

COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE LADRILLO PRODUCIDOS POR EL CLÚSTER CERÁMICO DE NORTE DE SANTANDER

THERMAL BEHAVIOR OF DIFFERENT TYPES OF BRICKS PRODUCED BY THE CERAMIC CLUSTER OF NORTE DE SANTANDER

 MSc. Marlyn Stephanny Narváez Ortega*,  MSc. Jessica Viviana Sánchez Zúñiga*,  PhD. Jorge Sánchez Molina*.

* Universidad Francisco de Paula Santander, Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica.

Avenida Gran Colombia No. 12E-96, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: (607) 5776655

E-mail: stephannynarvaezortega@outlook.com, {jessicavivianasz, jorgesm}@ufps.edu.co

Cómo citar: Narváez Ortega, M. S., Sánchez Zúñiga, J. V., & Sánchez Molina, J. (2022). COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE LADRILLO PRODUCIDOS POR EL CLÚSTER CERÁMICO DE NORTE DE SANTANDER. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA (RCTA), 2(40), 47-52. <https://doi.org/10.24054/rcta.v2i40.2351>

Derechos de autor 2022 Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA).
Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



Resumen: En un clima cálido tropical las piezas constructivas producidas para envolventes cerámicas en Norte de Santander requieren de una caracterización térmica para definir los modelos que presentan mejor comportamiento físico respecto a los flujos de energía que capta un cerramiento edificado con un sistema de mampostería estándar. Esta investigación evalúa de forma comparativa cuatro tipologías de ladrillo de arcilla roja cocida producidos en la región, utilizando simulaciones térmicas para analizar perfiles de temperatura en las diferentes variables de masa, porcentaje de aire en cámaras internas y forma de puentes térmicos de cada pieza, determinando el modelo que presenta menor transmitancia térmica. Los resultados aportan información a los procesos de desarrollo de unidades constructivas y establecer ventajas en piezas tradicionales como el ladrillo estructural para generar resistencia térmica en la envolvente cerámica, demostrando una reducción en la transmitancia de 1,5°C a 4,2°C respecto a otros modelos de ladrillo macizo o multiperforado.

Palabras clave: Cerámica, Ladrillo, Comportamiento Térmico.

Abstract: In a hot tropical climate, the construction elements produced for ceramic envelopes in Norte de Santander require a thermal characterization to define the models that present the best physical behavior with respect to the energy flows captured by an enclosure built with a standard masonry system. This research comparatively evaluates four types of fired red clay brick produced in the region, using thermal simulations to analyze temperature profiles in the different variables of mass, percentage of air in internal chambers and shape of thermal bridges of each piece, determining the model that presents the lowest thermal transmittance. The results provide information for the development processes of construction units and establish advantages in traditional pieces such as

structural brick to generate thermal resistance in the ceramic envelope, demonstrating a reduction in transmittance of 1.5°C to 4.2°C with respect to other models of solid or multiperforated brick.

Keywords: Ceramics, Brick, Thermal Behavior.

1. INTRODUCCIÓN

En un contexto climático cálido de tipo semihúmedo, semiárido y árido característico de municipios como Cúcuta, El Zulia, Villa del Rosario y Los Patios (Sánchez, 2013) en el departamento de Norte de Santander, Colombia, donde la arcilla es un material vernáculo a partir del cual se producen piezas constructivas de excelente calidad para la edificación de mampostería arquitectónica, es de suma importancia el análisis de su comportamiento térmico a partir de sus características físicas pues su morfología definirá los perfiles de flujos de calor y la capacidad de transmitancia térmica dentro de los sistemas de cerramiento, un aspecto especialmente relevante bajo temperaturas de hasta 40°C , humedad relativa del 80% y altos índices de irradiancia solar en cielos de baja nubosidad que pueden alcanzar los $796,8 \text{ W/m}^2$ en horas medias del día (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018).

Dentro del sector de la cerámica constructiva en la región un 19% de la producción corresponden a unidades para cerramientos verticales tipo ladrillo (Sánchez, 2013), fabricados comúnmente por método de extrusionado, cuyas piezas finales presentan una conductividad térmica entre $0,391 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ (Rozo S. M., 2014) y $0,407 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ (Peña, 2014), en formatos entre 80mm y 120mm de espesor, dichas unidades constructivas se utilizan en sistemas de mampostería con importantes áreas de la superficie y juntas de mortero expuestas a grandes flujos de calor (Colmenares, 2020), por tanto, funcionan como envolventes de alta transmitancia térmica (Narváez, 2019).

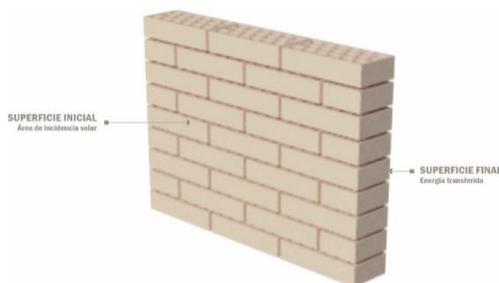


Fig. 1. Sistema constructivo de ladrillo cerámico.

En el sistema constructivo tradicional de mampostería cerámica (Fig. 1) la forma rectangular de la pantalla exterior que forma el muro está expuesta a la radiación solar directa, calor que es transferido a través de los componentes del material hasta la superficie final del cerramiento.

En la región se producen diversas tipologías correspondientes a ladrillo cerámico (Fig. 2) de diferentes dimensiones, textura y acabado, siendo el más común el ladrillo multiperforado (b) de 60mm de alto, 120mm de ancho y 250mm de longitud, utilizado en la construcción de muros de bajo costo generalmente con acabado a la vista.

Como objeto de análisis se toman las 4 tipologías de ladrillo cerámico más comunes para realizar análisis del comportamiento térmico de las piezas, evaluando porcentaje de masa, forma de puente térmico y porcentaje de aire en las cavidades internas, dentro de la oferta de mercado la pieza L-1 es un tipo de ladrillo macizo que no presenta ninguna perforación interna, el ladrillo multiperforado de cavidades circulares verticales es el producto más demandado dentro de su tipología (L-2), la pieza L-3 es un tipo de ladrillo perforado que presenta 12 cavidades rectangulares y el bloque estructural tipo ladrillo es un producto de 3 cavidades verticales 1 rectangular central y 2 cuadradas laterales con gran capacidad de aire L-4.

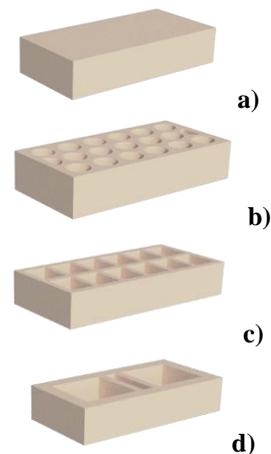


Fig. 2. Tipologías de ladrillo cerámicos a) L-1, b) L-2, c) L-3 y d) L-4.

1.1. Puentes Térmicos

La cara rectangular de la pantalla que forma la mampostería fabricada con ladrillos cerámicos permite que las piezas estén expuestas a la radiación solar, calor que es absorbido por el material, acumulándose y transfiriéndose al interior a través de las superficies compuestas por paredes y tabiques, como puntos de flujo de calor directo.

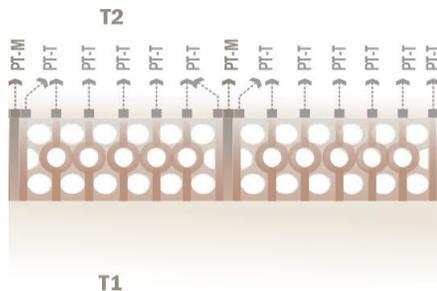


Fig. 3. Vista horizontal del sistema constructivo con ladrillos cerámicos, implementando ladrillo L-2.

En la Figura 3, T1 define la superficie inicial 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.

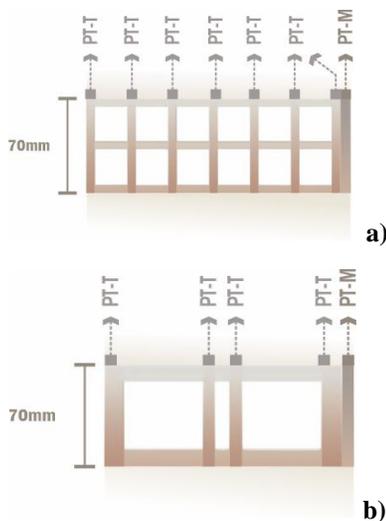


Fig. 4. Puentes térmicos en productos tipo (A) Ladrillo L-3 (B) Ladrillo L-4.

Los ladrillos presentan perforaciones verticales, con un mayor número de puentes térmicos que otras piezas constructivas como bloques cerámicos

(Narváez, 2019) como los productos L-2 y L-3 con 7 tabiques cada uno o un menor número como L-4 con 4 tabiques, las características que contiene L-4 constituyen una ventaja dentro de un sistema de alta transmitancia térmica.

2. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

En el desarrollo de la investigación esta fase se enfoca en la validación de los diseños a partir de pruebas en formato digital, se utiliza método de elementos finitos para desarrollar simulaciones térmicas en software ANSYS R16, implementando parámetros propios de clima de ciudad de Cúcuta para establecer el comportamiento térmico por transferencia de calor de las piezas en condiciones de 33°C como temperatura máxima promedio, determinando la distribución de temperatura y los flujos de calor relacionados a la forma y dimensión de las piezas.

Los datos medioambientales utilizados se toman del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2022) para una localización geográfica de latitud: 7.9°N, longitud: 72.5°W, altitud: 298msnm en Cúcuta, tomando como punto de referencia para la temporalidad el mes de septiembre como el periodo que presenta las temperaturas más elevadas a lo largo del año, considerando variables del clima máximas promedio de las 12:00 horas a las 13:00 horas de un día tipo, donde, un flujo del viento presenta una velocidad de 4 m/s y una irradiancia solar máxima promedio de 796,8 W/m². Los datos utilizados de la conductividad de los materiales:

$$k_{\text{Arcilla}} = 0,407 \text{ W / m. } ^\circ\text{C}$$

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

Con 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:

$$h = Nu * k_{\text{Lch}} = Nu * k_{\text{Lc}} \text{ Ecuación (1)}$$

h: Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Nu: Número de Nusselt.

k: Conductividad térmica del aire.

Lc: Longitud característica asumida de 20 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:

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

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:

$$Re = \rho * V * L_c \quad \mu Re = \rho * V * L_c \quad \mu \text{ Ecuación (3)}$$

ρ : Densidad del aire.

V : Velocidad del viento.

μ : Viscosidad dinámica del aire.

A continuación, se describen las propiedades del aire para una temperatura de 33°C (Cengel, 2007).

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

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

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

$$Pr = 0,72736$$

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 $h = 17,5154 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°C}$ que se aplicará a la sección exterior de la geometría, donde tiene efecto la velocidad del viento, y asume una transferencia de calor por una convección natural de $5 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°C}$ y un flujo de calor de $796,8 \text{ W} / \text{m}^2$. Para las superficies que no están encerradas como cámaras de aire internas se asume un coeficiente de transferencia de calor por convección natural de $h = 5 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°C}$. Las condiciones a la que se somete los productos se muestran en la Figura 5:

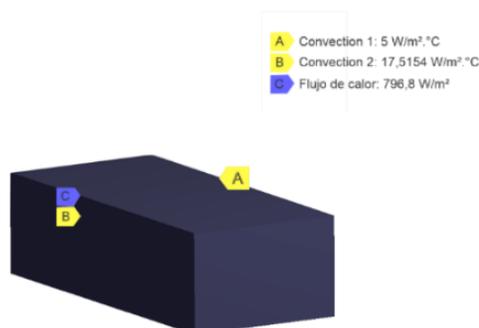


Fig. 5. Condiciones aplicadas a los modelos de ladrillos de la muestra L-1.

3. RESULTADOS

En la Figura 6 se exponen los resultados iniciales de flujo de energía en las muestras, donde, una pieza formada por 100% arcilla L-1 presenta un flujo de calor constante de $92,74 \text{ W} / \text{m}^2$, la pieza L-2 no muestra perfiles de calor acumulado por debajo de $6,45 \text{ W} / \text{m}^2$, cuyos puentes térmicos circulares que conectan S1 con S2 presentan en su interior una constante de $159,16 \text{ W} / \text{m}^2$ en promedio, y condiciones de calor en S2 no menor a $52,26 \text{ W} / \text{m}^2$, en el caso de L-3 con formas internas rectas desde S1 a S2 sus tabiques muestran un calor de $152 \text{ W} / \text{m}^2$ y de $50,95 \text{ W} / \text{m}^2$ en superficie S2; respecto a la pieza L-4, con características de resistencia térmica derivadas de 3 puentes térmicos y un buen porcentaje de aire respecto a masa, su superficie S2 presenta el flujo de calor más bajo con $46,76 \text{ W} / \text{m}^2$ y $124,70 \text{ W} / \text{m}^2$ en puentes térmicos, una estructura que presenta ventajas formales respecto a las demás tipologías de ladrillo cerámico tradicional:

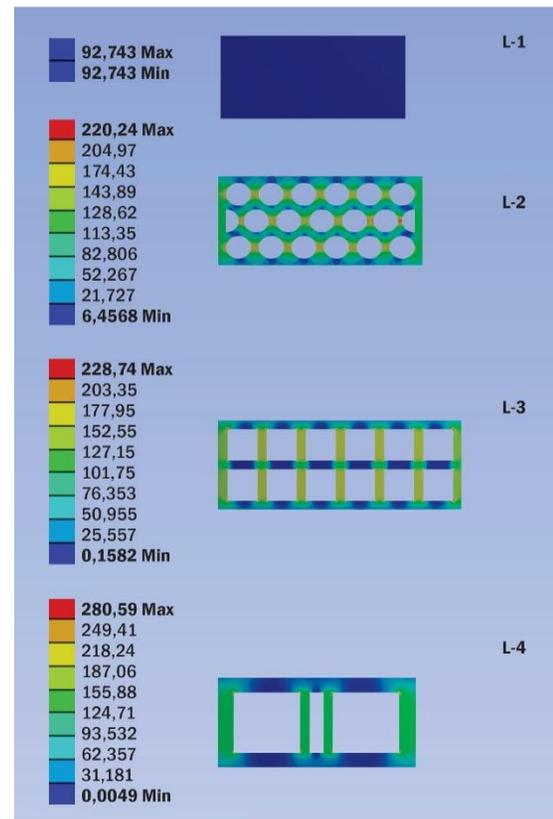


Fig. 6. Resultados de flujo de calor de los productos tipo ladrillo.

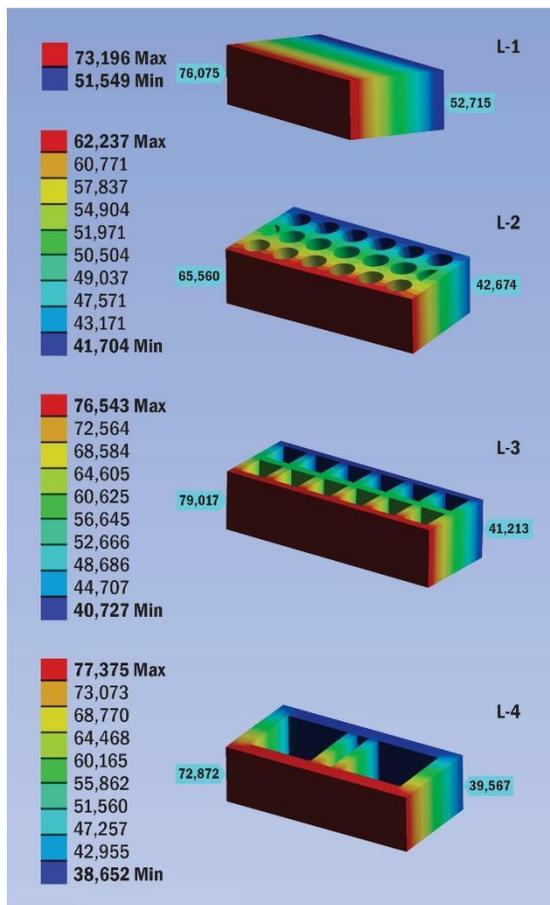


Fig. 7. Resultados de distribución de temperatura de los productos tipo ladrillo.



Fig.8. Resultados de distribución de temperatura en puente térmico formado por mortero.

El producto L-1 de 100% masa cerámica, uniforme en superficie y volumen, sin cámaras de aire internas es la pieza que por tanto presentan los perfiles de calor más altos por sus características físicas, alcanzando 51,5°C en la superficie interna de la pieza bajo condiciones de temperatura exterior de 33°C. La Tabla 6 presenta las diferencias entre las formas L-2, L-3 y L-4 de ladrillo multiperforados:

Tabla 1. Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2 de L-2, L-3 y L-4.

| Temperatura en °C | L-2 | L-3 | L-4 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| Máxima en S1 | 62,23° C | 76,54° C | 77,37° C |
| Mínima en S2 | 41,70° C | 40,72° C | 38,65° C |
| Promedio en S1 | 65,56° C | 79,01° C | 72,87° C |
| Promedio en S2 | 42,67° C | 41,21° C | 39,58° C |

La Figura 7 presenta los resultados de distribución de temperatura en las superficies S1 y S2 de las diferentes tipologías de ladrillo, donde, L-4 demuestra un mejor comportamiento térmico con un perfil de temperatura sobre la superficie final de 39,58°C, una reducción entre 3,09°C y 1,63°C respecto a L-2 y L-3 respectivamente, una resistencia térmica asociada a las diferencias entre el número y el área de cavidades de aire internas, donde, se evidencia que a mayor capacidad de aire y menor número de paredes internas se presenta una menor temperatura transferida, siendo L-4 con dos cavidades internas y un único puente térmico el producto con mejor comportamiento térmico.

Tabla 2. Resultados de distribución de temperatura en tabiques y paredes de L-2, L-3 y L-4.

| Temperatura en °C | L-2 | L-3 | L-4 | |
|-------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| PT- Tabiques | Máxim a | 64,72° C | 75,73° C | 76,00° C |
| | Mínima | 45,54° C | 42,83° C | 41,16° C |
| PT- Paredes | Máxim a | 65,75° C | 76,29° C | 77,35° C |
| | Mínima | 43,65° C | 40,96° C | 39,46° C |

Respecto al comportamiento de la temperatura sobre las superficies formadas por tabiques y paredes L-4 refleja la menor carga térmica con 41,16°C en promedio sobre tabiques, y 39,46°C en paredes conectadas a cámaras de aire, una diferencia de hasta 4,20°C en promedio respecto a L-2 que contiene 19 cavidades de forma cilíndrica, y de 1,5°C en comparación con paredes y tabiques de L-3.

Los resultados permiten establecer una oportunidad de desarrollo en la pieza L-4, con una temperatura final competitiva respecto a otros tipos de producto como los bloques cerámicos (Narvaez, 2018).

4. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que los productos tradicionales no funcionan térmicamente para el clima local, registrando temperaturas finales de hasta 51,54°C como la pieza L-1, aportando altas cargas térmicas por transferencia de calor en los cerramientos, los productos L-2 y L-3 presentan comportamientos térmicos similares con temperaturas finales promedio de 41,2°C considerando características similares en número de paredes y tabiques, sin embargo L-2 registra temperaturas más altas al contener formas circulares que permiten una mejor transferencia de calor. En cuanto a la pieza L-4 con mejores características formales, presenta el mejor comportamiento térmico entre todas las muestras, con una temperatura final transferida de 38,6°C, cuyas dimensiones en cavidades de aire les otorgan mayores ventajas respecto a otros modelos de pieza, permitiendo una mayor resistencia térmica al flujo de calor.

Los datos analizados pueden servir de base para la correcta selección de materiales, así como para la definición de lineamientos en el desarrollo de nuevos productos que puedan contribuir efectivamente a la mitigación de condiciones climáticas de alta temperatura, considerando principalmente una mayor proporción de aire en el área de las cavidades internas y una estrategia que evite o utilice formas disipadoras en puentes térmicos.

RECONOCIMIENTO

Se agradece a centro de investigación en materiales cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander por su apoyo en el desarrollo del presente proyecto, como centro de caracterización físico-térmica de materiales cerámicos para la construcción.

REFERENCIAS

- Cegel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor y Masa, Un Enfoque Práctico* (. Mexico: McGraw-Hill.
- Colmenares A., S. J. (2019). Comparative thermal analysis of extruded ceramic products between multi perforated brick and modified bricks in cells distribution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1386, 28-31.

- Colmenares, A. S. (2020). Caracterización térmica y técnica del ladrillo multiperforado a nivel de laboratorio. *Respuestas*, 25, 43-49.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2022). *Atlas Climatológico*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). *Informe estacion Universidad Francisco de Paula Santander, Promedio horarioderadiación*. Bogotá: IDEAM.
- Narváez, M. S. (2019). 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*, 1388, 1-8.
- Narváez, M. S. (2020). 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*, 25, 29-35.
- Peña, G. P. (2014). Determinación experimental de la conductividad térmica efectiva en bloques extinguidos de arcilla roja. *Revista Ciencia en Desarrollo*, 15-20.
- Rozo S. M., S. J. (2014). Propiedades físico mecánicas de bloques h10 fabricados en el área metropolitana de Cúcuta. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24, 67-78.
- Sánchez, J., & Ramírez, P. (2013). *El Clúster de la Cerámica del Área Metropolitana de Cúcuta*. San José de Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.