del método dependerá de los objetivos del proyecto, los recursos disponibles y la experiencia del equipo de diseño. En futuras investigaciones, se

recomienda explorar la integración de ambos enfoques para aprovechar las ventajas de cada uno en diferentes etapas del proceso de diseño y fabricación.

- A pesar de los avances en el campo, aún existen lagunas en la literatura respecto a la aplicación práctica del diseño paramétrico y la fabricación digital en contextos específicos, así como en la práctica académica y su uso como elementos del espacio públicos urbanos. Además, se requiere mayor investigación sobre la viabilidad económica y técnica de estas tecnologías en regiones con recursos limitados. También es necesario explorar cómo estas herramientas pueden ser integradas en los currículos académicos para formar a futuros profesionales en el uso de estas tecnologías.
- El diseño paramétrico emerge como una herramienta esencial en la arquitectura y fabricación digital, destacándose por su capacidad para generar estructuras auto-soportantes con uniones modulares y características adaptables a construcciones temporales. Su implementación no solo optimiza procesos clave como el análisis estructural, la estimación de costos y la simulación física, sino que también facilita la exploración de formas innovadoras en los ámbitos arquitectónico e industrial, promoviendo su viabilidad constructiva mediante técnicas digitales. Además, el modularidad inherente a este enfoque permite una producción masiva eficiente, lo que impulsa la precisión y escalabilidad en la fabricación digital, consolidando así su potencial transformador en la práctica contemporánea del diseño y la construcción.
- El prototipo final demostró la viabilidad del diseño paramétrico y la fabricación digital en la creación de estructuras modulares adaptables. El uso de Grasshopper permitió la generación de múltiples soluciones a partir de un único algoritmo, optimizando tanto el diseño como la fabricación. Además, la integración de scripts como RhinoRibs y RhinoNest facilitó la materialización del diseño, reduciendo el tiempo y el desperdicio de material, lo cual es un indicador de potencia en la capacidad compositiva de la practica académica. Según Rahimian et al. (2021), la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 en el diseño y la construcción de edificios puede optimizar procesos, reducir costos y fomentar la colaboración entre disciplinas.

5. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

6. Declaración de contribución de los autores

Todos autores contribuyeron significativamente en la elaboración del artículo.

7. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores.

8. Conflicto de intereses

Los autores deben declarar si existe o no conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

9. Referencias bibliográficas

Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 287-300. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>

Caparo Peña, M. M. (2020). *Proyecto de estructuras modulares y paramétricas en un entorno integrado Grasshopper – SOFiSTiK* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Ecuador]. <https://oa.upm.es/66317/>

Cuaresma, J. (2010). El Sistema Constructivo “Muro Píxel”. *Arquitecto24/7*. <https://jorgecuaresma.wordpress.com/2010/04/20/el-sistema-constructivo-%e2%80%9cmuro-pixel%e2%80%9d/>

García Alvarado, R., & Lyon Gottlieb, A. (2013). Diseño paramétrico en arquitectura; método, técnicas y aplicaciones. *Arquisur Revista*, 3(31), 16–27. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/50683>

Guilar, M. E., (2009). Las ideas de Bruner: "de la revolución cognitiva" a la "revolución cultural". *Educere*, 13(44), 235-241. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35614571028>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Hurtado, P. (2009). *Metodología y Aplicaciones de Diseño Paramétrico*. Universitat Politècnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59042/TFM%20-%20Hurtado%20Silva%2C%20P.M..pdf>

Khan, S., & Awan, M. J. (2018). A generative design technique for exploring shape variations. *Advanced Engineering Informatics*, 38, 712-724. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.10.005>

- LaMetro. (2023). *Diseño paramétrico y fabricación digital*. La Metro.
<https://lametro.edu.ec/disenio-parametrico-y-fabricacion-digital/>
- Lara Orellana, F. A., & Zhigue Álvarez, J. J. (2016). *Estructuras modulares paramétricas para espacios públicos de exposición* [Trabajo de Titulación, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador].
<http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/14914>
- Martins, P. F., & Sousa, J. P. (2014). *Digital fabrication technology in concrete architecture*. ECAADE. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2014.1.475>
- Miotto Bruscatto, U., & García Alvarado, R. (2010). *Muro-pixel: exploración digital de un sistema constructivo de placas entrelazables*. SIGRADI.
https://itc.scix.net/pdfs/sigradi2010_205.content.pdf
- Pastorelli, G. (2010). *El Sistema Constructivo "Muro Píxel"*. ArchDaily.
<https://www.archdaily.cl/cl/02-40987/el-sistema-constructivo-%25e2%2580%259cmuro-pixel%25e2%2580%259d>
- Rahimian, F. P., Goulding, J. S., Abrishami, S., Seyedzadeh, S., & Elghaish, F. (2021). *Industry 4.0 solutions for building design and construction: A paradigm of new opportunities*. Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781003106944>
- Sampieri, R. H. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
http://www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales_de_consulta/drogas_de_abuso/articulos/sampierilasrutas.pdf
- Valdivieso, M. (2014). *Parametricismo Digital: proceso de diseño y construcción arquitectónico* [Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador]. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/10855>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

