

Diseño de producto cerámico de baja transmitancia térmica para sistemas de mampostería en clima cálido tropical

Low thermal transmittance ceramic product design for masonry systems in hot tropical climates

^a Marlyn Stephanny Narváez-Ortega, ^b Jorge Sánchez-Molina, ^c 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: Julio 1 de 2021 Aceptado: Noviembre 8 de 2021

Forma de citar: M. S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina, J. V. Sánchez-Zúñiga, "Diseño de producto cerámico de baja transmitancia térmica para sistemas de mampostería en clima cálido tropical" *Mundo Fesc*, vol 11, no. s5 pp. 282-291, 2021

Resumen

Los productos cerámicos para mampostería en una región arcillera como el departamento de Norte de Santander deben responder a unas condiciones térmicas de alta temperatura que puede alcanzar los 40°C promedio en los puntos máximos extremos, por tanto, los sistemas de cerramiento deben proveer de resistencia térmica al calor acumulado en la superficie exterior de la envolvente y su estructura interna evitando que se transmita a la superficie interior y genere cargas térmicas indeseadas para la edificación, desde esta perspectiva existen técnicas a partir del diseño de piezas constructivas que pueden evitar la alta transmitancia térmica, como la implementación de geometrías que obstruyen los puentes térmicos directos, el aumento en el número de paredes que debe atravesar el calor, el incremento de volumen de aire respecto a masa a través de cámaras de aire y la disipación de energía a través de cámaras ventiladas externas, un sinergia de este grupo de estrategias puede constituir un sistema termorresistente que responda eficiente a climas cálidos tropicales. Esta investigación evalúa el potencial de rediseñar piezas cerámicas tradicionales tipo bloque estándar del clúster de la cerámica de Norte de Santander, evaluando su nivel de eficiencia con análisis de comportamiento térmico a través de simulaciones de distribución de temperatura y flujo calor considerando condiciones de temperatura de 33°C como máxima promedio y una radiación solar de 796,80Wh/m² típicas del clima local. Los resultados muestran una reducción de 4°C en la temperatura transferida implementando un nuevo modelo respecto a productos tradicionales, por tanto, los procesos de diseño en nuevas piezas cerámicas demuestran respuestas térmicas positivas para la envolvente en climas cálidos tropicales.

Palabras Clave: Bloque, Cerámica, Ladrillo, Resistencia térmica.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: stephannynarvaez@outlook.com



Abstract:

Ceramic products for masonry in a clay region such as the department of Norte de Santander must respond to high temperature thermal conditions that can reach an average of 40°C at the maximum extreme points, therefore, the enclosure systems must provide thermal resistance to the heat accumulated on the exterior surface of the envelope and its internal structure, preventing it from being transmitted to the interior surface and generating undesired thermal loads for the building. From this perspective, there are techniques from the design of construction parts that can avoid high thermal transmittance, such as the implementation of geometries that obstruct direct thermal bridges, the increase in the number of walls that heat must pass through, the increase of air volume with respect to mass through air chambers and the dissipation of energy through external ventilated chambers, a synergy of this group of strategies can constitute a thermo-resistant system that responds efficiently to hot tropical climates. This research evaluates the potential of redesigning traditional standard block-type ceramic pieces of the ceramic cluster of Norte de Santander, evaluating their level of efficiency with thermal behavior analysis through simulations of temperature distribution and heat flow considering temperature conditions of 33°C as average maximum and a solar radiation of 796.80Wh/m² typical of the local climate. The results show a 4°C reduction in the transferred temperature by implementing a new model with respect to traditional products, therefore, the design processes in new ceramic pieces demonstrate positive thermal responses for the envelope in hot tropical climates.

Keywords: Block, Brick, Ceramic, Thermal resistance.

Introducción

Dentro del sector de la cerámica constructiva en la región un 42% de la producción corresponden a unidades para cerramientos verticales [1] principalmente piezas tipo bloques [2] de perforación horizontal, productos tradicionales compuestos de arcilla roja cocida a 1000°C y fabricados comúnmente por método de extrusión [3], cuya materialidad presenta una conductividad térmica de 0,407W/m°C [4], son elementos porosos en formatos entre 70mm y 100mm de espesor, producidas con formas que permiten puentes térmicos directos de mayor o menor masa en relación a las diferentes dimensiones de las cámaras de aire internas. Las unidades constructivas se utilizan en sistemas de mampostería con importantes áreas de la superficie y juntas de mortero expuestas a grandes flujos de calor sin ningún tipo de estrategia que permita evitar la transferencia de calor (Figura 1), por tanto, funcionan como envolventes de alta transmitancia térmica que pueden alcanzar temperaturas superficiales al interior de los cerramientos entre 35°C - 41°C [5],[6]. En la Figura 1, se muestran las características geométricas de los diferentes tipos de bloques ofertados en la industria cerámica local, donde, T1 define la temperatura inicial de la superficie de incidencia solar, PT-T representa los puentes térmicos formados por los tabiques de las piezas, PT-M muestra los puentes térmicos formados por las juntas de mortero dentro del sistema constructivo, y la dimensión (e) representa el espesor de la pieza.

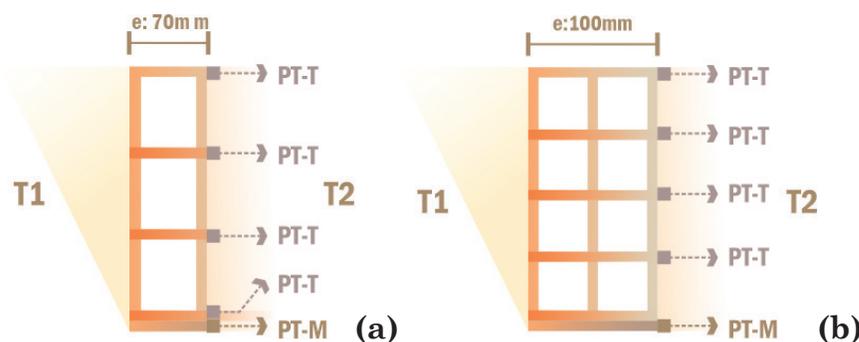


Figura 1. Puentes térmicos en productos tipo (a) Bloque H7 (b) Bloque H10.

Dichas partes del sistema constructivo son fundamentales en el comportamiento térmico del cerramiento puesto que el flujo de calor que está condicionando a la conductividad del material es directamente proporcional al área expuesta, la diferencia de temperaturas entre T1 y T2, e inversamente proporcional al espesor del material, por tanto, estos aspectos son relevantes a considerar en nuevos modelos de diseño.

En este sentido, y considerando que en la región las construcciones se edifican a partir de envolventes construidas con productos de arcilla es especialmente relevante plantearse como objetivo de desarrollo soluciones para sistemas de mampostería cerámica con un desempeño térmico-ambiental eficiente bajo condiciones térmicas de alta temperatura.

Desde esta óptica, en el desarrollo de tecnologías cerámicas para climas de alta temperatura las soluciones se enfocan en inhibir el calor transferido a través de los componentes del cerramiento, esta investigación se plantea como objetivo general diseñar una pieza cerámica de alta resistencia térmica para sistemas constructivos de mampostería eficientes en clima cálido semiárido, implementando una sinergia de estrategias en la forma y función de las piezas constructivas que incrementen el diferencial de temperatura superficial entre la cara externa y la interna, reduciendo los valores de energía en T2 respecto a un producto convencional, mediante el rediseño de la geometría de la pieza, que incluiría geometrías disipadoras en tabiques [7], reducción de puentes térmicos[8],[9], aumento de paredes internas[10], incremento de cámaras de aire[11], así como, la disposición de canales de renovación de aire en la capa externa de la pieza que disipe la carga térmica inicial [12],[13], así como, la generación de una superficie inicial que disminuya el área expuesta [14] y genere auto sombreado[15], como técnicas que han comprobado eficacia en la reducción de calor transferido a través del cerramientos verticales.

Características de bloques tradicionales

Tabla I Características Comparativas de Bloques Cerámicos

Pieza	Espesor	Número de paredes	Número de tabiques	Número de cámaras de aire	Porcentaje de aire	Porcentaje de cerámica
H7	70mm	2	4	3	50,0%	50,0%
H10	100mm	3	5	8	56,0%	44,0%

En general, los diferentes los bloques H7 y H10 [16] presentan un buen porcentaje de aire dentro de su composición formal, mayor al 50% del volumen total de las piezas, el bloque H10 es la pieza que mayor volumen de aire presenta, con 56%, una característica relevante para disminuir la transmitancia térmica, puesto que el aire presenta menor conductividad térmica que la cerámica, esta ventaja, sumada al número de paredes pueden convertir a H10 en un producto viable para evitar la transferencia térmica, sin embargo, al poseer dentro de su estructura un mayor número de tabiques que pudieran funcionar como puentes térmicos, debilitan sus características como una pieza optima de baja transmitancia térmica; por su parte, H7 con 4 tabiques horizontales y 3 cámaras de aire es una pieza con características de alta transmitancia térmica.

Identificar las particularidades de la estructura interna de las piezas como paredes y tabiques es relevante si se considera que un mayor número de tabiques constituye un mayor número de puentes térmicos, por tanto, en sistemas constructivos que implementen la variación bloque H10, se generará mayor transferencia térmica, al presentar un mayor número de puntos de flujos de calor, y por su parte, un sistema formado por H7 al poseer solo 70mm de espesor podría generar un fuente de alta carga térmica.

El diseño de las diferentes piezas tipo bloque cerámico no permiten un control solar por sombreado en su superficie inicial que pueda reducir la temperatura inicial del cerramiento; así mismo, no forman una solución para una dosificación adecuada del mortero en la instalación, lo que genera desperdicio de material, mal acabado y mayor transferencia de calor; su acabado rayado en todas las versiones del producto conlleva a desarrollar fases adicionales: pañete, pasta, pintura o revestimiento antes de obtener un acabado liso y estético, procesos que incrementan costos y tiempos de construcción.

Diseño

Considerando las ventajas y desventajas que presentan las piezas tradicionales tipo bloque cerámicos, se propone un nuevo modelo que implementa estrategias de resistencia térmica para conseguir una baja transmitancia en sistemas de mampostería cerámica, el diseño presenta 7 paredes que dividen T1 y T2 conectadas por un único tabique discontinuo entre 9 cámaras de aire internas, así mismo cuenta con 1 cámara de aire externa, dispuesta para estar abierta al flujo continuo de aire que presenta una forma cóncava que busca reducir el área de superficie inicial expuesta a radiación solar directa. En la unión con la junta de mortero, la pieza H14 propone formas irregulares que interrumpan una disposición continua del mortero encajando la forma en formato macho-hembra. Las dimensiones del producto corresponden a 140mm de espesor y 120mm de altura, con 300mm de longitud.

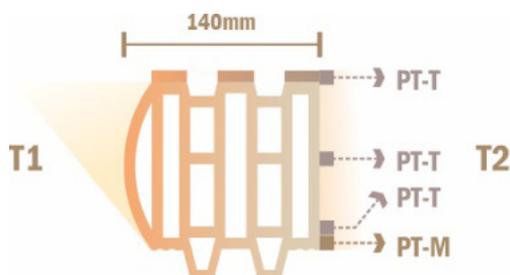


Figura 2. Puentes térmicos en el producto propuesto H14.

Tabla II. Características de producto propuesto H14.

Pieza	Espesor	Número de paredes	Número de tabiquess	Número de cámaras de aire	Porcentaje de aire	Porcentaje de cerámica
H14	70mm	7	3	10	48,0%	52,0%

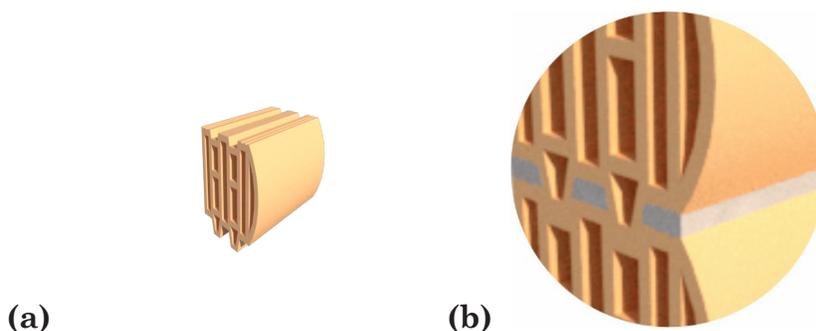


Figura 3. Producto H14 (a) Diseño (b) Junta mortero.

Análisis de comportamiento térmico

1.1. Método

Se utiliza método de elementos finitos para determinar el comportamiento térmico de los productos H7 y H10, así como, la pieza propuesta H14, empleando CAE en software ANSYS R16.

1.2. Datos

Los datos utilizados de conductividad térmica para bloque de arcilla estándar [4] y mortero de cemento [17]:

^k Bloque = 0,407 W / m. °C

^k Mortero = 0,88 W / m. °C

Los datos de condiciones medioambientales locales se toman del IDEAM [18] para el mes de septiembre en la ciudad de Cúcuta, como el periodo que registra las temperaturas más altas, sobre las horas medias del día, donde se registra la mayor radiación solar [19], con:

Tabla III. Condiciones ambientales.	
Datos	
Temperatura máxima promedio	33°C
Radiación solar máxima promedio	796,80Wh/m ²
Q solar	796,80Wh/m ²
Velocidad promedio del viento	5,5 m/s
Δt: 1 hora	12:00 horas a 13:00horas

En relación con los datos calculados, el coeficiente de transferencia de calor por convección es el valor que depende de la velocidad del viento y las condiciones de temperatura y presión en las que se encuentra.

$$h = (Nu*k) / Lc \quad (1)$$

h: Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Nu: Número de Nusselt.

k: Conductividad térmica del aire.

Lc: Longitud característica asumida de 30 cm.

El número de Nusselt es un valor adimensional que describe el aumento en la transferencia de calor sobre una superficie. Para sección transversal rectangular y flujo cruzado, es:

$$Nu = 0,102Re^{0,675} * Pr^{1/3} \quad (2)$$

Re: Número de Reynolds.

Pr: Número de Prandtl.

El número de Reynolds es un valor adimensional que describe el comportamiento del flujo de aire sobre la superficie del bloque.

$$Re = (\rho*V*Lc) / \mu \quad (3)$$

ρ: Densidad del aire.

V: Velocidad del viento.

μ: Viscosidad dinámica del aire.

Las propiedades del aire a temperatura de 33°C:

$\rho = 1,1526 \text{ Kg} / \text{m}^3$

$k = 0,026102 \text{ W} / \text{m.}^\circ\text{C}$

$\mu = 0,000018858 \text{ Kg} / \text{m. s}$

$Pr = 0,72736$

Resultado de las ecuaciones se obtiene un coeficiente de transferencia de calor por convección de $h = 17,5154 \text{ W} / \text{m}^2.^\circ\text{C}$ 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 asumen una transferencia por convección natural de $h = 5 \text{ W} / \text{m}^2.^\circ\text{C}$ [20].

1.3. Procedimiento CAE

Cada simulación se resolvió en 7 pasos:

- 1) Sistema de análisis: Se realizó el esquema del proyecto conformado por Analysis System del tipo Steady State Thermal donde se trabajó de manera independiente con las geometrías, asignando el mismo material de bloque y mortero.

- 2) **Datos de ingeniería:** Se introducen las propiedades suministradas, en la base de datos de ANSYS R16 utilizando el Engineering Data Source y se relacionan con todos los Analysis System.
- 3) **Geometría:** Se realizó la importación de las piezas en el Design Modeler y se optimizó la geometría de la superficie con corrección de caras y bordes.
- 4) **Modelo:** A partir de este paso se trabajó en la interfaz Mechanical de ANSYS R16. Realizando la asignación de material, bloque o mortero de cemento, y configurando la malla para que utilice el tipo de preferencia física CFD y el solucionador Fluent.
- 5) **Configuración:** respecto a las condiciones a las que están sometidas todas las piezas en la cara frontal se aplicaron las condiciones exteriores de viento y radiación solar directa, así como convección natural en la cara trasera del muro, los valores empleados se relación a continuación:
- 6)
 - A: Convección ($5 W / m^2 \cdot ^\circ C$).
 - B: Flujo de calor ($695,4W / m^2$).
 - C: Convección ($17,5154 W / m^2 \cdot ^\circ C$).

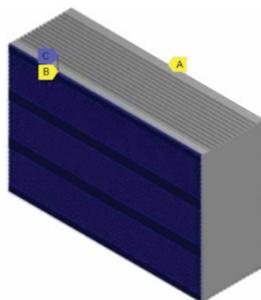


Figura 4. Configuración.

- 7) **Solución:** Para el análisis de las configuraciones se aplican las dos soluciones más relevantes: Distribución de temperatura y Flujo total de calor.

Resultados y discusión

1.4. Distribución de temperatura

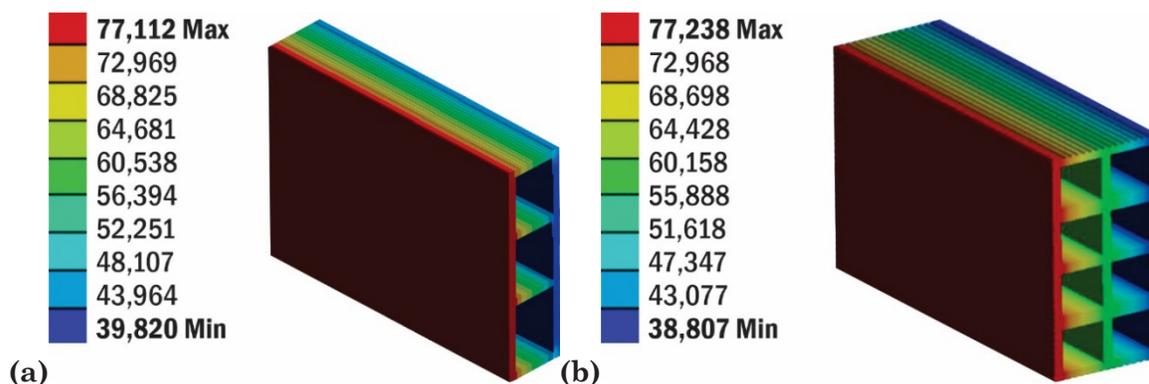


Figura 5. Resultados de distribución de temperatura (a)H7 y (b)H10.

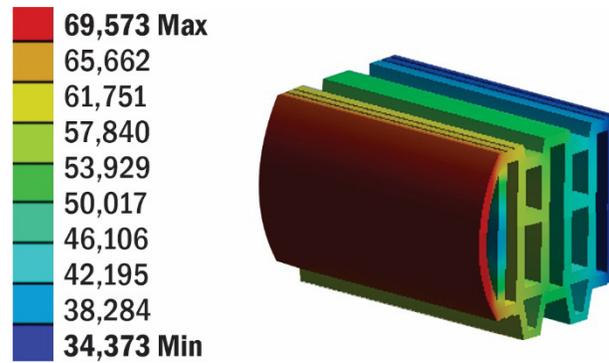


Figura 6. Resultados de distribución de temperatura H14.

El bloque H7 es el producto que por sus características físicas presenta la mayor transferencia de temperatura desde T1 a T2 con una temperatura final promedio de 41,89°C relacionada a su espesor de 70mm, respecto a la pieza H10 de 100mm de espesor presenta una temperatura promedio en la superficie interior de 40,93°C, una disminución de 0,96°C entre las piezas.

En comparación con los productos tradicionales, los resultados conseguidos con el producto propuesto H14 muestran una temperatura final de 36,32°C, una disminución de 5,57°C respecto a H7 y de menos 4,61°C en comparación con H10, excelentes resultados, que redefinen las características que deben poseer los sistemas constructivos cerámicos, considerando formas internas que eviten puentes térmicos y cámaras de aire del producto, así mismo, la cámara ventilada externa que permite una disipación de energía inicial en T1.

1.5. *Flujo total de calor*

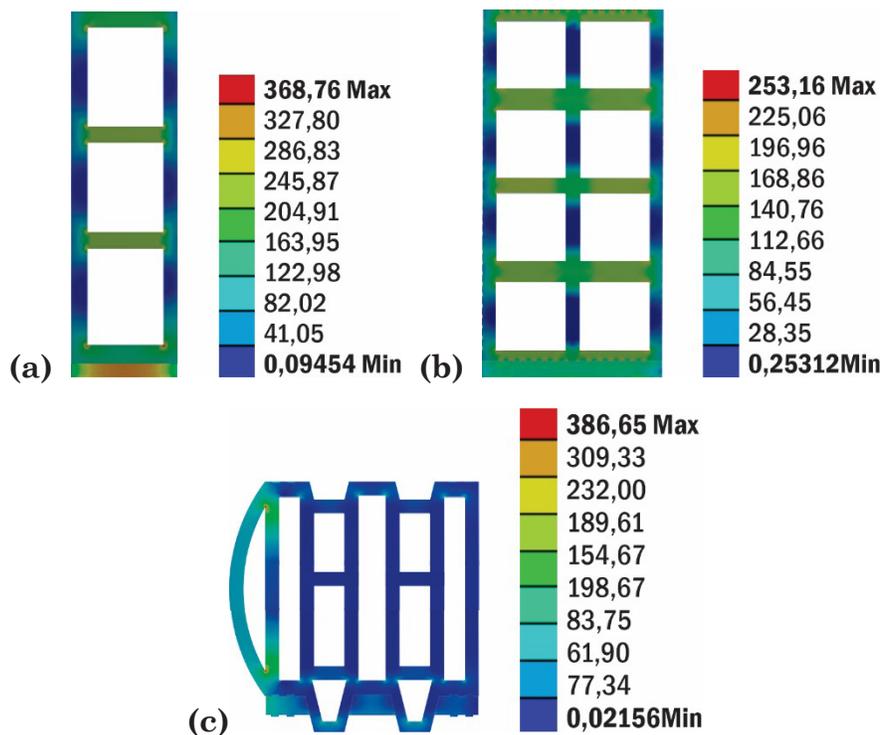


Figura 7. Resultados de distribución de temperatura (A)H10, (B) H10 y (C)H14.

Los resultados de puntos de concentración de calor muestran un perfil máximo en H7, dónde la superficie T2 puede presentar concentraciones de calor de $142,5\text{W/m}^2$ en las conexiones con tabiques, por su parte H10 presenta $132,43\text{W/m}^2$ al atravesar los tabiques, en cuanto a la pieza H14 muestra un perfil de calor en T2 sin mayores concentraciones de energía, muy por debajo de $77,0\text{W/m}^2$ en la totalidad de la superficie. Por tanto, los resultados muestran eficiencia térmica en el diseño.

Los puentes térmicos del mortero dentro del sistema constructivo muestran mayores concentraciones de energía sobre la superficie T2 en H7 con un perfil cercano al $234,8\text{W/m}^2$, así mismo, en H10 se presenta un flujo de calor de $135,6\text{W/m}^2$, por su parte, H14 con un mejor comportamiento térmico, al presentar una unión con el mortero discontinua que evita un puente térmico directo, con un calor acumulado menor al $69,0\text{W/m}^2$.

Discusión

En la tabla IV se relacionan los resultados comparativos de las diferentes muestras, donde, los perfiles de distribución de temperatura evidencian una diferencia significativa en la temperatura inicial T1 de $7,6^\circ\text{C}$ en promedio entre H14 y las piezas H7-H10, un diferencial relacionado a una menor superficie de exposición y un sistema de auto sombreado en la pieza diseñada; así mismo, los datos obtenidos en las temperaturas T2 demuestran una reducción en el calor final transferido de $5,45^\circ\text{C}$ respecto a un producto tipo H7 y de $4,43^\circ\text{C}$ en relación a H10; los perfiles de distribución de temperatura arrojan resultados positivos para H14 respecto a las piezas tradicionales, con diferencias de $85,05\text{W/m}^2$ de reducción promedio en puentes térmicos formados por tabiques al formar geometrías disipadoras y $116,7\text{W/m}^2$ en promedio sobre puentes térmicos formados por juntas de mortero, puesto que la muestra diseñada presenta formas discontinuas tipo macho-hembra que permiten una obstrucción de energía.

Producto	Distribución de temperatura		Flujo de calor	
	T1	T2	PT-T	PT-M
H7	$77,11^\circ\text{C}$	$39,82^\circ\text{C}$	$142,89\text{W/m}^2$	$293,74\text{W/m}^2$
H10	$77,23^\circ\text{C}$	$38,80^\circ\text{C}$	$122,54\text{W/m}^2$	$221,72\text{W/m}^2$
H14	$69,57^\circ\text{C}$	$34,37^\circ\text{C}$	$47,66\text{W/m}^2$	$88,03\text{W/m}^2$

Comparando los resultados de la pieza H14 con otros productos cerámicos en similares condiciones ambientales, como los ladrillos cerámicos con una temperatura T2 de $41,70^\circ\text{C}$ [5] una diferencia de $7,33^\circ\text{C}$, resultados que lo convierten en una pieza competitiva dentro del mercado cerámico para envolventes verticales de mampostería.

Conclusiones

Los datos obtenidos muestran una mejora significativa en la disminución de temperatura transferida de hasta 5°C en la superficie T2 con la pieza propuesta, una reducción muy significativa en los perfiles de calor en puentes térmicos formados por tabiques superior a $95,00\text{W/m}^2$ en relación a tabiques rectos, así mismo, se demuestra una reducción en el flujo de calor del puente térmico del mortero de $205,71\text{W/m}^2$ formando una estructura alternativa con interrupciones desde T1 a T2, los resultados se relacionan a un diseño más eficiente de la forma de pieza, con geometrías discontinuas que disminuyen los flujos de calor directo, y una cámara de aire exterior que permite disminuir la energía inicial. H7 en comparación con H10 presenta menores puentes térmicos, sin embargo, también presenta un menor espesor, H10 pese a presentar un mayor número de tabiques muestra un mejor

comportamiento térmico en la superficie T2 relacionada a un mayor número de cámaras de aire internas. Esta investigación permite demostrar que un correcto diseño de las piezas cerámicas desde una perspectiva térmica puede generar piezas de baja transmitancia térmica, óptimas para climas cálidos, con un diferencial de temperatura de 1,07°C respecto a la temperatura ambiente aplicada.

Referencias

- [1] J. Sánchez y P. Ramírez. *El Clúster de la Cerámica del Área Metropolitana de Cúcuta*. San José de Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander, 2013
- [2] 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, no. 29, pp. 157-180, febrero 2015. Doi: 10.12804/rev.univ.empresa.29.2015.07
- [3] J. Sánchez-Molina, F. A. Corpas Iglesias y D.C. Alvarez-Rozo, *Aplicación de nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*, San José de Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander, 2018
- [4] S. M. Rozo-Rincón, J. Sánchez y D. C. Alvarez-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
- [5] 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
- [6] A.P. Colmenares-Uribe, J. Sánchez-Molina y C. X. Diaz-Fuentes, “Caracterización térmica y técnica del ladrillo multiperforado a nivel de laboratorio”, *Respuestas*, vol.25, no. S1, pp. 43-49, abril 2020. Doi: 10.22463/0122820X.1835
- [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] G. Kanellopoulos, V. Koutsomarkos, K. Kontoleon, and K. Georgiadis-Filikas, “Numerical Analysis and Modelling of Heat Transfer Processes through Perforated Clay Brick Masonry Walls”, *Procedia Environmental Sciences*, vol. 38, pp. 492-499, 2017. Doi: 10.1016/j.proenv.2017.03.112
- [9] 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
- [10] J. Kočí, J. Maděra, and R. Černý, “A fast computational approach for the determination of thermal properties of hollow bricks in energy-related calculations”, *Energy*, vol. 83, no. 1, pp. 749-755, april 2015. Doi: 10.1016/j.energy.2015.02.084
- [11] M.S. Narvaez-Ortega, J. Sánchez-Molina, and J. S. Sánchez-Zúñiga “Physical-thermal isolation strategies for the design of sustainable ceramic building units”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1645, no. 012010, pp. 1-6, november 2019
- [12] M. Niño, *Bloque termo disipador para construcción de cerramientos y fachadas arquitectónicas no estructurales en edificaciones del trópico*, Colombia,

- C07260064U, junio 2014
- [13] M.S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina, and 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
- [14] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M.R. Yaiche, M.K. Cherier, M. Hamdani, and F. Chellali, “Introduction to control of solar gain and internal temperatures by thermal insulation, proper orientation and eaves”, *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 9, pp. 2414-2421, september 2011. DOI:10.1016/j.enbuild.2011.05.018
- [15] C. Vásquez, “El diseño del sistema de cerramiento”, *ARQ(Santiago)*, vol. no. 82, pp. 102-107, diciembre 2012. Doi: 10.4067/S0717-69962012000300017
- [16] M.S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina, and J. S. Sánchez-Zúñiga, “Analysis of heat fluxes in ceramic block type building pieces”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2118, no. 012007, pp. 1-7, september 2021. Doi: 10.1088/1742-6596/2118/1/012007
- [17] G. Peña-Rodríguez, J. Peña-Quintero y M. Gómez-Tovar, “Determinación experimental de la conductividad térmica efectiva en bloques extinguidos de arcilla roja”, *Revista Ciencia en Desarrollo*, vol. 5, no. 1, pp. 15-20, junio 2014. Doi: 10.19053/01217488.3227
- [18] Instituto de Hidrología, *Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2018 Informe estación Universidad Francisco de Paula Santander*, promedio horario de radiación, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- [19] Instituto de Hidrología, *Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2020 Atlas climatológico de Colombia*, Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- [20] Y.A. Cengel, *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico*. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007