



RECIBIDO EL 6 DE OCTUBRE DE 2019 - ACEPTADO EL 10 DE ENERO DE 2020

OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y ARQUITECTÓNICA DESDE LÓGICAS TOPOLÓGICAS A SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE ARQUITECTURA EN TIERRA EN PELAYA, CESAR

STRUCTURAL AND ARCHITECTURAL OPTIMIZATION FROM TOPOLOGICAL LOGICS TO CONSTRUCTIVE SOLUTIONS FOR LAND ARCHITECTURE IN PELAYA CESAR

Innias Miguel Cadena- González¹

Julio Alfredo Delgado-Rojas²

Mawency Vergel-Ortega³

Universidad Francisco de Paula Santander,

Cúcuta, Colombia

¹ Departamento de Arquitectura y Urbanismo, Facultad educación, artes y humanidades, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. inniasmiquelcg@ufps.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-3616-3077>

² Departamento de Matemáticas y Estadística, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia julioalfredo@ufps.edu.co <https://orcid.org/0000-0001-6944-832X>

³ Departamento de Matemáticas y Estadística, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. . . mawency@ufps.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-8285-2968>

RESUMEN

La investigación se centra en la problemática actual de los sistemas constructivos basados en acero y concreto con alto valor contaminante que han remplazado en gran medida el uso de materiales vernáculos como la tierra en procesos constructivos, subestimando por completo los factores de sostenibilidad que el material posee. El uso de sistemas sustentable se justifica por la necesidad de nuevos modelos de desarrollo sostenible en la construcción tras la crisis energética de la actualidad, donde a nivel mundial y nacional la tendencia de su uso es positiva pero regionalmente, el Cesar refleja poca apropiación del material, por lo que la investigación presenta como objetivo general el Aplicar lógicas de optimización topológica estructural y arquitectónica a la arquitectura en tierra en el municipio de Pelaya, Cesar, logrando determinar ventajas de las técnicas de arquitectura de tapia y bahareque para optimización topológica, con resultados que sugieren la intervención de estos modelos de diseño para generar sistemas constructivos que respondan a la normativa estructural de construcción colombiana articulados con sistemas constructivos en tierra con alto confort térmico.

ABSTRACT

The research is focused on the current problems of construction systems based on steel and concrete with a high polluting value that have largely replaced the use of vernacular materials such as earth in construction processes, completely underestimating the sustainability factors that the material possesses. The use of sustainable systems is justified by the need for new models of sustainable development in construction after the current energy crisis, where at a global and national level the trend of its use is positive but regionally, The municipal of Caesar-Colombia, reflects little appropriation of the material, so the research presents as

a general objective to apply structural and architectural topological optimization logic to earthen architecture in the municipality of Pelaya, Cesar, managing to determine advantages of the techniques of architecture of tapia and bahareque for topological optimization, with results that suggest the intervention of these models of design to generate constructive systems that respond to the structural norms of Colombian construction articulated with constructive systems in land with high thermal comfort.

1. INTRODUCCIÓN

“Bajo el término de arquitectura de tierra se engloba toda la serie de estructuras en las que el suelo natural es acondicionado mediante procedimientos de humidificación, transformación y secado al sol, para edificar elementos constructivos que hagan posible la habitabilidad de los espacios” Guerrero (2007) [1] bajo esta definición la investigación se centra en la estructuración de un proyecto arquitectónico y la utilización de la tierra o suelo natural como material de construcción en la que la primera etapa se lleva a cabo un análisis de optimización estructural durante el diseño con SOLIDWORKS Simulation para lograr el mejor rendimiento de resistencia/peso, frecuencia o rigidez del diseño, y reducir la fabricación de costosos prototipos, eliminar las repeticiones, y ahorrar tiempo y costes de desarrollo.

El uso de esta tecnología ofrece una visión temprana de la forma óptima de la estructura para la definición de configuraciones que alcanzan una máxima resistencia con una reducción de masa considerable [2], donde a partir de una forma básica se definen las condiciones reales mediante la combinación de sujeciones y cargas de SolidWorks simulation. el estudio de topología genera resultados basados en objetivos y restricciones definidas por el usuario [3] como maximizar la resistencia y reducir la masa junto con controles de

fabricación como simetría, espesor y regiones preservadas para permitir las relaciones de posición entre el componentes y el mecanizado de acabados gracias al administrador de casos de carga el estudio de topología puede tener en cuenta incluso varios casos de carga a la vez así se obtiene un resultado más completo basado en el conjunto completo de condiciones experimentadas por la pieza estructural. En la segunda etapa se analizan los sistemas constructivos idóneos de arquitectura en tierra en la que centraliza el uso del bahareque por la posibilidad de optimización en la estructura y en la última fase se estudia la óptima disposición estructural para la articulación de la tierra como material de construcción en el contexto del municipio de Pelaya, Cesar.

2. OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA

A través de la simulación, se logra determinar una técnica de optimización topológica en la que se realiza un estudio que se enfoca directamente en la reducción del material de una pieza puntual a través de la definición de cargas a soportar, restricciones de movimiento y material, en la que se logran generar prototipos de optimización al diseño. Cada restricción y definición de parámetros es clave para el proceso topológico como se muestra en la figura 1, en la que se definen las cargas a soportar y la dirección que tendrán estas.



Figura 1. Restricción de parámetros de movimiento, material y definición de carga SolidWorks.

Esta técnica elimina material de una forma o espacio de diseño definido por el usuario para amplificar el rendimiento maximizando la relación rigidez / peso, y minimizando el desplazamiento para un conjunto dado de las condiciones de carga.

3. ANÁLISIS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

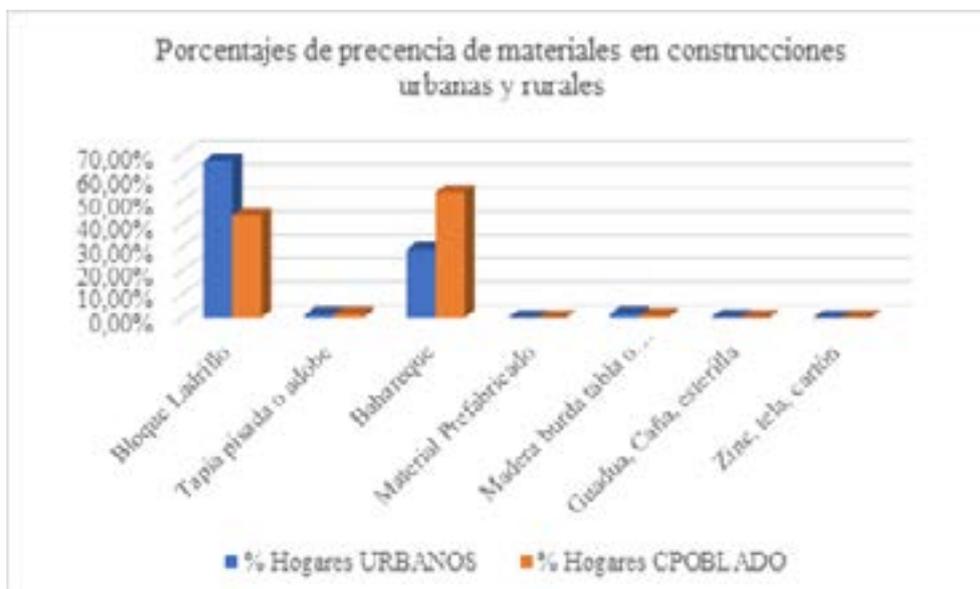
Para el análisis de soluciones constructivas se hace necesario depurar cuales técnicas presentan mayor incidencia en la región del municipio por lo cual se analizan los datos presentados por los entes departamentales en los que se logra apreciar tres sistemas constructivos como el adobe, tapia pisada y bahareque.

Tabla 1. Material predominante en paredes hogares urbanos y centro poblado

MATERIAL PREDOMINANTE	HOGARES	% H	HOGARES	% H
PAREDES	URBANOS	URBANOS	CENTRO POBLADO	CPOBLADO
Bloque Ladrillo	2293	67,05%	421	43,58%
Tapia pisada o adobe	52	1,52%	15	1,55%
Bahareque	1002	29,30%	519	53,73%
Material Prefabricado	4	0,12%	0	0,00%
Madera burda tabla o tablón	58	1,70%	9	0,93%
Guadua, Caña, esterilla	10	0,29%	1	0,10%
Zinc, tela, cartón	1	0,03%	1	0,10%
Total, general	3420	100,00%	966	100,00%

Fuente. Plan de desarrollo municipal de pelaya. 2016.

Claramente que la tendencia de construcción en tierra es el bahareque en lo que se logra identificar su relevancia frente a otros sistemas constructivos con se logra identificar en la gráfica.



Grafica 1. Basado en los datos del Plan de desarrollo municipal de pelaya. 2016.

Aunque la tendencia de los materiales de construcción se refleja con gran importancia en los materiales como el bloque de ladrillo o cemento [4], es clara que la marcada tendencia del bahareque es un factor fundamental en la utilización de la técnica constructiva con un 29,30% en lo urbano y un 53,73% como en lo periurbano o lo rural [5]. Es de aquí que el bahareque se identifica como la técnica de análisis estructural [6] y topológico [7] para generar una evolución en el sistema constructivo de tierra [8].

Primero se identifican las viviendas que articulan sistemas constructivos de este tipo en las que se analizan los estados físicos de las mismas. Además, se identifican si presentan una mixtura de materiales, en las que se refleja el uso de la tierra articulada con Zinc, concreto, cemento y otros materiales[9]. Por consiguiente, se identifican patologías claves que permiten un mejor análisis del comportamiento de sus estructuras y cómo afectan estas las características de resistencia del material y sus afectaciones estéticas den la obra, ya que estructuralmente lo que actúa es la madera en el sistema del bahareque. Patologías claves como las que muestra la figura 2, son la fracturación de las capas de recubrimiento, que son por deterioro y por movimiento de la estructura en madera.



Figura 2. Análisis de patologías, fracturación en las capas de recubrimiento.

En enfocan en las obras que manifiestan su esqueleto estructural [10] para definir asimismo la disposición estructural de cada uno de sus elementos; luego se replica la técnica a una escala menor para identificar la factibilidad en la disposición estructural, y ver que transformaciones óptimas permite el sistema de manera análoga, para luego generar simulación y ver que tan factible puede ser la exploración de una nueva disposición estructural.



Figura 3. Proceso de levantamiento análogo de la disposición estructural del bahareque.

Luego de la identificación de la disposición estructural se hace un modelo 3d que articule una posibilidad de optimizarla a través de la aplicación matemática topológica.

4. OPTIMIZACIÓN DE DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL.

Desde un módulo estructural que se articula al sistema constructivo en tierra basado en las restricciones de la normativa de sismo resistencia de Pelaya Cesar, se diseña una viga sólida en voladizo que está articulada en dos lugares y diseñada para transferir aproximadamente 5 MPa, a la cual se hace el análisis al problema de optimización de la topología que es similar a un análisis estructural estático [6], donde a través de la herramienta se simula el programa se configura el nuevo grupo de estudio de simulación. Se asigna un acero aleado, se definen las ubicaciones en el soporte que están articuladas y finalmente se aplican las condiciones de carga y una presión de 5 MPa en la cara indicada. el objetivo de estas herramientas de optimización suele maximizar la rigidez del componente y la restricción aquí será la masa, por lo que el problema es encontrar

la mayor rigidez al eliminar aproximadamente el 60% de la masa existente logrando imponer restricciones sobre dónde y cómo se remueve el material aunque las formas resultantes son más adecuadas para la fabricación aditiva, pueden adaptarse a los métodos de fabricación sustractivos tradicionales, como el moldeo por fundición o el estampado.

Continuando se agregan regiones preservadas y excluyen áreas para que la eliminación de material esté restringida alrededor de las ubicaciones de los orificios para mantener su ensamblaje [2], destacando que con la topología de SolidWorks, en la figura 4 se la zona de exclusión predefinida alrededor de las áreas de carga y aplicaciones de restricción y de la dirección de desmoldeo, donde el borde del soporte determinará automáticamente la línea central en ausencia de esta restricción, la eliminación del material podría dirigirse hacia el centro del modelo en lugar de los lados ahora para agregar más estabilidad y acelerar el análisis imponiendo simetría sobre el plano XY, por lo que un plano tendrá que estar predefinido en SolidWorks.

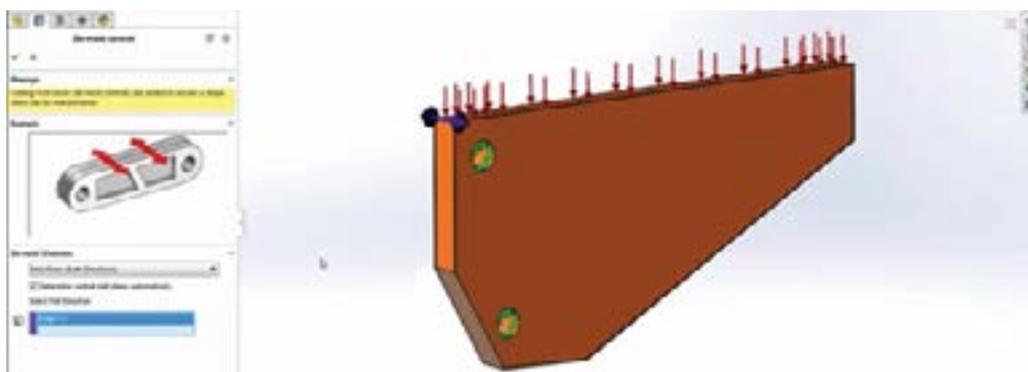


Figura 4. Aplicaciones de restricción y de la dirección de desmoldeo desde SolidWorks.

El solucionador utiliza un proceso de convergencia iterativo durante la fase de solución para los objetivos en la restricción para lograr un diseño óptimo y, por lo tanto, sus valores afectarán la forma final, ahora puede monitorear este proceso de convergencia y,

una vez que se converge la solución, tiene una opción final por envío cuando se completa el análisis, puede usar algunos de los las opciones de procesamiento posterior incorporadas para determinar cuánto material se puede eliminar y de dónde se pueden eliminar [2].

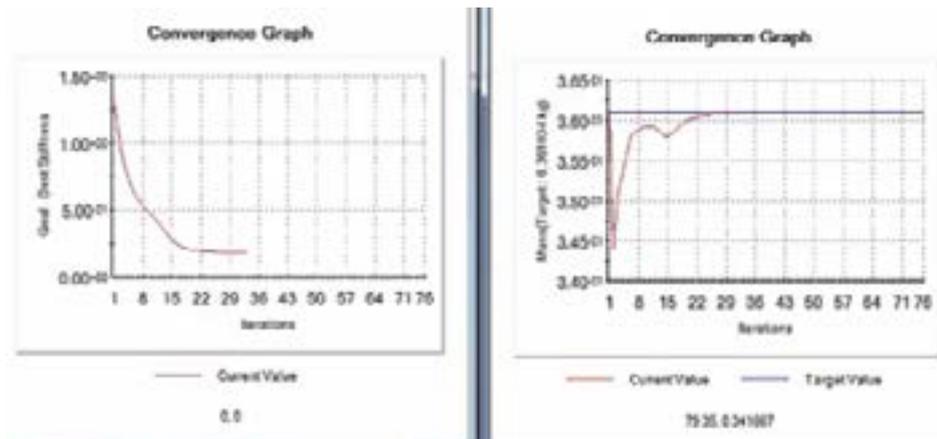


Figura 5. Grafica de convergencia iterativa de acuerdo a las restricciones.

También puede exportar el archivo STL que se puede utilizar para la impresión 3D o para generar la forma paramétrica. así la versión optimizada se genera usando algunas de las características estándar de SolidWorks probando así la forma final del modelo con las mismas condiciones de contorno, ya que la topología en el estudio, solo considera el orden de la aplicación de carga y no la magnitud absoluta [11].

Como beneficio adicional, también se configura un análisis de optimización [12] de forma con el estudio de diseño, solo para comparar los resultados se tiene un corte de ranura en el soporte controlado por tres dimensiones [13], variando estas tres dimensiones en un rango y determinando un diseño final que tenga un factor de seguridad mínimo de dos y un diseño que tiene aproximadamente un 40% menos de material sin comprometer su resistencia inicial.

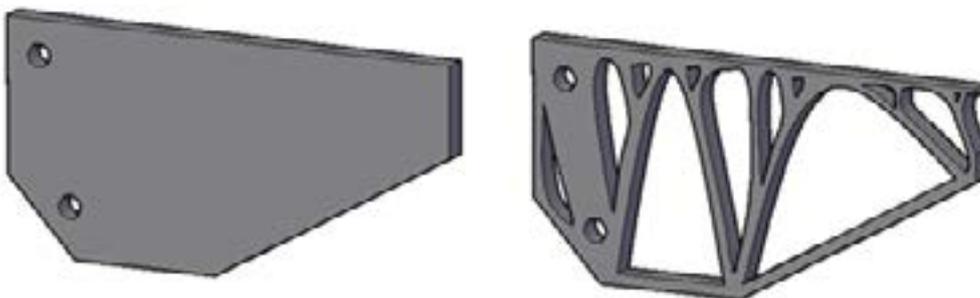


Figura 6. Resultado de pieza con aplicación de optimización topológica.

5. CONCLUSIONES

la herramienta de optimización de topología produce una mayor reducción de peso con una resistencia significativamente mayor ahora un enfoque ideal para este problema sería usar una combinación de ambas herramientas para crear diseños livianos ahora estas herramientas de optimización eliminan las conjeturas del proceso de diseño. La arquitectura en tierra, puede estar articulada a nuevos procedimientos de disposición estructural en la que se articula la tecnología de simulación, presentando avances tecnológicos y de diseño arquitectónico, desde el cálculo de las estructuras hasta el diseño matemático de las mismas. La sinergia que se presenta en la relación de arquitectura en tierra y optimización topológica brinda una nueva perspectiva al diseño, que puede presentar nuevas etapas en su investigación presentando una nueva solución constructiva que debe entrar al paso de la viabilidad constructiva y la delimitación que estas puedan presentar en su materialización. Estas nuevas técnicas exploradas en el contexto del municipio de Pelaya Cesar, con una marcada tendencia en el uso de sistemas estructurales de tierra como el Bahareque, precisan un nuevo enfoque a la disposición de los elementos que estos puedan presentar con la articulación de nuevos materiales de construcción que se complementen con la tierra como material vernáculo de construcción desde una perspectiva contemporánea y cuantificable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Contreras M, Martínez J y Vergel M 2017 *Cúcuta y su avenida Guaimaral: Espacio público, historia y calidad de vida de sus habitantes* (Alemania: Editorial Académica Española).
- [2] Parra H, Díaz Y y Vergel M 2019 Nociones de apropiación del espacio público: una mirada a las ventas informales en la ciudad de Cúcuta *Boletín redipe* 4 164
- [3] Vergel M, Contreras M y Martínez J 2016 Percepciones y características del espacio público y ambiente urbano entre habitantes de la ciudad de Cúcuta-Colombia *Prospectiva* 21 214
- [4] Díaz L 2002 *Estadística Multivariada: inferencia y métodos* (Bogotá: Universidad Nacional de Colombia)
- [5] Guerrero L 2007 "Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva" *Revista Apuntes* vol. 20, núm. 2 p, 182-201 Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- [6] Lyon A and García R 2013 *Forma arquitectónica y estructura a través de la optimización topológica, nuevos métodos para antiguos problemas*. Chile, *Revista AUS* 14, p 27-30
- [7] Millán C and Begambre O 2014 *Solución de problemas de optimización topológica empleando el Algoritmo Simulated Annealing Modificado* España *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*. p. 65 - 125
- [8] Perez E 2016 *Plan de desarrollo municipal*. Alcaldía Municipal de Pelaya Cesar
- [9] Del Rio M and Sainz A 2011 *La evolución de los sistemas constructivos en tierra. Construcción con tierra Tecnología y Arquitectura*. Congreso de arquitectura de tierra en cuenca de campos. p. 57-68. Universidad de Valladolid. España
- [10] Meza C 2012 *Optimización topológica en el diseño de elementos estructurales* Universidad autónoma de Occidente, Santiago de Cali.
- [11] Martínez P 2003 *Diseño Óptimo Simultáneo De Topología Y Geometría*



De Estructuras Articuladas Mediante Técnicas De Crecimiento” Departamento De Estructuras Y Construcción. Universidad Politécnica De Cartagena. España.

[12]. Dermikan H, Spohr J & Krishna V 2011 *Service System Implementation* (New York: Springer Publishing)

[13] Ortega-Sierra A, Vergel-Ortega, M y Rojas-Suárez J P 2019 *Microenseñanza en cálculo vectorial: su impacto desde un enfoque basado en competencias* (Bogotá: Ecoe Ediciones)