

Experimentación comparativa de transferencia de calor por puente térmico a partir de la modificación de la geometría de los tabiques en bloque cerámico H10.

Heat transfer comparative experimentation by thermal bridge from the geometry modification of ceramic partition walls H10.

Marlyn Stephanny Narváz Ortega¹, Jorge Sánchez-Molina², Carmen Xiomara Díaz-Fuentes³

¹Arquitecta, stephannynarvaezortega@outlook.com, Investigador de Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica y Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos, ORCID 0000-0003-2189-3066, Universidad Francisco de Paula Santander, (+57) 3183559119, Cúcuta-Colombia.

²PhD en Ingeniería de Materiales y Energías Sostenibles, EPS de Linares, Universidad de Jaén-España, jorgesm@ufps.edu.co, Director del Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica GITEC. Profesor de tiempo completo, Facultad de Ciencias Básicas, ORCID 0000-0002-9080-8526, Universidad Francisco de Paula Santander, (+57) 3112308746, Cúcuta, Colombia.

³PhD (c) Doctor en Arquitectura, Urbanismo y Artes y Humanidades, ORCID 0000-0002-8223-5887 Universidad Francisco de Paula Santander, (+57) 3143302555, Cúcuta, Colombia.

Cómo citar: M.S. Narváz-Ortega, J. Sanchez-Molina, C.X. Diaz-Fuentes, "Experimentación comparativa de transferencia de calor por puente térmico a partir de la modificación de la geometría de los tabiques en bloque cerámico H10.". *Respuestas*, vol. 25, no. S2 ,pp 29-35. 2020

Recibido: Agosto 10, 2019; Aceptado: Noviembre 15, 2019

ABSTRACT

Keywords:

Ceramic block,
Energy efficiency,
Thermal Bridge,
Warm climate.

The cooked block H10 of dimensions L: 300 mm, A: 100 mm, H: 200 mm and 6 rectangular cavities is the leading product of the ceramic masonry industry in the Norte de Santander region, this research takes as its starting point its Initial characteristics: dimension, shape and weight to perform a morphological exploration of the geometry of the internal cells in this constructive unit in search of the optimization of its thermal properties to obtain insulation in high temperatures of 33 ° C characteristic of warm climates, a study framed in the context of clay as a vernacular material under the environmental conditions of Cúcuta city, Colombia, structuring an exploration that articulates strategies towards the development of energy efficiency. A finite element method (FEM) was applied in ANSYS R16 simulation software to establish comparatively the thermal behavior in the standard product of Form-A and 3 variations in the type of internal cells in the same thickness of 100mm and 6 horizontal cavities, applied analysis of temperature distribution and heat flow in a traditional masonry building system with equal heat incidence in the initial surface; the results allow to compare the final temperature derived from the morphologies in the Form-B, Form-C and Form-D, from the analysis is derived 54.948 W/m² in the heat flow on the partitions of the Form-C as the geometry with better performance, achieving a decrease in thermal energy of 0.981 ° C in the final surface of the enclosure related to Form-A this procedure links up the variables that favor the dissipation of energy from -the form-, a passive technique that can be applied from the industrial process to reduce the percentages of heat accumulated by enclosures in ceramics, displaying an opportunity to add value to low-cost products.

RESUMEN

Palabras Clave:

Bloque cerámico,
Clima cálido,
Eficiencia energética,
Puente térmico.

El bloque H10 cocido de dimensiones L: 300 mm, A: 100 mm, H: 200 mm y 6 cavidades rectangulares es el producto líder de la industria cerámica de mampostería en la región de Norte de Santander, esta investigación toma como punto de partida sus características iniciales: dimensión, forma y peso para realizar una exploración morfológica de la geometría de las celdas internas en esta unidad constructiva en búsqueda de la optimización de sus propiedades térmicas para obtener aislamiento en temperaturas elevadas de 33°C característica de los climas cálidos, un estudio enmarcado en el contexto de la arcilla como material vernáculo bajo las condiciones medioambientales de la ciudad de Cúcuta, Colombia, estructurando una exploración que articula estrategias hacia el desarrollo de eficiencia energética. Se aplicó un método de elementos finitos (FEM) en software de simulación ANSYS R16 para establecer de forma comparativa el comportamiento térmico en el producto estándar de Forma-A y 3 variaciones en la tipología de celdas internas en un mismo espesor de 100mm y 6 cavidades horizontales, aplicado análisis de distribución de temperatura y flujo de calor en un sistema constructivo de mampostería tradicional con igual incidencia de calor en la superficie inicial; los resultados permiten confrontar la temperatura final derivada de las morfologías en la Forma-B, Forma-C y Forma-D, del análisis se deriva 54,948 W/m² en el flujo de calor sobre los tabiques de la Forma-C como la geometría con mejor rendimiento, logrando una disminución de energía térmica de 0,981°C en la superficie final del cerramiento respecto a la Forma-A este procedimiento relaciona las variables que favorecen la disipación de energía desde -la forma-, una técnica pasiva que puede ser aplicada desde el proceso industrial para disminuir los porcentajes de calor acumulado por envolventes en cerámicas, presentando una oportunidad para agregar valor a productos de bajo costo.

Nomenclatura.

CAD: Diseño Asistido por Computador

CAE: Ingeniería Asistida por Computador

FEM: Método de elementos finitos

L: Largo

A: Ancho

H: Alto

Introducción.

El clúster de la cerámica en Norte de Santander dedica el 45% de su producción a la fabricación de Bloque H10 para obras de mampostería estructural y no estructural [1],

con un marcado liderazgo en la industria es una pieza de bajo costo que presenta la mayor demanda del mercado, caracterización que lo convierte en un componente determinante de construcción en la región. Desde esta perspectiva la presente investigación reconoce la

*Corresponding au-

E-mail ad- jorgesm@ufps.edu.co Jorge Sánchez-Molina

Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.



This is an article under the license CC BY-ND

importancia de esta unidad constructiva y se formula la oportunidad de plantear estrategias que fortalezcan sus potencialidades desde un eje de eficiencia energética, como un elemento articulador de las condiciones térmicas interiores de la edificación local, dentro de un contexto medioambiental de clima tropical cálido. Desde de este lineamiento, este estudio se centra en la optimización de los componentes del producto tipo Bloque H10, a partir del reconocimiento de sus debilidades.

Bajo esta línea investigativa, este trabajo se fundamenta

dustria cerámica, el presente estudio desarrolla un proceso de experimentación de -la forma- como una herra en resultados previos de flujo de calor en unidades de Bloque H10 tradicional [2], identificando su comportamiento térmico (Tabla I), donde es posible observar una mayor concentración de calor sobre los tabiques horizontales del bloque cerámico en relación a las paredes y nervios, reportando valores promedio de 146,66 W/m². Esta relación se evidencia en la Figura 1 en la cual se observa mayor energía acumulada sobre los tabiques como puentes térmicos directos.

Nombre	Flujo de calor promedio en tabiques (W/m ²)	Flujo de calor promedio en nervios (W/m ²)	Flujo de calor promedio en paredes (W/m ²)
Sistema 01-A	146,66	3,488	51,882

Fuente: M.S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina, C. X. Díaz-Fuentes. (Noviembre 2018).

TABLA I. RESULTADOS DE FLUJO DE CALOR EN BLOQUE CERÁMICO H-10.

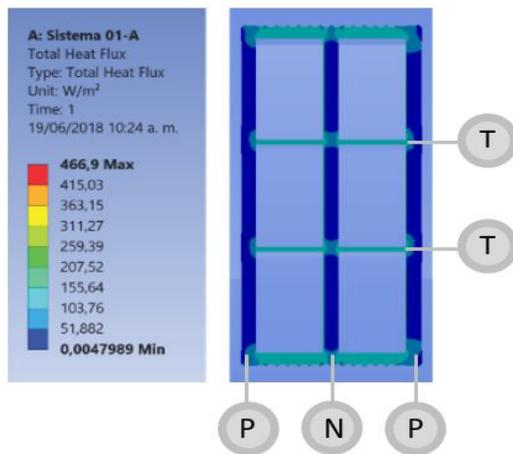


Figura 1. Resultados de Flujo de calor en Bloque cerámico H10. (T) Tabique (P) Pared (N) Nervio.

Considerando necesario modificar la estructura interna de la pieza constructiva, como estrategia, esta investigación se fundamenta en resultados obtenidos por otros investigadores sobre bloques de arcilla huecos, donde se hallan respuestas en la creación de complejos sistemas de cavidades internas [3][4][5][6] como una alternativa a las perforaciones tradicionales a través de morfologías que buscan el aislamiento como una oportunidad para un rendimiento térmico más eficiente, donde las perforaciones internas se traslapan creando diversas geometrías en los tabiques que interrumpen los puentes térmicos; en el ámbito regional estos teóricos se pueden observar en productos como la patente Bloque Termodisipador [7].

mienta para proporcionar mejores resultados térmicos al interior de las construcciones locales incorporando una perspectiva de bajo costo, partiendo de las características externas del Bloque H10 estándar con dimensiones L: 300 mm, A: 100 mm, H: 200 mm y 6 cavidades rectangulares formadas por 1 nervio y 4 tabiques interiores; a partir del diseño se altera la geometría interna de la pieza conservando el tamaño, forma exterior y peso inicial de la unidad constructiva, alterando la forma de los tabiques para interrumpir los puentes térmicos como un método que favorece la pérdida de energía al extender los recorridos de la temperatura reduciendo la conducción directa de calor hacia la superficie final, como una alternativa hacia un rendimiento térmico más eficiente, que conserve las fortalezas de un bajo costo del producto en el mercado y su funcionalidad constructiva en mampostería [8].

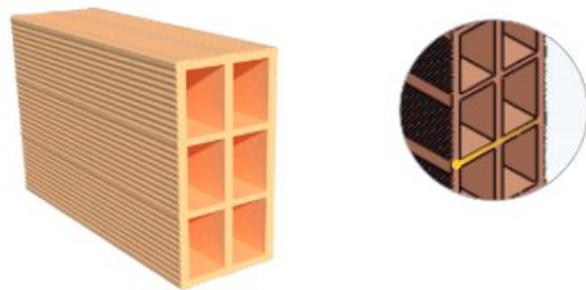


Figura 2. Morfología de celdas Bloque H10 Tradicional, Forma A.

Estableciendo una oportunidad para el mercado de la in-

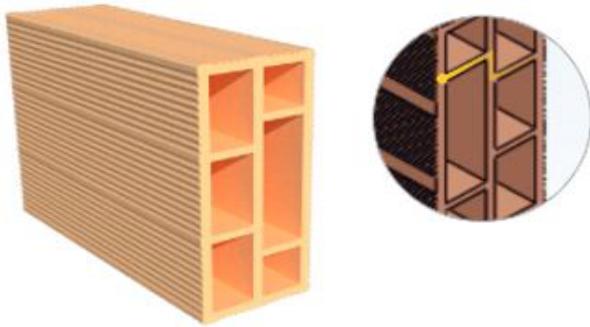


Figura 3. Morfología de celdas Bloque H10 Tradicional, Forma A.

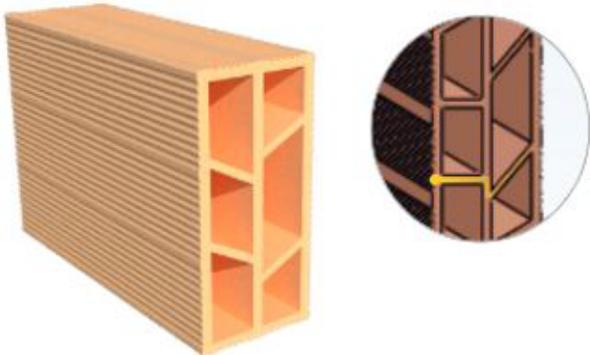


Figura 4. Morfología de celdas Bloque H10 Propuesto, Forma C.

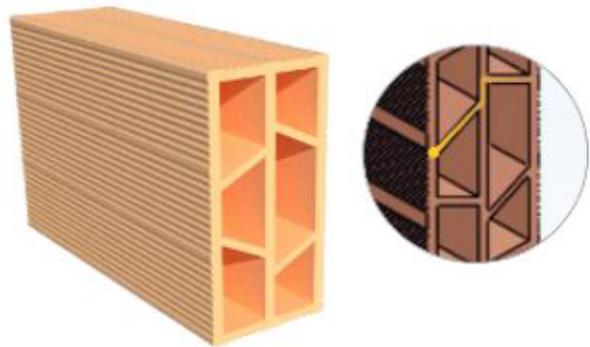


Figura 5. Morfología de celdas Bloque H10 Propuesto, Forma D.

Se exploran (3) tipos de morfología interna: Forma-B, Forma-C y Forma-D conservando 6 perforaciones horizontales y 1 nervio interno, para modificar la geometría y posición de los 4 tabiques, en la Forma-B se utilizan geometrías horizontales y en las formas F-C y F-D geometrías oblicuas. En el proceso de evaluación se implementa método de elementos finitos (FEM) en un sistema simple de mampostería para determinar el comportamiento térmico de las diferentes geometrías bajo condiciones medioambientales reales de la ciudad de Cúcuta, y establecer de forma comparativa el impacto de la estrategia sobre los flujos de calor y la distribución de temperatura en de las piezas cerámicas.

Método FEM

Se emplea CAE en software ANSYS R16 a través de CAD en software SOLIDWORKS 2017 en extensión Parasolid, con modelos de las unidades constructivas en Forma-A como testigo del comportamiento térmico del producto H-10 con las características tradicionales y (3) formas de tabiques propuestas Forma-B, Forma-C y Forma-D; con el objetivo de comparar la distribución de temperatura y flujo de calor de cada pieza; las unidades se configuran en sistemas de mampostería estándar.

Procedimiento CAD

Datos:

Los datos utilizados de conductividad térmica para bloque de arcilla estándar y mortero de cemento [6]:

$$k \text{ Bloque} = 0,391 \text{ W / m. } ^\circ\text{C}$$

$$K \text{ Mortero} = 0,88 \text{ W / m. } ^\circ\text{C}$$

Los datos ambientales locales se toman de IDEAM [9] para el mes de julio, Cúcuta, con:

$$Temperatura \text{ maxima} = 33 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Radiación \text{ solar maxima promedio} = 695,4 \text{ w. h/m}^2$$

$$Q_{solar} = 695,4 \text{ w/ m}^2$$

$$Velocidad \text{ promedio del viento} = 5,5 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 12:00 \text{ horas a } 13:00 \text{ horas} = 1 \text{ horas}$$

En relación a 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.

$$h = \frac{Nu * k}{Lc} \quad (1)$$

Donde:

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:

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

Donde:

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.

$$Re = \frac{\rho * V * Lc}{\mu} \quad (3)$$

Donde:

ρ : Densidad del aire.

V : Velocidad del viento.

μ : Viscosidad dinámica del aire.

Las propiedades del aire a temperatura de 33°C se toman de la Tabla A-15 [10].

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

$$k = 0,026102 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{°C}$$

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

$$Pr = 0,72736$$

Reemplazando los valores en orden de las ecuaciones (3), (2) y (1), se obtiene como resultado un coeficiente de transferencia de calor por convección de $h = 19,035 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°C}$ 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 $h = 5 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°C}$ teniendo en cuenta los valores de la Tabla I-V [10].

Procedimiento CAE

Cada simulación se resolvió en 7 pasos (Figura 6).

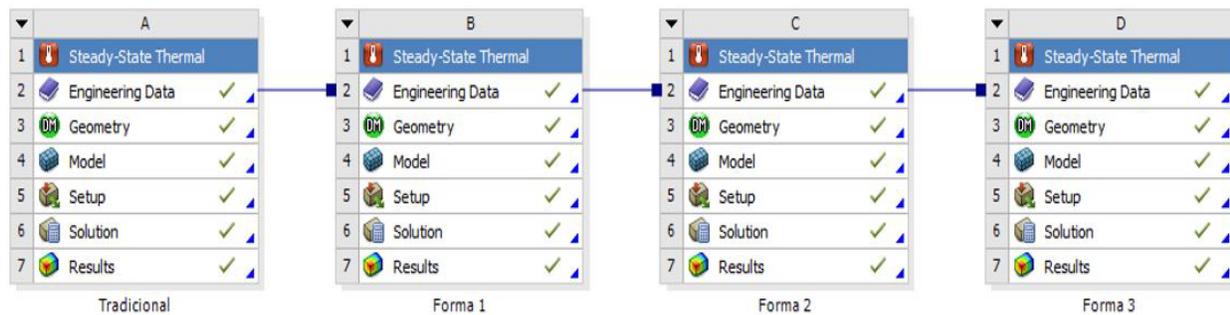


Figura 6. Procedimiento CAE.

1)Analysis System Type: 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 material de bloque y mortero de cemento.

2)Engineering Data: Se introducen las propiedades de los materiales en la base de datos de ANSYS R16 utilizando Engineering Data Source y se relacionan con todos los Analysis System.

3)Geometry: 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)Model: 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)Setup: Las condiciones a las que están sometidas todas las piezas se observan en la Figura 7. En la cara frontal se aplican las condiciones exteriores de viento y radiación solar, y en la cara trasera se aplican las condiciones interiores de convección natural, los valores empleados se relación a continuación:

A: Convección ($5 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°C}$).

B: Flujo de calor ($695,4 \text{ W} / \text{m}^2$).

C: Convección ($19,035 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°C}$).

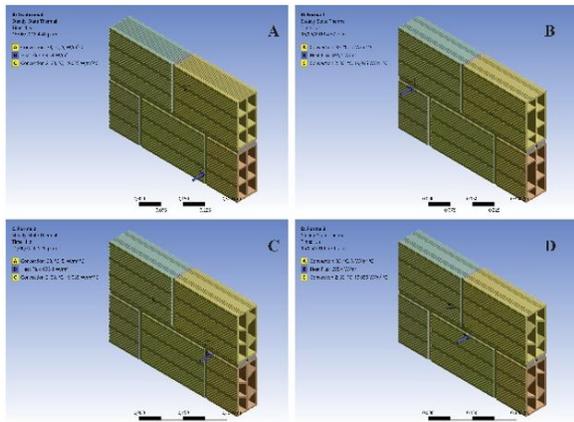


Figura 7. Condiciones aplicadas al modelo.

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

7) **Results:**

a) **Distribución de temperatura**

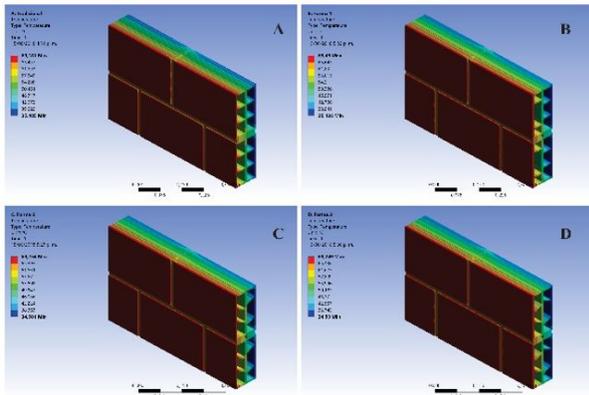


Figura 8. Isometría frontal de Distribución de temperatura

b) **Flujo total de calor**

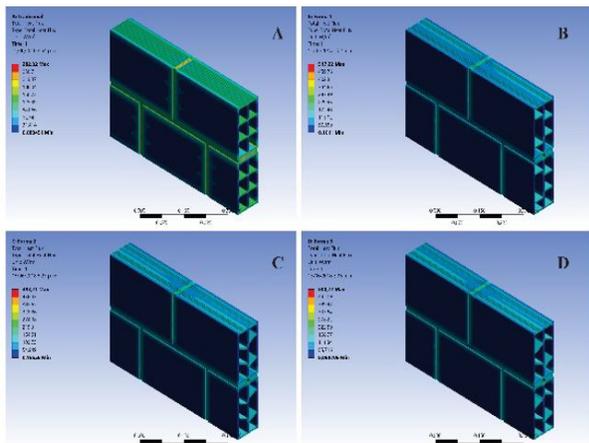


Figura 9. Isometría frontal de Flujo de calor.

Análisis térmico comparativo

Producto	Temperatura Máxima Superficie Inicial (°C)	Temperatura Mínima Superficie Final (°C)	Pérdida de Calor (°C)	Temperatura Promedio Tabique (°C)
Forma A	69,181	35,485	33,696	52,970
Forma B	69,460	35,126	34,334	52,178
Forma C	69,254	34,501	34,754	48,980
Forma D	69,249	34,930	34,319	52,652
Temperaturas Promedio Formas B,C,D		34,852	34,469	51,27

Fuente: Autor.

TABLA II. RESULTADOS DE DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA.

Producto	Flujo de calor Máximo (W/m²)	Flujo de calor Mínimo (W/m²)	Flujo de calor Promedio Tabique (W/m²)
Forma A	282,02	0,088451	144,54
Forma B	517,22	0,1011	128,08
Forma C	493,21	0,16658	123,19
Forma D	500,72	0,0407009	124,58

Fuente: Autor.

TABLA III. RESULTADOS DE FLUJO DE CALOR.

Los resultados de la exploración geométrica para reducir la transferencia de calor se pueden observar en la Tabla II y la Tabla III, de los perfiles de distribución de temperatura y flujo de calor obtenidos en simulaciones (FEM) se puede determinar que la Forma-C presenta comparativamente una mayor disminución térmica en los tabiques, con una temperatura de 48,980 °C en los tabiques, reduciendo 3,99°C respecto a la Forma-A con 52,970°C, alcanzando una temperatura mínima promedio de 34,501°C en la superficie final, 0,984°C menor a respecto a 35,485°C de la Forma-A . En la Figura 8 se ilustran los resultados de distribución de temperatura.

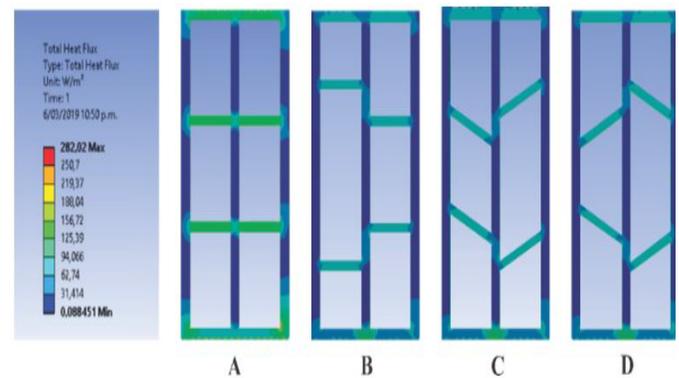


Figura 10. Resultados de flujo de calor.

Producto	Superficie Final Temperatura Promedio (°C)	Superficie Final Temperatura (°C) respecto Temperatura Ambiente 33°C Forma-A 2,486 °C	Superficie Final Disminución de Temperatura (°C) respecto Forma-A 35,486°C	Tabique Disminución de Flujo de calor (W/m²) respecto Forma-A 144,54 W/m²
Forma B	35,127	2,127	↓ 0,359	↓ 16,46
Forma C	34,505	1,505	↓ 0,981	↓ 21,35
Forma D	34,933	1,933	↓ 0,553	↓ 19,96

Fuente: Autor.

TABLA IV. ANÁLISIS TÉRMICO COMPARATIVO DE FORMA A EN RELACIÓN FORMA B, C Y D.

La morfología C presenta un flujo de calor de 493,21W/m² – 0,16658 W/m² máximo y mínimo respectivamente, con 123,19 W/m² flujo de calor promedio sobre los tabiques, 21,35 W/m² inferior a 144,54 W/m² de energía en la Forma-A tradicional, en general la Forma-C presenta un flujo de calor de 493,21W/m² – 0,16658 W/m² máximo y mínimo respectivamente, los resultados se pueden observar en la Figura 9 y la Figura 10.

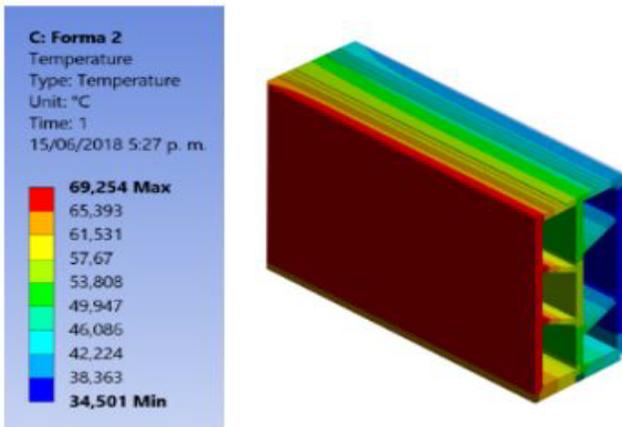


Figura 11. Resultados de distribución de temperatura, Unidad constructiva Forma-C.

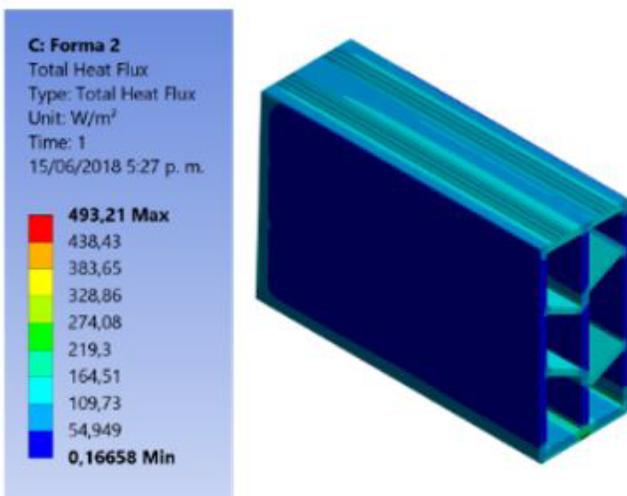


Figura 12. Resultados de flujo de calor, Unidad constructiva Forma-C.

Conclusiones

A partir de los datos resultantes es posible concluir que la modificación de la forma de los tabiques de un producto tipo H10 puede alcanzar una reducción de 0,77°C en promedio sobre la morfología tradicional sin modificar las dimensiones perimetrales y peso inicial del producto estándar, por tanto, sin aumentar su costo de mercado, logrando una disminución de hasta 0,981°C con la Forma-C, configurando una unidad constructiva de bajo costo con una temperatura final 1,505°C sobre 33°C como temperatura ambiente aplicada, por debajo de 2,486°C resultante de un bloque H-10 con características tradicionales. En la Forma-C se reporta una temperatura promedio en la superficie final de 34,505°C y 48,980°C sobre los tabiques, 3,99°C por debajo de la Forma-A en relación a los análisis FEM de distribución de temperatura; respecto al flujo de calor se reportan 123,19 W/m² promedio sobre los tabiques de la Forma-C, 21,35 W/m² de energía por debajo de los datos obtenidos en la Forma-A. En conclusión, la metodología de exploración morfológica en esta investigación muestra que es posible disminuir los porcentajes de calor transferido en aproximadamente 1°C en bloques cerámicos H10 a partir de la interrupción del puente térmico en los tabiques, sin embargo, se considera necesario implantar estrategias adicionales desde la composición material, la complejidad de la forma en tabiques y nervios, las dimensiones o peso de la unidad constructiva en búsqueda de potencializar los resultados en relación a una eficiencia energética más óptima para climas tropicales cálidos.

Referencias

- [1] Sánchez, J., & Ramírez, P. (2013). El clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.
- [2] M.S. Narvárez-Ortega, J. Sánchez-Molina, C. X. Diaz-Fuentes. (Noviembre 2018). Evaluación comparativa de propiedades físicas, mecánicas y desempeño térmico de bloques H10 y H15 tradicionales fabricados por la industria cerámica de San José de Cúcuta, Colombia. J. Piero (Presidencia), 5th international week of science technology & innovation. Congreso llevado a cabo en Cúcuta, Colombia).

- [3] Vivancos, J.-L., Soto, J., Perez, I., Ros-Lis, J. V., & Martínez-Máñez, R. (2009). A new model based on experimental results for the thermal characterization of bricks. *Building and Environment*, 1047-1052.
- [4] Lourenço, P., Vasconcelos, G., Medeiros, P., & Gouveia, J. (2010). Vertically perforated clay brick masonry for loadbearing and non-loadbearing masonry walls. *Construction and Building Materials*, 2317-2330.
- [5] Kočí, J., Maděra, J., & Černý, R. (2015). A fast computational approach for the determination of thermal properties of hollow bricks in energy-related calculations. *Energy*, 83, 749-755.
- [6] Kanellopoulos, G., Koutsomarkos, V., Kontoleon, K., & Georgiadis-Filikas, K. (2017). Numerical Analysis and Modelling of Heat Transfer Processes through Perforated Clay Brick Masonry Walls. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 492-499.
- [7] Niño, M. &. (2015). Norte de Santander, Colombia Patente n° 30561.
- [8] Peña, G., Peña, J. Y., & Gómez, M. A. (2014). Determinación Experimental de la Conductividad Térmica Efectiva en Bloques Extinguidos de Arcilla Roja. *Revista Ciencia en Desarrollo*, 5(1), 15-20.
- [9] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). Informe estacion Universidad Francisco de Paula Santander, Promedio horario de radiación. Cúcuta: IDEAM.
- [10] Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico*. México: McGraw-Hill Interamericana.