



## Caracterización térmica y técnica del ladrillo multiperforado a nivel de laboratorio

Thermal and technical characterization of multi-perforated brick at the laboratory level

Andrea P. Colmenares-Uribe<sup>1</sup>, Jorge Sánchez-Molina<sup>2</sup>, Carmen X. Díaz-Fuentes<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Arquitecto. Joven Investigador, Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica GITEC, Facultad de Ciencias Básicas, UFPS. <https://orcid.org/0000-0002-2034-3583>

<sup>2</sup> PhD Doctorado en Ingeniería de los materiales y energías sostenibles, EPS de Linares, Universidad de Jaén-España. Director Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica GITEC. Docente titular, Facultad de Ciencias Básicas, UFPS. <http://orcid.org/0000-0002-9080-8526>

<sup>3</sup> PhD (c) Doctorado en Tecnología de la Arquitectura, Edificación y Urbanismo, Universidad Politécnica de Cataluña. Director del Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos GRAMA. Docente auxiliar, Facultad de Educación, Artes y Humanidades, UFPS. <https://orcid.org/0000-0002-8223-5887>

**How to cite:** A.P Colmenares-Uribe, J. Sanchez-Molina, C.X Diaz-Fuentes, “Caracterización térmica y técnica del ladrillo multiperforado a nivel de laboratorio”. *Respuestas*, vol. 25, no. S1, pp. 43-49, 2020

Received on September 10, 2019; Approved on December 19, 2019

### ABSTRACT

**Keywords:**

Brick; Ceramic industry;  
Clay; Norte de Santander;  
Sustainability.

The ceramics industry in Norte de Santander is recognized for the quality of the raw material that the products offer. However, the guild has limited itself to the mass production of units to satisfy the construction market, leaving aside research and innovation fields to develop new proposals. The characterization of multi-perforated brick MB at laboratory level is a thermal and technical referent of a conventional product and positioned in the construction world. The product was developed on a laboratory scale by extrusion in clay and coffee dust in the CIMAC Ceramic Materials Research Center from the Francisco de Paula Santander University, in order to characterize the MB physical and mechanical properties such as linear contraction, mass losses, determination of efflorescence, resistance to compression, dimensions, water absorption, initial rate of capillarity, porosity and apparent specific weight at the laboratory level. In parallel, it was validated thermally through simulations using the finite element method performed in the ANSYS R16 software to identify the energy behavior by transfer and heat fluxes. This research is the starting point for future projects focused on the design of ceramic products. The results provide technical and thermal data to develop new innovative products that contribute to sustainability.

### RESUMEN

**Palabras clave:**

Arcilla; Industria cerámica; Ladrillo caravista; Norte de Santander; Sostenibilidad.

La industria cerámica en Norte de Santander es reconocida por la calidad de la materia prima de los productos ofrece. Sin embargo, el gremio se ha limitado a la producción masiva de unidades para satisfacer el mercado de la construcción, dejando a un lado campos de investigación e innovación para desarrollar nuevas propuestas. La caracterización de ladrillo multiperforado LM a nivel de laboratorio es un referente térmico y técnico de un producto convencional y posicionado en el mundo de la construcción. El producto se desarrolló a escala de laboratorio por extrusión en arcilla y cisco de café en el Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander, con el fin de caracterizar a nivel de laboratorio las propiedades físicas y mecánicas de LM como la contracción lineal, pérdidas de masa, determinación de eflorescencias, resistencia a la compresión, dimensiones, absorción de agua, tasa inicial de capilaridad, porosidad y peso específico aparente. Paralelamente, se validó térmicamente por medio de simulaciones a través del método de elementos finitos realizado en el software ANSYS R16 para identificar el comportamiento energético por transferencia y flujos de calor. Esta investigación es el punto de partida para próximos proyectos enfocados en el diseño de producto cerámico. Los resultados abonan datos técnicos y térmicos para desarrollar nuevos productos innovadores que aporten a la sostenibilidad.

\*Corresponding au-

E-mail ad- auribe3094@hotmail.com Andrea P. Colmenares Uribe

Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.  
This is an article under the license CC BY-ND



## Introducción

El desarrollo de productos para mampostería representa un factor crucial para la determinación del consumo energético de un edificio. Debido a la agudización del calentamiento global, se ha estimulado el uso incontrolable de sistemas de calefacción artificial para acondicionar las temperaturas de los espacios interiores. Alrededor del mundo se han realizado múltiples investigaciones enfocadas a la eficiencia energética desde los muros a través de nuevos materiales, elementos y sistemas constructivos [1, 2].

Bassiouny, Ali, & NourEldenn (2015) toman como punto de partida el ladrillo tradicional multiperforado (LM) perforado o cara vista, para analizar su comportamiento en diferentes situaciones. El objetivo consistía en descubrir qué tipo de material lograba reducir la transferencia de calor desde el exterior hacia el interior de la superficie, la investigación intentó con mortero, espuma, caucho y corcho. El ejercicio comprobó que la baja conductividad de la espuma y el corcho mantenían los valores más bajos, a diferencia de la muestra con mortero y la tradicional.

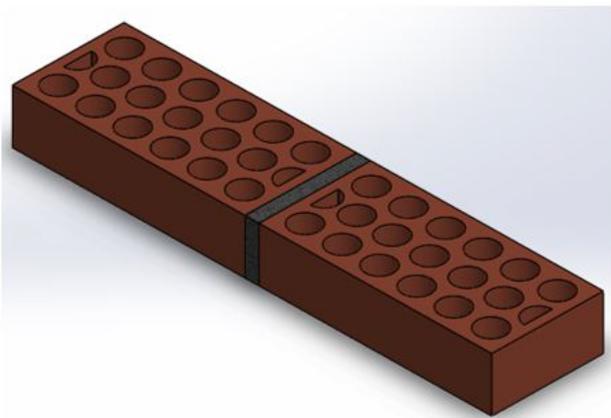


Fig. 1 El ladrillo multiperforado LM.

Fuente propia

El ladrillo multiperforado es un elemento constructivo para mampostería con acabados caravista, es decir, no requiere acabados extras después de su instalación. El diseño de LM es sencillo, es un ortoedro con perforaciones cilíndricas verticales [3]. Es muy común en la industria cerámica de Norte de Santander. Es fabricado por empresas como Arcillas Castilla Ladrillera El Topacio, Merkares, Pisos y Enchapes MARGRES, Arcillas del Rosario,

Tejar Santa Rosa, Cerámica Támesis, Ladrillera NOR-SAN, entre otros. Sin embargo, la literatura respecto a la caracterización de LM en la región es escasa.

El enfoque de este proyecto se dirige hacia la investigación de las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de LM a escala de laboratorio y realidades virtuales. El objetivo de obtener esta información trasciende en la necesidad de definir un punto de comparación con respecto a la elaboración de nuevos productos, ya que es importante tener un punto de referencia real para distinguir las ventajas y desventajas de cada elemento constructivo de esta categoría. Asimismo, se desarrolló a escala de laboratorio porque los costos de la innovación de producto cerámico en laboratorio son más económicos que a nivel industrial. De esta manera, los intentos pueden proyectar posibles comportamientos o errores que pueden ser corregidos previamente a la etapa industrial.

## Metodología

La caracterización del ladrillo multiperforado se divide en dos fases: validación térmica y validación técnica. Para la validación térmica se realizaron simulaciones de transferencia de calor por conducción y flujos de calor en el software ANSYS R16. La validación técnica se llevó a cabo en el Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC, lugar donde se fabricó por extruido a escala 1:75 en arcillas y mezclas con nutrientes tecnológicos como el cisco de café y posteriormente, se realizaron los análisis regidos por normas nacionales e internacionales para la medición de ensayos de elementos constructivos para mampostería como la NTC, UNE y ASTM. Se determinó la contracción lineal, pérdidas de masa, eflorescencias, resistencia a la compresión, dimensiones, absorción de agua, entre otros.

## Validación térmica por transferencia y flujos de calor

La validación térmica de un producto valora el comportamiento energético según las temperaturas obtenidas por la transferencia de calor por conducción o la energía almacenada de acuerdo a su forma. Para la determinación de estos valores, se realizaron simulaciones en el software ANSYS R16 utilizando el método de elementos finitos (FEM).

El software exige información específica de materiales, entorno y variables de convección. Fue necesario cono

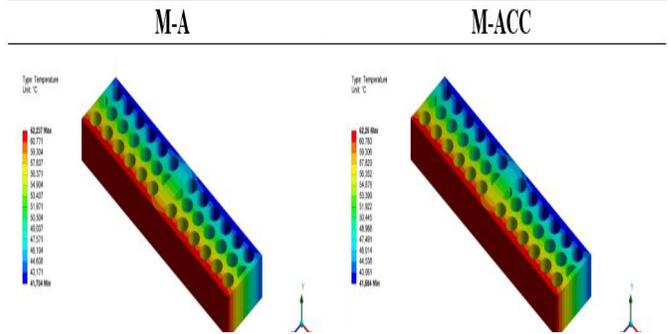
cer la conductividad de la arcilla, el mortero y la mezcla con aditivos de nutrientes tecnológicos [4]. Los datos del entorno se obtuvieron del IDEAM (2010), como radiación solar, velocidad del viento y temperatura de la ciudad de Cúcuta en Norte de Santander. La información seleccionada corresponde a los valores máximos promedios del mes de septiembre en el horario entre 12:00 y 13:00 horas, con el fin de validar la información en el escenario más extremo de la región. Las variables de convección se aplicaron según la cara del ladrillo, para el exterior se utilizó el coeficiente de transferencia de calor por convección (C) y flujo de calor (B) y para el interior, convección natural (A)

- LM M-A – Ladrillo Multiperforado en 100% Arcilla
- LM M-ACC – Ladrillo Multiperforado en 95% Arcilla y 5% Cisco de café

| Materiales   | Entorno (Septiembre, Cúcuta)  | Convección   |
|--|---|--|
| $k_{\text{Arcilla (M-A)}} = 0,691 \text{ Wm}^{-2}\text{C}$ | $T^{\circ} \text{máx} = 33^{\circ}\text{C}$<br>Radiación solar máx. = $796,8 \text{ Wh}\cdot\text{m}^{-2}$<br>$t = 12:00-13:00$ | A: Convección ( $5 \text{ Wm}^{-2}\text{C}$ )      |
| $k_{\text{M-ACC}} = 0,677 \text{ Wm}^{-2}\text{C}$         | $Q_{\text{sol}} = 796,8 \text{ Wm}^{-2}$  | B: Flujo de calor ( $796,8 \text{ Wm}^{-2}$ )      |
| $k_{\text{Mortero}} = 0,88 \text{ Wm}^{-2}\text{C}$        | Velocidad viento = $4 \text{ m/s}$  | C: Convección ( $25,903 \text{ Wm}^{-2}\text{C}$ ) |

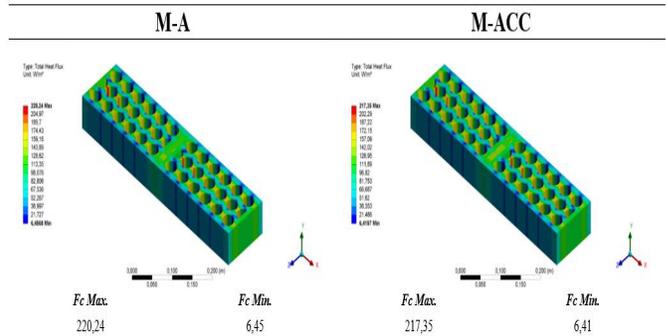
**Tabla I.** Datos De La Conductividad De Los Materiales, Características Del Entorno Y Variables De Convección Suministrados En El Software Ansys R16 Para Las Simulaciones De Transferencia De Calor Y Flujos De Calor De Lm En M-A Y M-Acc.

La validación térmica por transferencia de calor por conducción es la medición de las temperaturas a lo largo de la superficie exterior hacia la interior [5]. Las temperaturas de las superficies exteriores son  $62,23^{\circ}\text{C}$  (M-A) y  $62,26^{\circ}\text{C}$  (M-ACC); las interiores registran  $41,70^{\circ}\text{C}$  en M-A y  $41,58$  en M-ACC. Si bien es claro, la variación es inapreciable porque la diferencia no supera  $0,5^{\circ}\text{C}$ . De todas maneras, la consideración de aditivos de nutrientes tecnológicos aporta al desarrollo de la economía circular y mitiga la contaminación por desperdicio de desechos sólidos [6].



**TABLA II.** Validación Térmica De Lm Por Transferencia De Calor ( $^{\circ}\text{C}$ )

Simultáneamente, se valoró el flujo de calor en LM y las variaciones posibles entre mezclas. En estas imágenes, se observa cómo se almacena la energía y se analiza los puntos críticos de LM donde se acumula en mayor medida el calor. En ambas mezclas se reconoce que las zonas con mayor flujo de calor son las transversales tanto en el ladrillo como el mortero; sin embargo, las distancias en LM son muy cortas y están interferidas por masas longitudinales que disipan el calor  $100 \text{ W/m}^2$ , aproximadamente. Por otra parte, se identifica la zona donde está distribuido el mortero, la cual conserva los valores altos desde la cara externa hasta la interna en su totalidad. Es decir que, la exposición directa del mortero puede ser un factor para el aumento de las temperaturas interiores.



**TABLA III.** Validación Térmica De Lm Por Flujos De Calor ( $\text{W/M}^2$ )

### Validación técnica a nivel de laboratorio

#### Desarrollo de producto

Para la caracterización técnica de LM a nivel de laboratorio, se desarrolló previamente probetas a escala 1:75 en arcilla y mezcla con aditivos de nutrientes tecnológicos. Como primera instancia, se fabricó la boquilla metálica de LM para adaptarla en la extrusora de laboratorio del Centro de Investigación en Materiales Cerámicos

CIMAC. Para la fabricación de las probetas, se preparó la materia prima de las pastas en las que se extruirían a continuación; M-A (100% Arcilla) y M-ACC (95% Arcilla – 5% Cisco de café). La preparación de la arcilla demandó triturado y molienda; por otra parte, el cisco de café requirió molienda y tamizado pasante malla 80; finalmente, se amasó la materia prima de acuerdo a la composición de las pastas hasta completar una mezcla homogénea.



Figura 2. Materia prima. (1) Arcilla molida; (2) Cisco de café previo a la preparación Fuente propia

El extrusionado de LM requirió algunos ajustes en el diseño de la boquilla según las pruebas que se realizaron en el laboratorio de extrusión del CIMAC. Ya que, la pasta no pasaba completamente a través de la boquilla. Finalmente, la pasta extruida se cortó de acuerdo al espesor de los ladrillos; se dispusieron en horno de secado a 100°C – 110°C durante 24 horas; y por último, se realizó la quema a 1000°C. Paralelamente a la fabricación del producto, se tomaron medidas de ancho, longitud, espesor y peso de las probetas en condiciones húmedas, secas y cocidas para determinar la contracción lineal y pérdidas de masa.



Figura 3. Proceso de fabricación. (1) Mezcla de materias primas para amasado; (2) Prueba de boquilla en la extrusora; (3) Probetas listas para cocción Fuente propia

### Análisis de propiedades físicas y mecánicas a nivel de laboratorio

La validación técnica de LM a nivel de laboratorio se estructuró de acuerdo a diferentes normas nacionales e internacionales de ensayos de medición para unidades de mampostería. En la mayoría de los casos, se seleccionaron 9 probetas para obtener resultados promedios de cada propiedad.

Los primeros datos obtenidos fueron contracción lineal y pérdidas de masa, se realizó paralelamente al proceso de fabricación donde se tomaron las medidas en condiciones húmedas, secas y cocidas [7]. Seguido, la determinación de dimensiones se efectuó con las probetas cocidas y secas; para la medición de longitud, ancho, espesor, ancho de tabique y área de perforaciones se utilizó el calibrador de mordazas paralelas [8].

| Muestra | L (mm) | B (mm) | H (mm) | BTabique (mm) | Área perforaciones (mm <sup>2</sup> ) | Peso (gr) |
|---------|--------|--------|--------|---------------|---------------------------------------|-----------|
| ZMM-A   | 45,99  | 21,26  | 12,56  | 3,88          | 32,79                                 | 15,89     |
| ZMM-ACC | 45,58  | 21,12  | 12,83  | 4,29          | 30,07                                 | 15,02     |

Tabla IV. Determinación De Dimensiones Para Unidades De Mampostería

La determinación de eflorescencias es un proceso de observación donde se analiza la concentración de sales de la mezcla del producto en la superficie exterior del mismo, no resulta tan técnico en comparación con los demás ensayos [9]. Para este análisis se registraron fotográficamente las probetas antes y después del ensayo, se sometieron en agua destilada sobre la cara interna (altura del agua: 2mm) durante 7 días. Finalizada la evaporación del agua, se secaron las muestras a 100°C por 24 horas para examinar la concentración de sales. El color de las manchas resultantes fue amarillo, correspondiente a sales de vanadio [8].

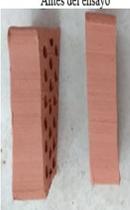
| Muestra                    | Impacto Visual<br>(Intensidad De La Eflorescencia, Superficie afectada y Calificación de la probeta)  |
|----------------------------|---|
| LM-M-A<br><i>General</i>   | Manchas amarillas concentradas principalmente en el canto, en las esquinas y borde de la superficie. En algunos casos, las eflorescencias se dirigían hacia las testas, principalmente la testa 1.<br>  |
| LM-M-ACC<br><i>General</i> | Las eflorescencias se presentaron tipo manchas, velos gruesos y finos amarillos en las esquinas del canto. En las testas se presentaron velos gruesos en menores proporciones ubicadas en las aristas que conectan al canto.  |

Tabla V. Determinación Cualitativa De Eflorescencias Para Unidades De Mampostería

Según la NTC 4017, para la determinación de la resistencia a la compresión se calcula y divide la carga máxima de rotura (W) entre el área bruta de la superficie (A) [8].

$$Resistencia\ a\ la\ compresion\ C = \frac{W}{A}$$

Por otra parte, la determinación de absorción de agua procedió de acuerdo a las normas internacionales ASTM y UNE. Se realizaron 3 ensayos de absorción de agua: (1) Por capilaridad [10]; (2) Por inmersión en agua fría [11]; y (3) Por ebullición [12]. Los resultados obtenidos fueron (1) tasa inicial de absorción de agua por capilaridad; (2) porcentaje de absorción de agua por inmersión en agua fría; (3) porcentaje de absorción en agua por ebullición, porcentaje de porosidad aparente, peso específico aparente y densidad aparente.

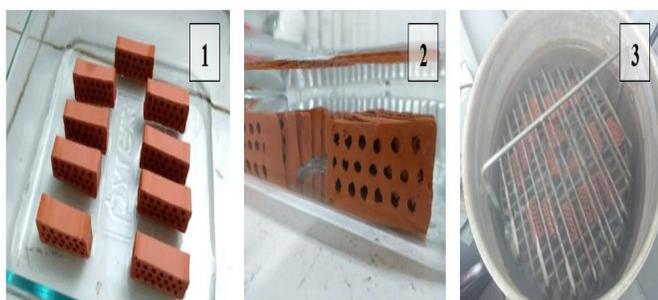


Figura 4. Ensayos de absorción de agua: (1) Por capilaridad; (2) Por inmersión en agua fría; y (3) Por ebullición. Fuente propia

| Validación  |  | LM-M-A                        | LM-M-ACC                      |
|---|--|-------------------------------|-------------------------------|
| Térmica   | Transferencia de calor                         | T° Ext. 62,23                 | 62,26                         |
|   |  | T° Int. 41,70                 | 41,58                         |
|   | Flujos de calor                                | Max. 220,24                   | 217,35                        |
| Min. 6,45   |  | 6,41                          |                               |
| Contracción %                                     |  | 0,93                          | 0,75                          |
| Pérdidas de masa %                                |  | 7,13                          | 9,46                          |
| Resistencia a la compresión kgf/cm²               |  | 5,56                          | 5,00                          |
| Tasa inicial de absorción de agua por capilaridad |  | 0,47                          | 0,47                          |
| Técnica   | Absorción de agua por inmersión en agua fría % | 13,49                         | 17,40                         |
|   | Absorción de agua por ebullición %             | 14,29                         | 18,13                         |
|   | Porosidad aparente %                           | 27,04                         | 32,25                         |
|   | Peso específico aparente                       | 2,61                          | 2,63                          |
|   | Densidad aparente B g/cm.3                     | 1,90                          | 1,78                          |
|   | Eflorescencias                                 | Eflorecido, manchas amarillas | Eflorecido, manchas amarillas |

Tabla VI. Caracterización Térmica Y Técnica De Producto a Nivel De Laboratorio: Lm

### Conclusiones

La caracterización de LM a nivel de laboratorio es un referente real de un elemento de la construcción muy ofertado en el mundo de la construcción, especialmente en la industria cerámica de Norte de Santander. La importancia de esta información radica en que determina pautas para futuras propuestas de diseño e innovación de producto a nivel de laboratorio; asimismo, el ejercicio establece un precedente de prueba y ensayo a escala como estrategia de minimización de costos en el desarrollo y producción industrial de una unidad constructiva.

La validación técnica demuestra disminución en la resistencia a la compresión de las probetas con aditivos de nutrientes tecnológicos. Sin embargo, no afecta el comportamiento mecánico del producto considerablemente. Estos resultados se relacionan con el aumento de la absorción de agua en las muestras de M-ACC, ya que la calcinación del cisco de café en la mezcla genera vacíos y poros que incrementa los porcentajes de absorción y porosidad.

## Referencias

- [1] L. Muniz, C. Cotrim, M. Henriques y L. Moreira, «Eficiência térmica de materiais de cobertura,» *Ambiente Construido*, vol. 18, nº 1, pp. 503-518, 2018.
- [2] K. Johnsen y F. Winther, «Dynamic facades, the smart way of meeting the energy requirements,» *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1568-1573, 2015.
- [3] ICONTEC, *NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4205*, 2017.
- [4] CISBE , Guide A: Environmental design, vol. Chapter 3: Thermal properties of building structures, 2007.
- [5] A. Garcia, «Aislamiento, bienestar y ahorro de energía,» *Informes de la construccion*, vol. 28, nº 277, pp. 35-54, 1976.
- [6] A. Sarabia, J. Sanchez y J. C. Leyva, «Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular,» *Respuestas*, vol. 22, nº 1, pp. 6-16, 2017.
- [7] J. L. Amoros, E. Sanchez, J. Garcia-Ten, V. Sanz y M. Monzo, Manual para el control de la calidad de materias primas arcillosas, 2 Edición, Instituto de Tecnología Cerámica ITC, 2004, pp. 121-122.
- [8] ICONTEC, *NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4017*, 2018.
- [9] R. Fombella, «Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista,» NA: *nueva arquitectura con arcilla cocida*, nº 5, pp. 55-62, 1997.
- [10] UNE Normalizacion Española, *UNE-EN 772-II:2011 Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería.*, 2011.
- [11] UNE Normalizacion Española, *UNE-EN 772-21:2011 Métodos de ensayo de piezas para fábricas de albañilería.*, 2011.
- [12] ASTM International, *ASTM C373*, 2018.
- [13] J. Sanchez, A. Sarabia y D. Alvarez, «Evaluación de materias primas utilizadas en la fabricación de baldosas de gres en el sector cerámico de Norte de Santander (Colombia),» *Respuestas*, vol. 21, nº 2, pp. 48-56, 2016.
- [14] IDEAM, «Atlas Interactivo de Colombia,» 2010. [En línea]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/>.
- [15] W. Bustamante, A. Bobadilla, B. Navarrete, G. Saelzer y S. Vidal, «Uso eficiente de la energía en edificios habitacionales. Mejoramiento termico de muros de albañilería de ladrillos ceramicos. El caso de Chile,» *Revista de la Construccion*, vol. 4, nº 2, pp. 5-12, 2005.
- [16] M. & N. J. Niño. Norte de Santander, Colombia Patente 30561, 2015.
- [17] V. Marincionia, N. May y H. Medina, «Parametric study on the impact of thermal bridges on the heat loss of internally insulated buildings,» *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 889-894, 2015.
- [18] L. Dumitrescu, I. Baran y R. Pescaru, «The influence of thermal bridges in the process of buildings thermal rehabilitation,» *Procedia Engineering*, vol. 181, pp. 682-689, 2017.
- [19] N. Arias y A. Bobadilla, «Evaluacion experimental y analisis de la mejora con aislamiento termico para el caso de puente termico en el frente de forjado,» *Informes de la construccion*, vol. 69, nº 546, pp. 1-14, 2017.

- [20] M. & N. J. Fuente Niño. Norte de Santander, Colombia Patente 30561, 2015.
- [21] E. Garcia y M. Suarez, *Las arcillas: Propiedades y usos*, Universidad Complutense (Madrid), Universidad de Salamanca, 2004.
- [22] K. Johnsen y F. Winther, «Dynamic facades, the smart way of meeting the energy requirements,» *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1568-1573, 2015.
- [23] R. Bassiouny, M. Ali y E. NourEldenn, «Modeling the Thermal Behavior of Egyptian Perforated Masonry Red Brick Filled with Material of Low Thermal Conductivity,» *Journal of Building Engineering*, pp. 1-22, 2015.