

# Diseño de nuevos modelos de sistemas de mampostería termorresistentes a partir de la reinterpretación constructiva de calados cerámicos de Norte de Santander, Colombia

*Design of new models of heat-resistant masonry systems based on the constructive reinterpretation of ceramic fretwork from Norte de Santander, Colombia.*

<sup>a</sup>Marlyn Stephanny Narváez-Ortega, <sup>b</sup>Jorge Sánchez Molina, <sup>c</sup>Jessica Viviana Sánchez-Zúñiga

 a. Magister en Arquitectura Bioclimática, stephannynarvaez@outlook.com, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

 b. Doctor en Avances en Ingeniería de los Materiales y Energías, jorgesm@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

 c. Magister en Ingeniería de Materiales, jessicavivianas@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

**Recibido:** Mayo 18 de 2021 **Aceptado:** Septiembre 15 de 2021

**Forma de citar:** M.S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina, J.V. Sánchez-Zúñiga. "Diseño de nuevos modelos de sistemas de mampostería termorresistentes a partir de la reinterpretación constructiva de calados cerámicos de Norte de Santander, Colombia.", *Mundo Fesc*, vol 11, no. S6 pp. 54-66, 2021.

## Resumen

---

Las fachadas trascienden la expresión estética de la envolvente en la arquitectura, son responsables de la respuesta térmica del edificio al entorno climático, en los procesos constructivos tradicionales y los avances tecnológicos de innovación en nuevos productos se deben considerar como lineamientos las condiciones de temperatura y radiación solar a las que estarán sometidas las unidades constructivas, un aspecto especialmente relevante en climas cálidos tropicales donde la incidencia solar sobre la envolvente es elevada, en rangos superiores a los 6000Wh/m<sup>2</sup> a lo largo del año. La presente investigación busca optimizar la capacidad de respuesta térmica de la envolvente cerámica a través de la reinterpretación del calado de arcilla cocida como elemento constructivo para muros de cerramiento, partiendo de la identificación de las piezas que presentan mejores características físico-térmicas de la industria de Norte de Santander, productos de fácil adquisición comercial como una alternativa para el desarrollo de modelos económicos y eficientes para fabricación de pieles arquitectónicas en la edificación local, en el proceso se establecen criterios de diseño que integren estrategias de resistencia térmica a los recursos locales. La evaluación de la eficacia térmica de una reinterpretación constructiva de los calados cerámicos se realiza mediante simulaciones digitales de flujo de calor y distribución de temperatura implementando método de elementos finitos bajo parámetros propios de temperatura, radiación y velocidad del viento del clima local. Los resultados demuestran que los calados cerámicos, un producto tradicional, puede constituir una solución eficaz en la consecución de un mejor comportamiento físico-térmico del cerramiento en la ciudad de Cúcuta, y presentan un modelo replicable en nuevos diseños para la generación de innovación en materia de unidades constructivas sostenibles como alternativas para reducir los requerimientos de climatización activa en la edificación.

**Palabras clave:** Sistema Constructivo, Resistencia térmica, Flujo de Calor.

---

**Autor para correspondencia:**

\*Correo electrónico: jorgesm@ufps.edu.co



## Abstract

---

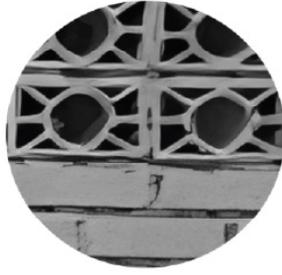
The facades transcend the aesthetic expression of the envelope in architecture, they are responsible for the thermal response of the building to the climatic environment, in traditional construction processes and technological advances in innovation in new products should be considered as guidelines the conditions of temperature and solar radiation to which the building units will be subjected, an aspect especially relevant in warm tropical climates where the solar incidence on the envelope is high, in ranges above 6000Wh/m<sup>2</sup>. The present research seeks to optimize the thermal response capacity of the ceramic envelope through the reinterpretation of the baked clay fretwork as a constructive element for enclosure walls, starting from the identification of the pieces that present better physical-thermal characteristics of the industry of Norte de Santander, products of easy commercial acquisition as an alternative for the development of economic and efficient models for the manufacture of architectural skins in the local building, in the process design criteria are established that integrate thermal resistance strategies in local resources. The evaluation of the thermal efficiency of a constructive reinterpretation of two ceramic skins is conducted by means of digital simulations of heat flow and temperature distribution implementing finite element method under parameters of temperature, radiation, and wind speed of the local climate. The results show that the ceramic openwork, a traditional product, can constitute an effective solution in the achievement of a better physical-thermal behavior of the enclosure in the city of Cúcuta, and presents a replicable model in innovative designs for the generation of innovation in sustainable constructive units as alternatives to reduce the requirements of air conditioning in the building.

**Keywords:** Construction System, Thermal Resistance, Heat Flow.

## Introducción

En la industria de la cerámica constructiva del área metropolitana de Cúcuta se producen diferentes productos para envolventes arquitectónicas, dentro de cuales se encuentran los calados cerámicos, piezas no estructurales de perforación horizontal abiertas al flujo de aire y la iluminación natural, que son comúnmente utilizadas en sistemas de mampostería mixta en conjunto con bloques [1] y ladrillos [2] cerámicos, son unidades estéticas de baja participación comercial pero de gran importancia constructiva en climas cálidos tropicales como los presentes en el departamento Norte de Santander, por tanto, la arquitectura local incluye dentro de su identidad material estas piezas cerámicas al cumplir una función térmica, generando canales de renovación de aire dentro de sus sistemas de envolvente [3].

En la arquitectura local es común encontrar diversidad de piezas tipo calado con distintas formas y dimensiones que se adaptan a diversos tipos de envolvente, las aberturas suelen constituirse a partir del aparejo con otros elementos constructivos ubicadas sobre la parte superior del muro para generar salidas de aire dentro de los sistemas de cerramiento de mampostería (Figura 1), con el objetivo de disipar en calor del interior de las edificaciones [4], o en pantallas (Figura 2) edificadas solo con calados cerámicos para proveer de confortabilidad protegiendo de la radiación solar directa a partir de una filtración de la ventilación y la iluminación natural aplicada desde diferentes posibilidades estéticas y diversas técnicas morfológicas.

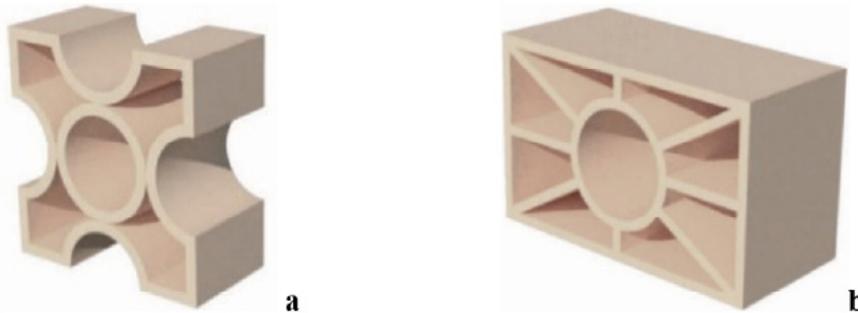


**Figura 1.** Mampostería cerámica con calados y ladrillos constructivos.



**Figura 2.** Mampostería cerámica con calados constructivos.

En la región, los calados constructivos se encuentran en diversos formatos dimensionales y estructuras internas diversas, desde este nicho, se destacan dos tipologías (a) y (b) (Figura 3) comúnmente presentes en la construcción local [5], las cuales son piezas fabricadas por el método industrial típico local, el extrusionado [6], y cuentan con un formato simple de marco ortogonal que permite que las piezas sean autoportante, apilables y configurables con un sistema de mampostería estándar, la versatilidad del diseño está inmersa sobre la cara exterior de la pieza, exhibiendo formas irregulares y discontinuas con una misma forma circular a partir de la cual se genera una simetría:



**Figura 3.** Tipologías de Calados Cerámicos.

Las piezas (a) que denominaremos C-1 y (b) como C-2 son unidades constructivas con  $0,037 \text{ m}^2$  y  $0,04 \text{ m}^2$  de área exterior con espesores entre los 82mm y los 120mm respectivamente, donde, (a) presenta un formato cuadrado con 200mm de largo y 200mm de alto en formas internas curvas e irregulares, y (b) es un producto de formato rectangular con 250mm de largo y 150mm de alto con formas internas rectas.

### ***Características físicas de los calados cerámicos***

El calado estrella es un producto de forma

cuadrada irregular con 5 cavidades abiertas al flujo continuo de ventilación e iluminación natural, con un área de vacío de  $0,0178 \text{ m}^2$  el 59,5% del volumen total de la pieza, y donde, el 40,5% de volumen cerámico está conformado por tabiques rectangulares y circulares cóncavos en las paredes externas y convexos en el interior de la pieza, todas las paredes y tabiques de la muestra funcionan como puentes de conducción directa de calor, puesto que comunican la superficie inicial con la superficie final directamente, y a su vez el flujo de aire directo permite una disipación continua de energía.

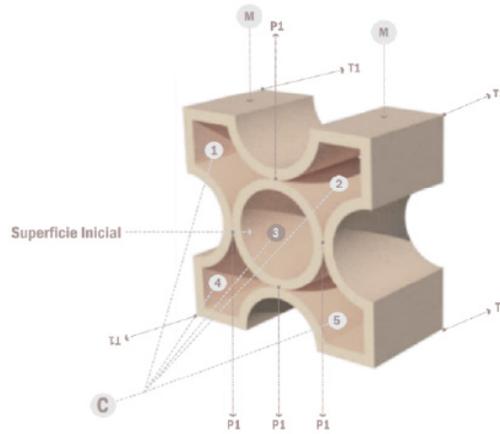
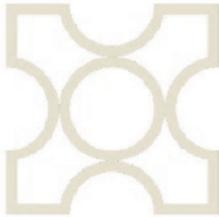


Figura 4. Calado C-1

Tabla I. Características Físicas de Calado C-1.

Producto	Calado Estrella		
Material	Arcilla		
Producción	Extrusión		
Tipología	Mampostería		
Función	Ventilación e Iluminación		
Características	Dimensiones	200*200*85 mm	
	Peso	2,3 kg unidad	
	Rendimiento	23 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Colonial, Tabaco	

El calado C-2 es un producto rectangular con 9 cavidades con formas rectas en los extremos y circulares en su perforación central:

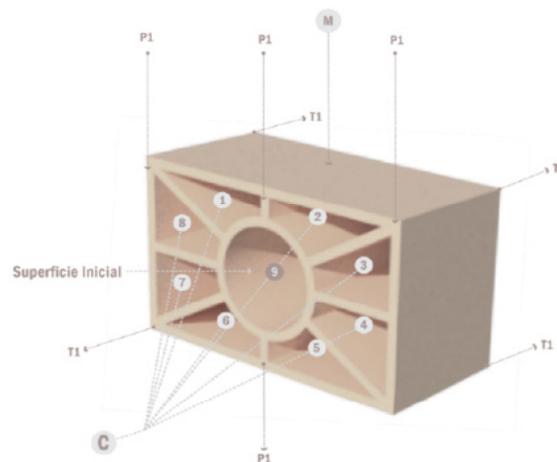
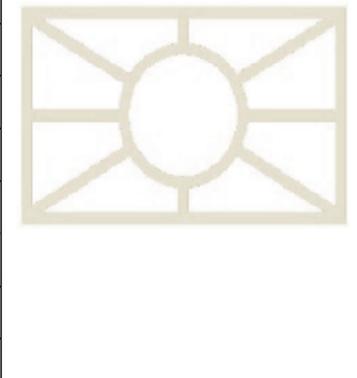


Figura 3. Calado C-2

Tabla II. Características Físicas de Calado C-2.

Producto	Calado Estrella	
Material	Arcilla	
Producción	Extrusión	
Tipología	Mampostería	
Función	Ventilación e Iluminación	
Características	Dimensiones	250*150*120 mm
	Peso	2,8 kg unidad
	Rendimiento	25 unidades por m <sup>2</sup>
	Textura	Lisa
	Tonalidades	Colonial, Tabaco



Su volumen de aire representa el 66,9% de la pieza con un área de 0,0251m<sup>2</sup> de la superficie inicial, y su volumen cerámico solo el 33,1%, en una pieza grande, al igual que el calado estrella el calado C-2 al tener sus tabiques completamente expuestos a radiación solar directa en la superficie inicial externa de la pieza y estos a su vez conectan de forma recta y continua con la superficie final interna.

### ***Sistema Constructivo con Calados***

El calado utiliza la misma técnica constructiva del bloque y el ladrillo cerámico,

sin variables significativas en su instalación por apilamiento, con juntas de conglomerado de mortero sin dosificación controlada en vertical y horizontal, la diferencia más importante en esta tipología de piezas para mampostería es su utilidad, al funcionar como un elemento permeable, cuya instalación se ejecuta de forma tradicional únicamente por la cara perforada. En el sistema constructivo las piezas son utilizados comúnmente tanto en la tipología abierta de pantalla permeable compuesta únicamente de calados (a) o en tipología mixta combinando bloques y ladrillos cerrados (b) (Figura 4):

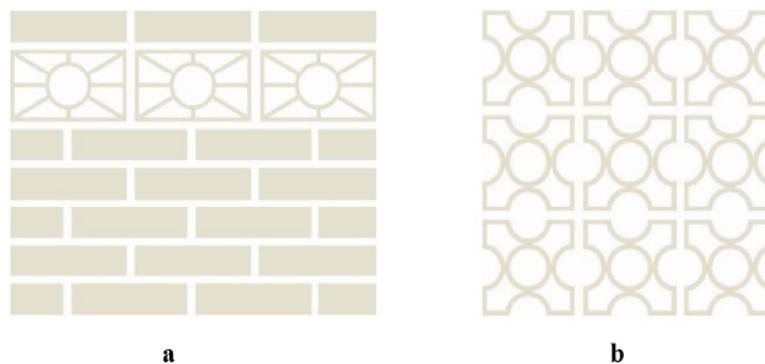


Figura 4. Sistema constructivo tradicional con Calado.

### ***Reinterpretación constructiva del calado cerámico***

Desde otra perspectiva, en búsqueda de un mejor comportamiento térmico de las piezas

cerámicas, se considera replantear la disposición constructiva de los productos tipo calados, para evaluar su función y ventajas geométricas en un sistema de cerramiento, modificando su disposición tradicional, de un sistema de muro abierto y permeable a uno cerrado que utilice las ventajas de la forma de las piezas como propiedades de resistencia térmica.

En este sentido, las ventajas que presentan los productos tipo calados se relacionan

a tabiques discontinuos dentro de su configuración interna, que combinan geometrías rectas y curvas en paredes y tabiques, características que evitan puentes térmicos directos, donde, desde la cara externa (superficie inicial) sometida a incidencia solar y la cara interna (superficie final) el calor se transfiere a través de un sistema de puentes discontinuos y cámaras de aire, disposición en la cual el calor debe atravesar 3 paredes y entre 5-9 cámaras de aire en C-1 y C-2 respectivamente.

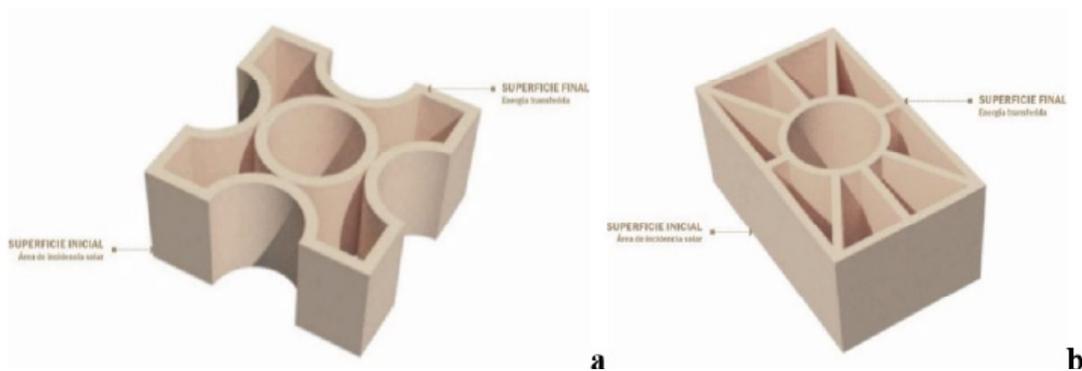


Figura 5. Versatilidad de la pieza, (a) Calado C-1 (b) Calado C-2.

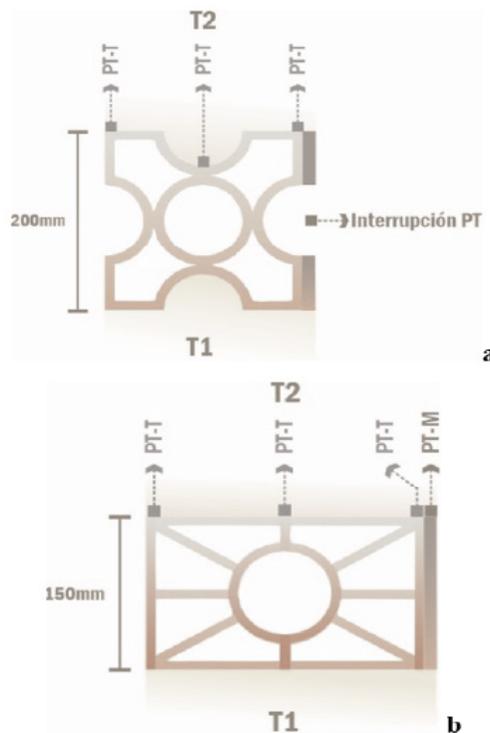


Figura 6. Puentes térmicos con calados cerámico, (a) Calado C-1 (b) Calado C-2.

Utilizando los productos en esta configuración la junta de mortero horizontal tiene un área inicial de  $0,0025\text{m}^2$  en promedio y una superficie de contacto con la pieza de entre  $0,029\text{m}^2$  en (C-1) a  $0,037\text{m}^2$  en C-2 con relación al espesor del producto entre 200mm (C-1) a 150mm (C-2). En las uniones de mortero verticales se presentan dos variables en C-1 el puente térmico se interrumpe por la geometría de la pared P1, con un área de contacto de  $0,051\text{m}^2$  en dos secciones, por su parte C-2 presenta una junta de mortero continua en 150mm de espesor con un área inicial de  $0,0012\text{m}^2$

### **Características comparativas en calados**

Los productos tipo calado, son piezas que no cumplen una función de transmitancia térmica directa en su disposición tradicional, pues sus paredes están sometidas a flujo continuo de aire, por tanto, el calor acumulado puede ser disipado rápidamente a través de sus 5 perforaciones en C-1 y hasta 9 cavidades en C-2, donde más de 60% de las piezas están compuestas por aire.

Tabla III. Características comparativas en calados cerámicos.

Pieza	Espesor	Número de Paredes	Número de Tabiques	Número de Cámaras Aire	Porcentaje Aire	Porcentaje Cerámica
C-1	85mm	2	4	5	59,5%	40,5%
C-2	120mm	2	9	9	66,9%	33,1%

En una segunda configuración, considerando un uso de los calados en muros de cerramiento completamente hermético como mampuesto de perforación vertical, se observan ventajas en la forma de las piezas con relación a su capacidad de volumen de aire y la forma de sus tabiques internos, donde, al poseer dentro de su estructura tabiques discontinuos se evitan los puentes térmicos [7],[8] y se genera un sistema de paredes y cámaras que podrían disminuir la transmitancia térmica [9],[10], técnicas que han mostrado ser efectivas en sistemas de mampostería cerámica [11],[12],[13].

### **Materiales y Métodos**

En esta etapa se estudió el desempeño térmico de los calados en disposición constructiva cerrada, por medio del método de los elementos finitos en simulación computacional a través software ANSYS R16, en relación con la distribución de temperatura y el flujo de calor para (3) piezas constructivas de mampostería bajo condiciones ambientales específicas del clima cálido de la ciudad de

Cúcuta, Colombia de  $33^{\circ}\text{C}$ , para el análisis se empleó modelado en diseño asistido por computador en las configuraciones C-1, C-2 y un producto tipo ladrillo cerámico multiperforado que denominares L-1 como testigo del comportamiento térmico de un producto tradicional. Así mismo, durante el desarrollo de la investigación se realiza una evaluación térmica de un nuevo modelo de pieza tipo calado implementando las estrategias más óptimas resultantes de los análisis preliminares. Este proceso determinará las propiedades térmicas de las soluciones cuyos resultados se emplean para definir a partir de análisis comparativo la viabilidad técnica de la reinterpretación constructiva en relación con la transferencia energía de piezas cerámicas tradicionales como ladrillos cerámicos.

### **Datos Suministrados**

Los datos de conductividad térmica suministrados para los materiales corresponden a arcilla roja cocida [14]  $k_{\text{Cerámica}} = 0,391 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ . Los datos de las

condiciones del entorno de Cúcuta se toman del IDEAM para el mes de septiembre con una temperatura máxima de 33 °C [15] y una radiación solar máxima promedio 695,4 W. h/ m<sup>2</sup> en un periodo de 1 hora desde las 12:00 horas a 13:00 horas como el periodo que registra mayores temperaturas [16] y una velocidad promedio del viento de 5,5 m/s. Se considera un coeficiente de transferencia de calor por convección de  $h = 17,5154 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$  que se aplicara a la sección exterior de la geometría, donde tiene efecto la velocidad del viento. Para las superficies que no están encerradas como cámaras de aire internas se asume una transferencia de calor por convección natural de  $h = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$  [17].

- A: Convección (5 W/m<sup>2</sup>. °C).
- B: Flujo de calor (695,4 W/m<sup>2</sup>).
- C: Convección (17,5154 W/m<sup>2</sup>. °C).

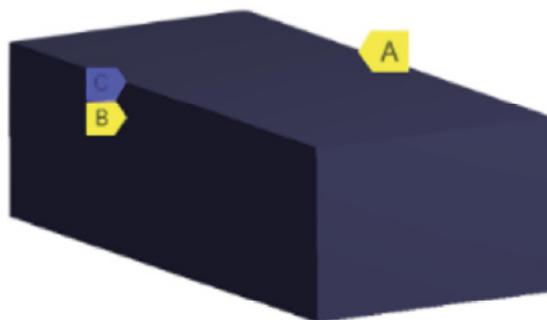


Figura 9. Configuración para la simulación térmica.

### Resultados preliminares

En la pieza C-1 los puentes térmicos formados por tabiques laterales que inician con forma lineal continua desde la cara exterior de la pieza se ven interrumpidos por una forma concava semicircular que obstruye el paso directo de calor, aumentando la distancia recorrible y generando una pérdida de energía transferida, así mismo, esta forma circular crea una cámara de aire que interrumpe el puente térmico formado por la junta de mortero, segmentando la aplicación del mortero en dos tramos, esta ruptura evita

la transmitancia térmica directa a través de la pieza y la junta constructiva.

En la Figura 10 se presenta un valor de temperatura transferida promedio de la cara interna de la pieza es de 35,3°C y de 39,1°C en la superficie en contacto con mortero de cemento. Así mismo, en la superficie inicial se pueden encontrar dos perfiles de temperatura distintos, donde, en la cara recta inicial sometida a radiación directa la temperatura registra 78,1°C en promedio y en la cara central de forma concava una temperatura de 74,8°C, por tanto, una forma irregular que disminuya el área de la superficie sometida a exposición de calor directa puede mejorar el comportamiento térmico de la pieza.

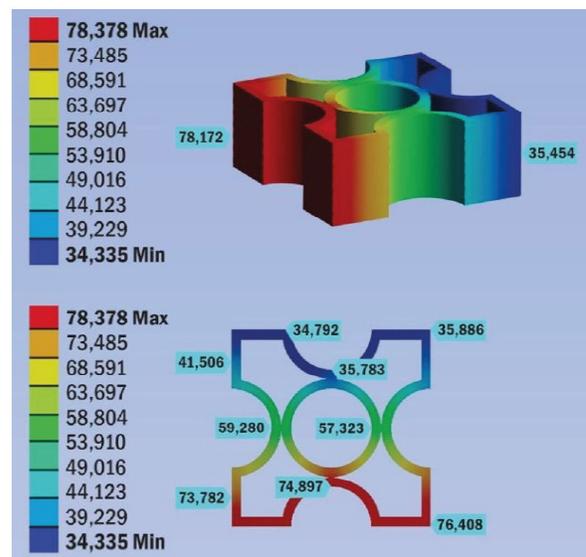


Figura 10. Resultados de distribución de temperatura para C-1.

En el producto cerámico C-2 (Figura 11) cuya ventaja se centra en las formas discontinuas de su estructura interna contiene una superficie inicial plana completamente expuesta a la incidencia solar, y un puente termico lateral formado por un tabique continuo en la pieza y un puente termico directo formado pro la junta de mortero, en promedio la temperatura registrada en la superficie interna de la pieza es de 35,1°C y 45°C en la junta de mortero.

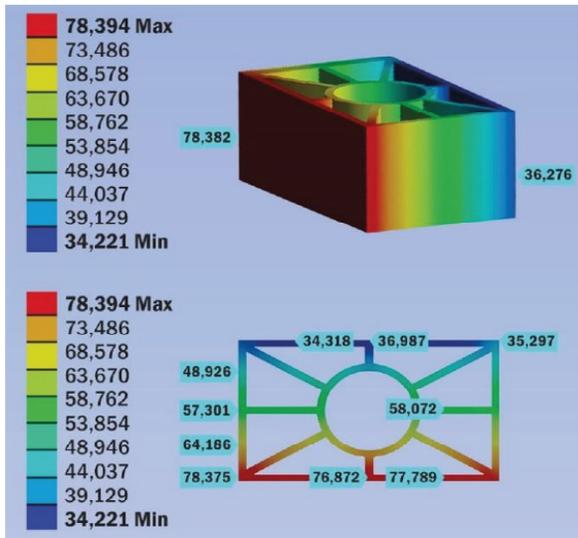


Figura 11. Resultados de distribución de temperatura, C-2.

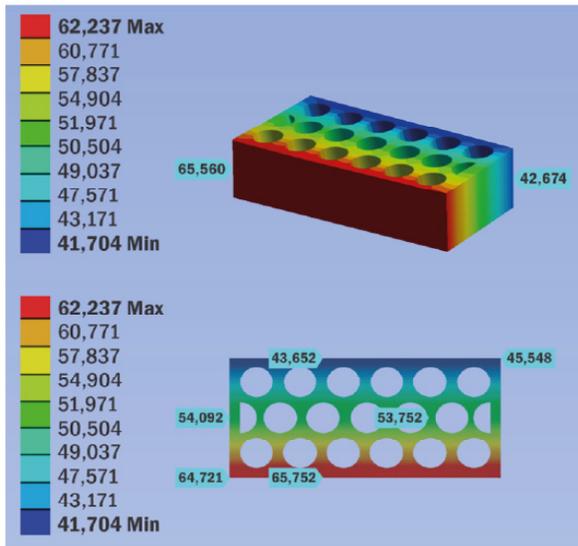


Figura 12. Resultados de distribución de temperatura, L-1.

### Rediseño del calado cerámico tradicional como un producto para cerramientos de mampostería

El calado cerámico usualmente utilizado como un producto permeable al flujo de aire y la luz natural, se reinterpreta por sus características físicas y se busca caracterizar como una pieza para uso en mampostería cerámica de cerramiento, desde esta óptica, las piezas constructivas C1 y C2 presentan un excelente comportamiento térmico respecto a otros tipos de productos como los bloques

y ladrillos cerámicos, donde productos como C1 pueden registrar temperaturas internas de 34,3°C y C2 de 34,2°C, entre 0,54°C y 4,4°C en relación a bloques H15 y ladrillos L4 respectivamente. Se selecciona la pieza C1 como un modelo que presenta ventajas formales como la interrupción de puentes térmicos laterales, la reducción de la superficie inicial expuesta a radiación solar directa, las geometrías irregulares internas que evitan tabiques y paredes continuas y su espesor de 250mm, como ventajas sobre C2; este modelo se toma como base para desarrollar nuevas perspectivas en la construcción de piezas térmicamente viables para mampostería constructiva. Las técnicas de diseño presentan como mínimo las siguientes características:

Tabla IV. Características Físicas de Ladrillos.

Estrategias de diseño	
Espesor	>200mm
Dimensiones	Alto:80mm - Ancho:200-250mm
Paredes	>2
Tabiques	<2 Aplicando geometrías discontinuas.
Cámaras de Aire	>5 Cavidades.
Porcentaje Aire	>55%
Unión Constructiva	Evitar puente térmico directo.
Cámara de Aire Ventilada	Abierta al flujo continuo de aire.

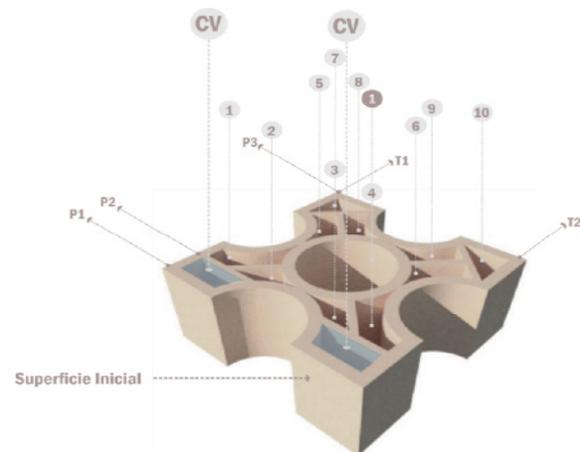


Figura 13. Calado C1-M1.

Tabla V. Características Físicas de Calado C1-M1.

Producto	Calado C1-M1	
Material	Arcilla	
Producción	Extrusión	
Tipología	Mampostería	
Función	Ventilación e Iluminación	
Características	Dimensiones	200*200*85 mm
	Peso	2,8 kg unidad
	Rendimiento	23 unidades por m <sup>2</sup>
	Textura	Lisa
	Tonalidades	Clara



El modelo de calado C1-M1 es una variación de la pieza C1, disponiendo de 2 cámaras de renovación de aire continuo por convección sobre la superficies externa de la pieza, y modificando su estructura interna a través de 11 cavidades internas de perforación vertical que permiten la fácil adhesión de la junta de mortero dentro del sistema constructivo, exteriormente, el modelo conserva las dimensiones iniciales y las oportunidades que presenta la combinación entre superficies planas y superficies oblicuas en las paredes exteriores de la pieza.

### Resultados y discusión

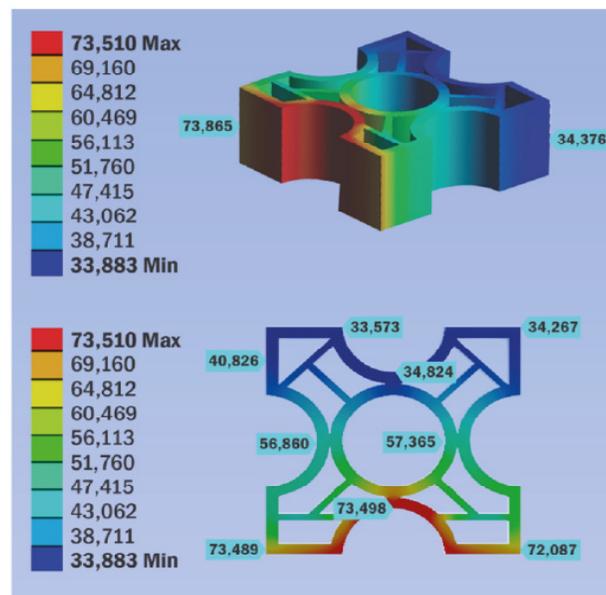


Figura 11. Resultados de distribución de temperatura, C1-M1.

Los perfiles de distribución de temperatura evidencian una temperatura final promedio de entre 34,3°C en la muestra C1-M1 respectivamente, generando una disminución de temperatura de 1°C respecto al producto C1 tradicional una muestra que resulta favorable, con una temperatura final promedio en S2 de 35,4°C.

Tabla VI. Resultados de distribución de temperatura en la Superficie inicial (S1) y Superficie final (S2) de C1-M1 y C1.

Temperatura en °C	C1-M1	C1
Máxima en S1	73,51°C	78,37°C
Mínima en S2	33,88°C	34,33°C
Promedio en S1	73,86°C	78,17°C
Promedio en S2	34,37°C	35,45°C

Las geometrías discontinuas en tabiques y la forma de las superficies permiten una pérdida de energía térmica entre la S1-S2 de 39,2°C en promedio en todas las variaciones de C1, una ventaja que permite constituir un sistema más resistente al paso de calor en sistemas de mampostería cerámica.

## Discusión

Tabla VII. Comportamiento térmico comparativo de calados cerámicos y L-1

Producto	Temperatura Inicial	Temperatura Final
C-1	78,37°C	34,33°C
C-2	78,39°C	34,22°C
L-1	62,23°C	42,67°C
C1-M1	73,5°C	33,8°C

Es posible encontrar un mejor comportamiento térmico en piezas tradicionales sin alterar su estructura base a través de la reinterpretación de sus sistemas constructivos, considerando que una disminución de la transmitancia térmica si se utilizan los calados cerámicos tradicionales como piezas de mampostería en sistemas de cerramiento. Estos resultados permiten visibilizar aquellas estrategias que deben estar intrincas en el diseño de nuevos productos para la industria de la cerámica constructiva.

Considerando una disposición constructiva de cerramiento, los productos tipo calado presentan un registro de temperatura final transferida de 34,2°C en promedio en C-1 y C-2, así mismo, al generar un nuevo modelo C1-M1 se obtienen temperaturas finales de 33,8°C estos resultados demuestran un comportamiento térmico eficiente si se compara con otros productos de la industria cerámica constructiva de cerramientos

como los ladrillos cerámicos tradicionales con una temperatura final transferida de 42,67°C, evidenciando una reducción de la temperatura transferida de 9,4°C en promedio respecto a una pieza tradicional. Si se compara con otras piezas como el bloque cerámico con una temperatura final transferida de 37,91°C en promedio [19],[20], se mejora la transmitancia térmica entre 4,7°C. Estos resultados son muy positivos en la generación de mampostería cerámica para climas cálidos tropicales.

## Conclusiones

La implementación del calado cerámico tradicional como una unidad constructiva para cerramiento de mampostería ha mostrado excelentes resultados en piezas como C1 y C2 con formas geométricas discontinuas en paredes y tabiques, sin embargo, al ser unidades constructivas sin una función portante presentan

perforaciones con grandes volúmenes de aire que dificultarían el apilamiento y la fabricación de mampostería con mortero de cemento, por tanto, se propone C1-M1 una pieza que soluciona los problemas funcionales de los productos tradicionales y que propone un modelo de cámara ventilada con disipación de energía por convección natural. Dicho modelo expone las posibilidades que pueden tener los productos tradicionales al ser trabajados desde un diseño térmico, mostrando posibilidad de fácil aplicación para la industria que pueden resultar en piezas eficientes tanto para el mercado como para el usuario final, unidades constructivas para mampostería que podrían reducir los consumos de energía en la edificación al mostrar ventajas comparativas sobre las cargas térmicas que reciben a través de la envolvente.

## Referencias

- [1] S. M. Rozo-Rincón, J. Sánchez y D. C. Álvarez-Rozo, “Propiedades físico-mecánicas de bloques h10 fabricados en el área metropolitana de Cúcuta”, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 24, no. 1, pp. 67-78, junio 2014. DOI:10.18359/rcin.8
- [2] A. P. Colmenares Uribe, J. Sánchez Molina y C. X. Díaz Fuentes, “Caracterización térmica y técnica del ladrillo multiperforado a nivel de laboratorio”, *Respuestas*, vol. 25, pp. 43-49, enero 2020. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/1899>
- [3] M.S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina, y J. S. Sánchez-Zúñiga, “Cámaras de aire ventiladas en un producto cerámico tradicional para envolventes de mampostería con enfriamiento pasivo”, *Mundo Fesc*, vol. 10, no. 19, pp. 128-135, junio 2020
- [4] C. Mitterer, H.M. Künzel, S. Herkel, A. Holm “Optimizing energy efficiency and occupant comfort with climate specific design of the building”, *Frontiers of Architectural Research*, vol. 1, no. 3, pp. 229-235 septiembre 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2012.06.002>
- [5] J. Sánchez & P. Ramírez, *El clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander, 2013
- [6] J. M. Mogrovejo-Andrade, L. M. Bastos-Osorio & J. Antuny-Pabón, “Impacto económico del sector cerámico en San José de Cúcuta (Colombia)”. *Universidad & Empresa*, vol. 17, pp. 157-180, Febrero 2015. <https://doi.org/10.12804/rev.univ.empresa.29.2015.07>
- [7] P.B. Lourenço, G. Vasconcelos, P. Medeiros and J. Gouveia “Vertically perforated clay brick masonry for loadbearing and non-loadbearing masonry walls”, *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 11, pp. 2317-2330, november 2010. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2010.04.010
- [8] L.C. Sousa, H. Sousa, C.F. Castro, C.C. Antonio, and R. Sousa, “A new lightweight masonry block: Thermal and mechanical performance”, *Archives of civil and mechanical engineering*, vol.14, no. 1, pp. 160-169, january 2014. Doi: 10.1016/j.acme.2013.08.003
- [9] F. Stazi, F. Tomassoni, A. Vegliò and C. Di Perna, "Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding", *Renewable Energy*, vol. 36, no. 12, pp. 3373–3385, diciembre 2011. Doi: 10.1016/j.renene.2011.05.016
- [10] M.S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina, and J. S. Sánchez-Zúñiga, “Cámaras de aire ventiladas en un

- producto cerámico tradicional para envoltentes de mampostería con enfriamiento pasivo”, *Mundo Fesc*, vol. 10, no. 19, pp. 128-135, junio 2020
- [11] T. Gutiérrez, R. Romero and C. Sotelo, “Thermal energy impact of bioclimatic techniques applied to low-income housing in a hot dry climate”, *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 1743-1752, 2014. Doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.163
- [12] G. Y. Yun, “Influences of perceived control on thermal comfort and energy use in buildings”, *Energy and Buildings*, vol. 158, pp. 822 - 830. January 2018. Doi: 10.1016/j.enbuild.2017.10.044
- [13] F. Manzano-Agugliaro, F.G. Montoya, A. Sabio-Ortega and A. García-Cruz, “Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort”, *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 49, pp. 736-755, September 2015. Doi: 10.1016/j.rser.2015.04.095
- [14] D. C. Álvarez-Rozo, J. Sánchez-Molina, F. A. Corpas-Iglesias y J. F. Gelves, “Características de las materias primas usadas por las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta (Colombia)”, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 57, pp. 247-256. Diciembre 2018. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.04.002>
- [15] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2020, *Atlas Climatológico de Colombia*, Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- [16] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2018 *Informe estación Universidad Francisco de Paula Santander, promedio horario de radiación*, Cúcuta: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- [17] Y. A. Cengel, *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico*. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007
- [18] A. P. Colmenares Uribe, J. Sánchez Molina and C. X. Díaz Fuentes, “Comparative thermal analysis of extruded ceramic products between multi perforated brick and modified bricks in cells distribution”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1386, no. 012130, pp. 28-31, May 2019. Doi: 10.1088/1742-6596/1386/1/012130
- [19] M.S. Narvaez-Ortega, J. Sánchez-Molina, and C. X. Diaz-Fuentes, “Comparative evaluation of physical, mechanical and thermal properties of traditional H10 and H15 red clay blocks manufactured by the ceramic industry from San José de Cúcuta, Colombia”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1388, no. 012007, pp. 1-8, November 2018. Doi: 10.1088/1742-6596/1388/1/012007
- [20] M. S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina and C. X. Diaz-Fuentes, “Comparative evaluation of the physical, mechanical, and thermal properties of traditional H10 and H15 red clay blocks manufactured by the ceramic industry from San José de Cúcuta, Colombia”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1388, pp. 012007, November 2018. Doi: 10.1088/1742-6596/1388/1/012007