

Cámaras de aire ventiladas en un producto cerámico tradicional para envolventes de mampostería con enfriamiento pasivo

Ventilated air chambers in a traditional ceramic product for masonry enclosures with passive cooling

^aMarlyn Stephanny Narváez-Ortega, ^bJessica Viviana Sánchez-Zúñiga, ^cJohan Gustavo Peñaranda-Méndez

 ^a Arquitecto, stephannynarvaez@outlook.com, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia
 ^b Magister en Ingeniería de Materiales, jessicavivianasz@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia
 ^c Magister en Ingeniería de Materiales, johanpm.08@gmail.com, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia

Recibido: Julio 10 de 2019 **Aceptado:** Diciembre 11 de 2019

Forma de citar: M.S Narváez Ortega, J.V Sánchez Zúñiga, J.G Peñaranda Méndez, “Cámaras de aire ventiladas en un producto cerámico tradicional para envolventes de mampostería con enfriamiento pasivo”, MundoFesc, vol. 10, no. 19, pp. 127-134, 2020

Resumen

Los productos cerámicos en la arquitectura presentan una oportunidad de desarrollo en soluciones constructivas capaces de mitigar las cargas térmicas en la envolvente de la edificación, el presente trabajo parte del reto de añadir atributos pasivos que disminuyan la transferencia de calor en sistemas de mampostería compuestos por piezas de arcilla cocida, este objetivo se fundamenta en el reconocimiento de las fortalezas de los productos tradicionales de la industria cerámica en la región de Norte de Santander, Colombia; la solución derivada de este proceso de investigación responde a condiciones de clima tropical cálido propio de la ciudad de Cúcuta como caso de estudio. En la primera etapa de exploración se analiza desde la oferta de mercado aquellas piezas que por sus propiedades físico-térmicas y su posicionamiento en la industria ofrecen una oportunidad para la eficiencia térmica en la construcción local desde una perspectiva de bajo costo, posteriormente, siguiendo criterios teóricos se establecen las estrategias para la adición de enfriamiento pasivo en los recursos de la región; y finalmente en un proceso de análisis que involucra herramientas tecnológicas con parámetros propios del lugar se evalúa la eficacia de los métodos desarrollados a partir de simulaciones térmicas en condiciones de temperatura de 33°C. El presente estudio aprecia el potencial de la tradición y configura alternativas para reducir los consumos de energía por requerimientos de climatización y confortabilidad en la edificación Nortesantandereana.

Palabras clave: Cerámica, Eficiencia térmica, Construcción, Clima cálido.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: stephannynarvaez@outlook.com



Abstract

The ceramic products in architecture present an opportunity for development in constructive solutions capable of mitigating the thermal loads in the building envelope, the present work starts from the challenge of adding passive attributes that diminish the heat transfer in masonry systems composed by pieces of fired clay, this objective is based on the recognition of the strengths of the traditional products of the ceramic industry in the region of Norte de Santander, Colombia; the solution derived from this research process responds to conditions of warm tropical climate typical of the city of Cúcuta as a case study. In the first stage of exploration, those pieces that due to their physical-thermal properties and their positioning in the industry offer an opportunity for thermal efficiency in local construction from a low-cost perspective are analyzed from the market offer; later, following theoretical criteria, strategies for the addition of passive cooling in the region's resources are established; and finally, in a process of analysis that involves technological tools with parameters typical of the place, the effectiveness of the methods developed from thermal simulations in temperature conditions of 33°C is evaluated. The present study appreciates the potential of tradition and configures alternatives to reduce energy consumption due to air conditioning and comfort requirements in Nortesantanderean buildings.

Keywords: Ceramics, Thermal efficiency, Construction, Warm climate.

Introducción

En las primeras dos décadas del siglo XXI con el aumento en los requerimientos energéticos de las edificaciones y con las condiciones climáticas cada vez más extremas los procesos de investigación en el marco de la eficiencia térmica en el sector de la arquitectura se enfocan en gran medida en el estudio de la envolvente [1],[2], en relación a técnicas y tecnologías en materiales y sistemas constructivos que puedan proveer características a los cerramientos capaces de proteger el espacio interior de las condiciones exteriores adversas con el mínimo consumo energético y un bajo impacto ambiental; en el caso de los climas cálidos estas estrategias se enfocan principalmente en el enfriamiento pasivo [3],[4],[5] las cuales se desarrollan a partir de la pérdida de las ganancias de calor, una técnica ampliamente utilizada en esta línea es la ventilación que disipa el calor transferido a través de una renovación por flujo de aire, en fachadas este sistema consiste en una división de la envolvente en dos capas paralelas con una cámara de aire intermedia en la cual circula el viento disipando el calor absorbido por la hoja exterior expuesta a la incidencia de la

radiación solar directa, esta técnica resulta eficiente para reducir la transferencia de calor entre la capa externa y la capa interna del cerramiento y si además el revestimiento externo presenta una baja conductividad diversos estudios confirman que este método ofrece mayores ventajas comparativas sobre otras estrategias en climas de alta temperatura [6],[7],[8].

El bloque cerámico

En un contexto rico en yacimientos de arcilla los productos cerámicos componente en gran medida la envolvente arquitectónica en la construcción regional Nortesantandereana, principalmente los bloques cocidos de arcilla roja ampliamente utilizados en la edificación de mampostería estructural y no estructural de los cerramientos locales. En una investigación previa se ha estudiado el desempeño térmico de dos tipos de bloque cerámico denominados: H-10 de dimensiones largo: 300 mm, ancho: 100 mm, alto: 200 mm con 6 cavidades rectangulares, y H-15 de 9 cavidades rectangulares con largo: 300 mm, ancho: 150 mm, alto: 200 mm evaluando sus características físicas, mecánicas y térmicas en relación a una diferencia de 50 mm en el

ancho y 3 cavidades rectangulares internas adicionales entre H-10 y H-15 [9], los productos seleccionados tienen un alto posicionamiento en el sector de la construcción regional y presentan oportunidades de desarrollo para la eficiencia térmica desde un criterio de bajo costo puesto que dentro de este nicho industrial son los productos más económicos del mercado.

Los resultados de las evaluaciones preliminares de desempeño térmico de las variables presentan una disminución en la temperatura transferida de $0,709^{\circ}\text{C}$ en el bloque H-15 con una temperatura final de $34,958^{\circ}\text{C}$ promedio respecto a H-10 con una temperatura final promedio de $35,667^{\circ}\text{C}$ [9], este efecto se asocia al incremento de las cámaras de aire y el espesor de la pieza H-15 aumentando el recorrido del flujo de calor a través de cuatro fases sólidas y tres fases gaseosas (aire) en 150mm de espesor, mostrando que el incremento en las cámaras de aire cerradas favorecen la disminución de la temperatura final transferida; sin embargo, aun con estas características se emite una temperatura final de $1,958^{\circ}\text{C}$ en la superficie interna de los muros sobre unas condiciones ambientales de 33°C .

Proceso de Exploración

La presente investigación tiene como objetivo reducir la temperatura final de la superficie interna de muros de mampostería hasta valores próximos o iguales a 0°C en relación a la temperatura ambiente tomando como caso de desarrollo un producto tipo bloque H-15 para aplicar estrategias de enfriamiento pasivo como atributos termoaislantes con un impacto más eficiente en la construcción de cerramientos cerámicos desde una perspectiva de bajo costo que pueda contribuir a disminuir los requerimientos de climatización mecánica en la edificación [10],[11].

El método consiste en explorar la posibilidad de optimizar el desempeño de la pieza cerámica a partir de la implementación de las 3 cavidades rectangulares adicionales del bloque H-15 como cámaras externas ventiladas a través de una disposición constructiva que permite crear canales de renovación de aire para disipar calor absorbido con un flujo de ventilación natural (Figura 1), alterando la transferencia de energía entre la capa externa sometida a incidencia solar y la temperatura final de la capa interna (Figura 2); una metodología ampliamente utilizada para reducir los porcentajes de transferencia de calor al interior de la envolvente [12],[13],[14]; la eficiencia de este método de fachada ventilada se estudia aplicando un análisis de rendimiento térmico por medio de simulación de distribución de temperatura y flujo de calor.

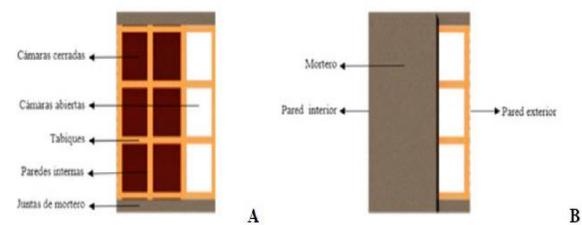


Figura 1. (A) Estructura interna del sistema y (B) Componentes externos del sistema.

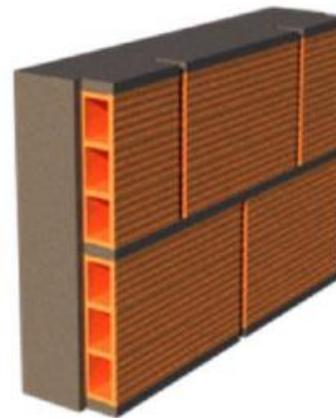


Figura 2. Isometría, Sistema de mampostería cerámica ventilada.

Simulación térmica por método de elementos finitos (FEM).

Metodología. Para determinar el comportamiento térmico de una pieza cerámica H-15 dentro de un sistema constructivo con canales abiertos de renovación de aire se emplea ingeniería asistida por computador (CAE) en software ANSYS R16 a través de prototipos desarrollados con diseño asistido por computador (CAD) en software SOLIDWORKS 2017. Los datos utilizados de conductividad térmica para bloque de arcilla estándar [15] y mortero de cemento [16] son:

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

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

Los datos medioambientales locales se toman de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [17] para julio en la ciudad de Cúcuta, Colombia (Latitud. 7.9°N, Longitud. 72.5°W, Altitud.298 m.s.n.m) siendo un mes que presenta condiciones térmicas extremas, con:

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

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

$$Q\text{Solar} = 695,4 \text{ W/m}^2$$

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

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

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.

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

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:

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

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.

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

ρ: Densidad del aire.
k: Velocidad del viento.
μ: Viscosidad dinámica del aire

Las propiedades del aire empleadas para una temperatura de 33°C [18], son:

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

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

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

$$\text{Pr} = 0,72736$$

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 $h = 19,035 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ 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 se asume una transferencia de calor por convección natural de $h = 5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ [18].

A: Convección (5 W/m². °C).
B: Flujo de calor (695,4 W/m²).
C: Convección (19,035 W/m². °C).

D: Convección en orificios de ventilación (5 W/m². °C).

Las condiciones a la que se somete el sistema analizado se muestran en la Figura 3, en la cara frontal se aplican las condiciones exteriores de viento y radiación solar directa y para las cámaras ventiladas se aplica convección natural en las caras de los orificios, al igual que en la cara trasera del muro.

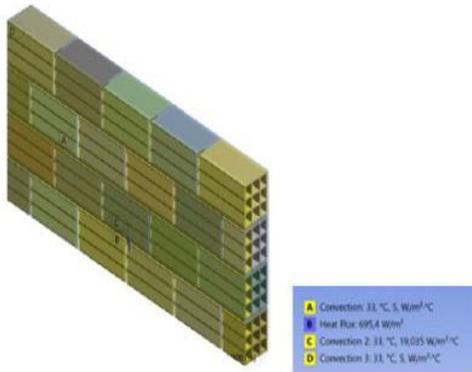


Figura 3. Condiciones aplicadas en la simulación térmica en ANSYS R16.

Resultados y discusión

Para el análisis se aplican las dos soluciones más relevantes: distribución de temperatura y flujo total de calor, en la Figura 4 se muestran los resultados:

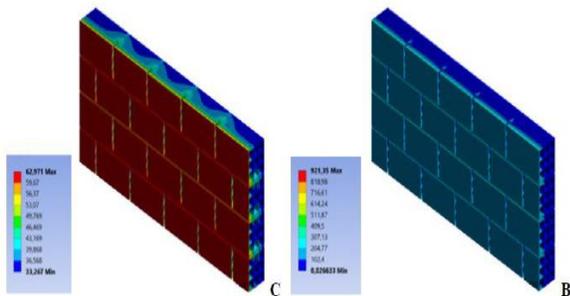


Figura 4. (A) Distribución de temperatura y (B) Flujo total de calor en ANSYS R16.

Tabla 1. Resultados de distribución de temperatura, los datos de

H-10 y H-15 se toman de [4].

Temperatura promedio exterior (°C)	Temperatura promedio interior (°C)	Flujo de calor promedio en paredes externas (W/m ²)	Flujo de calor promedio en paredes internas (W/m ²)	H-10	H-15
61,800	33,312	307,13	0,0266	35,667°C	34,958°C

Discusión

Los resultados de simulación térmica muestran 33,312°C en la temperatura final transferida para el sistema propuesto, solo 0,312°C sobre la temperatura ambiente de 33°C un valor muy próximo a una energía de transferencia cero en la pieza cerámica implementando canales de ventilación pasiva, un comportamiento térmico que muestra mejores resultados respecto a un sistema constructivo con Bloque H10 o Bloque H-15 sin ventilación [9] disminuyendo hasta 2,35°C en el primer caso H-10 y optimizando un sistema H-15 al lograr una disminución de 1.646°C en relación a una mampostería tradicional.

Desde esta perspectiva es posible comprobar que al añadir flujo aire en las cavidades externas que reciben mayor incidencia de radiación solar se muestra una disminución del calor total transferido a las superficies interiores puesto que los canales de renovación de aire favorecen la disipación de energía; comprobando así que es posible configurar una estrategia viable y económica para la construcción de mampostería termoaislante a partir de productos tradicionales.

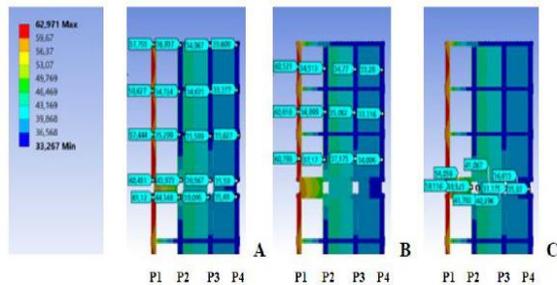


Figura 5. Distribución de temperatura en puentes térmicos horizontales (A) Tabiques (B) Paredes de cavidades de aire (C) Mortero.

Sin embargo, en el desarrollo de piezas cerámicas innovadoras se trazan retos asociados a los puentes térmicos formados por los tabiques y la junta de mortero dentro del sistema, en la Figura 5 (A) se muestra la distribución de temperatura de los tabiques horizontales a través de la pieza cerámica con valores que inician en los 57,93°C promedio en la pared externa P1 y pasan por 35,34°C en promedio por los tabiques centrales P2 y P4, para una temperatura final promedio de 33,5°C en la pared interna P4, pero en aquellos tabiques con contacto directo con junta de mortero estas temperaturas se elevan iniciando en 60,78°C en P1, 41,49°C y llegando a 35,54°C promedio en la cara final de bloque.

En la Figura 5 (B) se muestran las temperaturas de las paredes de las cavidades de aire abierto de P1 a P2 y cerradas de P2 a P4 iniciando en 60,66°C y finalizando en 33,29°C atravesando las cuatro fases sólidas de las paredes, una cavidad con flujo de aire y dos fases de aire encapsulado en cámaras cerradas en 150mm de espesor, en aquellas cavidades próximas a una junta de mortero los datos se elevan a 60,79°C en la pared inicial y 34,00°C en la pared final.

Las juntas de mortero son el componente más crítico del sistema de mampostería, el comportamiento térmico del mortero se puede observar en la Figura 5 (C) donde los valores iniciales comienzan en 59,11°C y atraviesan la P1 en 49,52°C y P2 en 40,29°C cuya temperatura final no es menor a 35,87°C en promedio.

Conclusiones

Este estudio reporta la incidencia térmica provocada por canales de ventilación horizontales en una pieza cerámica estándar del mercado Nortesantandereano con 3 cámaras rectangulares abiertas sometidas a renovación por flujo de aire, constituyendo

un modelo de enfriamiento pasivo como una solución alternativa que aprecia el potencial de la tradición para la construcción de envolventes térmicamente eficientes en un sistema de mampostería de bajo costo, manipulando los flujos energéticos desde la materialidad y la disposición constructiva para evitar el recalentamiento de los planos externos del cerramiento limitando la transferencia de calor no deseada del exterior al interior de las edificaciones.

La ventilación natural en piezas cerámicas es una técnica que demuestra ser efectiva permitiendo mejores condiciones térmicas interiores en la envolvente, reevaluando los aspectos arquitectónicos este trabajo demuestra valores de temperatura entre 2,35°C y 1.646°C por debajo de sistemas estándar con bloques H10 o H15 implementando una técnica simple que permite modificar los parámetros de transferencia de calor y a su vez potencializar los valores de uno de los productos mejor posicionado en la industria cerámica regional [19], siendo fácilmente integrable en la construcción actual. En este sentido el producto H15 con cámaras de aire ventiladas es una excelente alternativa económica y disponible con el potencial de ser usada como un sistema de enfriamiento pasivo con diversas posibilidades configurativas y un espesor viable para la construcción local y nacional, al responder a unos condiciones y requerimientos medioambientales que representan el 80% de las condiciones climáticas de Colombia, el clima tropical cálido [20].

Esta investigación permite conocer las oportunidades y determinar los retos en el desarrollo sistemas constructivos cerámicos innovadores, estableciendo un punto de partida para evaluar más afondo el comportamiento de los flujos de calor sobre los demás componentes de un sistema de mampostería cerámico, en la definición de

las características integrales de un sistema constructivo con las mejores propiedades aislantes, viable para clima tropical cálido y una construcción más sostenible.

Referencias:

- [1] C. Varini, "Envoltentes arquitectónicas sensibles al clima". Revista Pre-til, no. 26, pp. 33-44, junio 2012. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8169>
- [2] M.R. González, L.F. Molina, "Envoltente arquitectónica: un espacio para la sostenibilidad", *Arquitekturax Visión FUA* vol.1, no.1, pp. 49-61, noviembre 2018. <https://doi.org/10.29097/26191709.201>
- [3] C. Mitterer, H.M. Kunzel, S. Herkel, A. Holm "Optimizing energy efficiency and occupant comfort with climate specific design of the building", *Frontiers of Architectural Research*, vol. 1, no. 3, pp. 229-235 septiembre 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2012.06.002>
- [4] T. Gutiérrez, R. Romero y C. Sotelo, "Thermal energy impact of bioclimatic techniques applied to low-income housing in a hot dry climate", *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 1743-1752, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.163>
- [5] M.A. Rubiano, "La fachada ventilada y el confort climático: un instrumento tecnológico para edificaciones de clima cálido en Colombia", *DEARQ*, no. 18, pp.138-145, julio 2016. <http://dx.doi.org/10.18389/dearq18.2016.08>
- [6] M. Araque-Pabón, G. Peña-Rodríguez, y F. Vargas-Galvis, "Desempeño mecánico y tribológico de baldosas cerámicas de arcilla roja recubiertas por proyección térmica a partir de alúmina", *TecnoL*. vol.18, n.35, pp.125-135, 2015
- [7] . Gagliano, F. Nocera, S. Aneli "Thermodynamic analysis of ventilated façades under different wind conditions in summer period", *Energy and Buildings*, vol. 122, pp. 131-139, junio 2016. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.035>
- [8] F. Stazi, F. Tomassoni, A. Vegliò and C. Di Perna, "Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding", *Renewable Energy*, vol. 36, no. 12, pp.3373-3385, diciembre 2011. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.05.016>
- [9] M.S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina, C.X. Díaz-Fuentes, "Comparative evaluation of the physical, mechanical and thermal properties of traditional H10 and H15 red clay blocks manufactured by the ceramic industry from San José de Cúcuta, Colombia", *Journal of Physics: Conference Series*, vol.1388, pp. 1-8, noviembre 2018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1388/1/012007>
- [10] M. Niño, Bloque termo disipador para construcción de cerramientos y fachadas arquitectónicas no estructurales en edificaciones del trópico Colombia. C07260064U, junio, 2014.
- [11] M.S. Narváez, J. Sánchez, y C.X. Díaz, "Estrategias de aislamiento térmico en el diseño de unidades constructivas cerámicas sustentables", *Bienal internacional Covalente (Cúcuta)*, no. 1, pp. 1-8, noviembre, 2019.
- [12] F. Stazi, G. Ulpiani, M. Pergolini, C. Di Perna, y M. D'Orazio, "The role of wall layers properties on the thermal performance of ventilated façades: experimental investigation on narrow-cavity design", *Energy and Building*, vol. 209, no. 109622, pp. 1-24, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109622>

- [13] A.C.F. Maciel y M.T. Carvalho, "Operational energy of opaque ventilated façades in Brazil", *Journal of Building Engineering*, vol. 25, no. 100775, pp. 1-10, septiembre 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100775>
- [14] E. Naboni, "Ventilated opaque walls - a performance simulation method and assessment of simulated performance" Seminar Notes. Presented at Lawrence Berkeley National Laboratory Environmental Energy Technologies Division (Berkeley) pp. 1-10, 2007. https://gundog.lbl.gov/dirpubs/vent_facade.pdf
- [15] S.M. Rozo Rincón, J. Sánchez Molina y D. C. Álvarez Rozo, "Propiedades físico mecánicas de bloques H10 fabricados en el área metropolitana de Cúcuta", *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 24, no. 1, pp. 67-78, marzo 2014. DOI:10.18359/RCIN.8
- [16] 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
- [8] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2018 Informe estación Universidad Francisco de Paula Santander, Promedio horario de radiación (Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales)
- [18] Y. A. Cengel. Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007.
- [19] J. Sánchez, P. Ramírez, "El clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander", 2013.
- [20] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2020 Atlas climatológico de Colombia (Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales)